

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2016

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2016, Issue 5, Volume 241

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, 2016, № 5 (241)

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

Включено до наукометричних баз:

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

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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 5 від 28.10.2016 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@rambler.ru		http://vestnik.ho.com.ua
			http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2016
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2016

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ МЕЖІ ІСНУВАННЯ ВАЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ, ЩО СИНТЕЗОВАНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТОЧОК РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ ЗА ЗАДАНОЮ ТРИВАЛІСТЮ ЗУПИНКИ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ	7
К.А. МИРОШНІЧЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО ВИТРАТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУНКЕРІВ ЕМУЛЬСИТАТОРІВ	14
В.М. СТРИЛЕЦЬ, Ю.М. БРОШУК, О.Р. СТРИЛЕЦЬ РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВТУЛКОВИХ ПРУЖНИХ МУФТ	18
В.О. ПРОЦЕНКО КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ФРИКЦІЙНОЇ ВІДЦЕНТРОВОЇ МУФТИ З КАНАТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	24
В.Л. МАРЧЕНКО ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ УСТАТКУВАННЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ З КРУЧЕННЯМ	28
В.А. НАСТАСЕНКО, М.В. БАБИЙ, И.В. БЛАХ БОКОВЫЕ МНОГОГРАННЫЕ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫЕ ПЛАСТИНЫ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ	32
О.І. СТРЕМЕЦЬКИЙ, Г.М. СОКОЛ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЇ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ В ПРИСУТНОСТІ САПОНІТУ	38
С.Л. ГОРЯЩЕНКО, А.І. ГОРДЕЄВ, Є.О. ГОЛІНКА, С.В. УСПАЛЕНКО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ НАГРІВАННЯ ТА АКУМУЛЮВАННЯ ТЕПЛА У СИСТЕМІ "НАГРІВАЧ-РІДИНА-БАК"	43
МАМЕДОВ АРИФ, АБАЕВ ИРМИК СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ ЖЕЛЕЗОЧУГУННЫХ КОМПОЗИЦИЙ	48
В.В. ГОРІН ТЕПЛООБМЕН ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ВНУТРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГЛАДКОЙ ТРУБЫ. РАСЧЕТ ТЕПЛООТДАЧИ	53
А.В. ВОЗНЯК, А.О. ВОЗНЯК КРИХКО-ПЛАСТИЧНИЙ ПЕРЕХІД В ПОЛІЛАКТИДІ, ОБУМОВЛЕНИЙ ДЕФОРМАЦІЄЮ ЗСУВУ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ, ВИЩИХ ЗА ТЕМПЕРАТУРУ СКЛУВАННЯ	61

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Д.С. МАТВЕЙЦОВА, С.А. КАРВАН, О.А. ПАРАСКА ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА АГРЕГАТИВНУ СТІЙКІСТЬ СУСПЕНЗІЇ НА ОСНОВІ НАНОЧАСТИНОК СИЛІЦІЇ ДІОКСИДУ	68
О.А. ПАРАСКА, В.О. КОВАЛЬСЬКА, Е.В. БАЗИЛЮК КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ОСНОВНИХ МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ТРИКОТАЖНИХ ПОЛОТЕН	73

М.О. МАРУХЛЕНКО, В.А. ПАЛАМАР, О. Р. МОКРОУСОВА ІЧ-СПЕКТРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ МОДИФІКОВАНИХ ДИСПЕРСІЙ МОНТМОРИЛОНІТУ З КОЛАГЕНОМ ДЕРМИ	77
Н.Д. ПРУДНІКОВА ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ВЗУТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННОГО НАПОВНЮВАЧА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСТАННЬОГО	84
С.А. МАКСИМОВ, Б.С. СУНКУЄВ, І.В. ШИНКЕВИЧ, А.Э. БУЕВИЧ АВТОМАТИЗОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБСТРАЧИВАННЯ ПЕРФОРАЦІЇ НА ЗАГОТОВКАХ ВЕРХА ОБУВИ	89
P.S. MAIDAN, A.V. BURYAK EXPERIMENTAL RESEARCHING OF PENETRATION MATERIALS OF SHOE UPPERS USING LABVIEW SOFTWARE COMPLEX	95
У.Б. БУЧКІВСЬКА ВПЛИВ ХІМІЧНОГО ЧИЩЕННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПЛАТТЯНО-КОСТЮМНИХ ТКАНИН	100
Р.В. КАЧАН, О.А. АНДРЕЄВА СТВОРЕННЯ АНТИМІКРОБНОЇ КОМПОЗИЦІЇ	103
О.М. КУНИК, Д.Г. САРІБСКОВА, Л.В. САЛЄБА, Р.В. ГАРГАУН, Г.С. САРІБЕКОВ ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИОКСИДАНТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ ОБЛІПХИ ТА КІСТОЧОК ГРЕЙПФРУТУ В ЛАНОЛІНОВОМУ КРЕМІ ДЛЯ РУК	106
Л.В. КРАСНЮК, О.М. ТРОЯН, О.Й. ЯНЦАЛОВСЬКИЙ, В.С. ТОРОКАНЕЦЬ ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ІЗ УРАХУВАННЯМ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ТОЧОК ТА БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ЗОН ТІЛА ЛЮДИНИ	110
О.В. РОМАНІШИНА, А.П. БІЛИК ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ ВІД ПИЛУ	116
О.О. ГОРАЧ, О.Ф. БОГДАНОВА, Т.І. ТЕРНОВА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ЦЕЛЮЛОЗИ З МЕТОЮ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	120
О.І. ХИЖАН, В.К. БУХТІЯРОВ, Л.О. НЕСТЕРОВА РОЗРОБКА КУРСУ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИЧНА І КОЛОЇДНА ХІМІЯ» В ОБОЛОНЦІ MOODLE	125
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
Д.А. МАКАРИШКІН, Ю.М. БОЙКО, Л.В. КАРПОВА МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СИТУАЦІЙ СИГНАЛЬНО-ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ЦИФРОВИХ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ	129
І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, Д.О. ЛЕВЧУНЕЦЬ ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ВІД ОСНОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ У ВУЗЬКОСМУГОВИХ РАДІОКАНАЛАХ	140
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, О.В. ІВАНОВ, О.О. ПАВЛОВА МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ДОСТАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ЗВАЖЕНОЇ ОНТОЛОГІЇ	146
О. А. ФІЛІПЧУК, Ю.В. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТА НАВАНТАЖЕННЯМ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ	156

А.В. РИБАЛКА, Ю.В. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ СТИСНЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	160
Ю.О. БАБІЙ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕРМІНІВ ПРОВЕДЕННЯ ЗАХОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ І РІЗНОРІДНИХ ЗА СКЛАДОМ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	163
В.С. ПЕТРУШАК, О.М. ВОДЯНИЙ ФАЗОЧАСТОТНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК В РОТАЦІЙНОМУ ВІСКОЗИМЕТРІ	167
Д.О. ВОЛИНЕЦЬ ОГЛЯД СТАНДАРТІВ РАДІОДОСТУПУ З МЕТОЮ РЕАЛІЗАЦІЇ В ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ПРАВООХОРОННИХ ОРГАНІВ УКРАЇНИ	172
І.С. ПЯТІН, І.Ю. КУКАЛ ДОСЛІДЖЕННЯ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ	175
Д.М. БАРАНОВСЬКИЙ, М.В. МОСКОВКО, О.С. ЗЛЕПКО, В.С. ПАВЛОВ АНАЛІЗ МЕДИЧНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ І МОНІТОРИНГУ РОБОТИ СЕРЦЯ В ДОМАШНІХ УМОВАХ (ЗА ДАНИМИ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ)	184
О.М. МИРОШНИК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОГО МЕТОДУ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ У ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗОНИ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ	187
Н.І. ТРОЦИШИНА, І.В. ТРОЦИШИН, О.П. ВОЙТЮК ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПОБУДОВИ ЦАП І АЦП ІЗ ПРОГРАМОВАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ ДРОБОВО-РАЦІОНАЛЬНОЇ ШКАЛИ ВИМІРЮВАНЬ	191
Ю.П. ЗАСПА КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА МАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА V	198
Ю.В. МАЛОГУЛКО, І.О. ГУНЬКО ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПІДСИСТЕМИ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ SMART GRID	209
Ю.А. СМОЛИН СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА	218
О.А. КРАВЧУК АСПЕКТИ ПЕРЕХОДУ НА HTTP2	221
А.А. МЯСИЩЕВ ПОСТРОЕНИЕ БПЛА НА БАЗЕ ПОЛЕТНОГО КОНТРОЛЛЕРА АРМ 2.6	225
А.П. САМІЛА, Г.І. ЛАСТІВКА, В.О. ХАНДОЖКО РОЗНЕСЕННЯ ЧАСТОТ ДЕТЕКТУВАННЯ ТА ЗБУДЖЕННЯ В ІМПУЛЬСНОМУ СПЕКТРОМЕТРІ ЯДЕРНОГО КВАДРУПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ	231
В.Р. ЛЮБЧИК, В.О. ТРОХИМЧУК, А.С. ПЛОЩИК, В.П. ЄВТУШОК АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ	235
С.В. НАУМЕНКО, М.В. ЛЮТА, І.О. РОЗЛОМІЙ ВИКОРИСТАННЯ CLOUD-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛІКОВОГО ПРОЦЕСУ	238

О.А. МЯСІЩЕВ , О.О. МАРТИНЮК , Н.М. ГІНЕВСЬКА АНАЛІЗ ЗАХИЩЕНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ ДЕРЕВА АТАК	243
А.О. ОСІДАЧ РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ВЕРИФІКАЦІЇ ДОКУМЕНТІВ	247
В.І. СТЕЦЮК, О.В. ПОЛУДЕННИЙ РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ В ПІДІЙМАЛЬНИХ МЕХАНІЗМАХ З ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ	253
В.П. НЕЗДОРОВІН, Н.В. ГРИПІНСЬКА, Н.І. ПРАВОРСЬКА, С.Л. ГОРЯЩЕНКО, А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ ЗАСТОСУВАННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ ЛОГИКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ ВАРІАТИВНИХ СЕНСОРНИХ ДАТЧИКІВ	257

УДК 621.01

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет**МЕЖІ ІСНУВАННЯ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ, ЩО СИНТЕЗОВАНІ З
ВИКОРИСТАННЯМ ТОЧОК РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ ЗА ЗАДАНОЮ
ТРИВАЛІСТЮ ЗУПИНКИ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ**

В роботі розглядається питання оптимального синтезу важільних шестиланкових механізмів із зупинкою вихідної ланки, що побудовані на основі несиметричного кривошипно-коромислового шарнірного чотириланкового механізму з використанням особливих точок шатунної площини – точок розпрямлення 5-го порядку. Визначено межі існування таких механізмів з метою проведення їх синтезу за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки з врахуванням додаткових параметрів: довжиною та кутом злому другого плеча шатуна, максимального ходу вихідної ланки та точності зупинки.

Ключові слова: важільні механізми, синтез, кінематична геометрія, точки розпрямлення 5-го порядку, зупинка вихідної ланки.

V.O. KHARZHEVSKYI
Khmelnytskyi National University**THE REGIONS OF EXISTENCE OF LINKAGE MECHANISMS WHICH ARE SYNTHESIZED USING 5TH ORDER STRAIGHTENING POINTS BY GIVEN DWELL DURATION OF THE OUTPUT LINK**

The article is dedicated to the optimal synthesis of the six-link linkage dwell mechanisms on the basis on four-bar linkage using the special points of the coupler plane – 5th order straightening points. The regions of existence of such mechanisms are determined, with the goal to carry out of the synthesis by given duration of the dwell of the output link with taking into account a number of additional parameters, such as the length and the angle of 2nd part of the coupler, maximum displacement of the output link and by the accuracy of the dwell.

Keywords: linkages, synthesis, kinematic geometry, 5th order straightening points, dwell.

В сучасних машинах, які використовуються в різних галузях машинобудування, часто виникає потреба у використанні механізмів, що забезпечують періодичну зупинку вихідної ланки під час неперервного обертання вхідної ланки. Використання для цього саме важільних механізмів (рис. 1) має ряд суттєвих переваг, зокрема: наявність геометричного замикання ланок та відсутність вищих кінематичних пар у їх складі забезпечує більшу надійність, довговічність, навантажувальну здатність та більші робочі швидкості машин, що особливо важливо при проектуванні машин-автоматів [1, 4]. Проте більш широке впровадження таких механізмів та практиці часто обмежується досить складним їх синтезом, який в більшості випадків доцільно проводити з використанням сучасних чисельних методів.

Одним з методів проектування важільних шестиланкових механізмів із зупинкою вихідної ланки є використання базових кругових та прямолінійно-напрямних чотириланкових механізмів. Таким чином, оптимальний синтез базових напрямних механізмів є основною проблемою при проектуванні механізмів із зупинкою. Існує два основних напрямки у синтезі таких механізмів: одним з напрямків є розробка методів кінематичної геометрії, започатковані німецьким вченим Бурмєстером, що отримали подальший розвиток в роботах як світових так і вітчизняних вчених, зокрема в роботах Бейера [2], Ліхтенхельдта [5], Геронімуса [3], Черкудінова [1], Іна, Хана [10] та багатьох інших. Іншим напрямком у синтезі таких механізмів є алгебраїчні методи Чебишева, що полягають у використанні умов найкращого наближення функцій. В цьому напрямку слід відмітити роботи Блоха, Саркісяна [9], Кіницького [4], Гассманна [8] та ін. В даній роботі для синтезу механізмів із зупинкою вихідної ланки використовуються методи кінематичної геометрії, а саме – точки розпрямлення 5-го порядку, при використанні яких шатунні криві, що наближаються до прямої лінії в деякому околі від цих точок.

Метою роботи є визначення меж існування таких механізмів із наперед заданою тривалістю

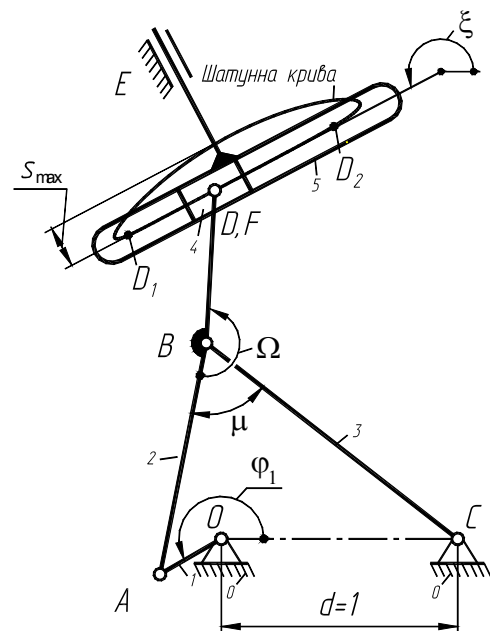


Рис. 1. Важільний шестиланковий механізм із зупинкою вихідної ланки механізм

зупинки вихідної ланки з метою проведення їх оптимального синтезу, зокрема, за положенням шатунної точки, що визначає габаритні розміри механізму, за максимальним ходом вихідної ланки та точністю зупинки.

На рис. 1 зображено важільний шестиланковий механізм $OABCDE$, що складається з базового несиметричного шарнірного чотириланкового механізму $OABC$, у шатунній площині якого за шатунну точку D прийнято точку розпрямлення 5-го порядку. Теоретичні основи синтезу прямолінійно-напрямних механізмів з використанням таких точок наведено в роботі [7]. Це забезпечує викреслювання шатунної кривої, яка на деякій своїй ділянці D_1D_2 з певною точністю наближається до прямої лінії. До базового чотириланкового механізму $OABCD$ приєднано додаткову структурну групу 4-5 II класу 5-го виду таким чином, що напрямна повзуна 4 збігається з напрямком прямолінійної ділянки D_1D_2 шатунної кривої точки D механізму. Це забезпечує періодичну зупинку вихідної ланки 5 механізму підчас проходження точкою D ділянки наближення шатунної кривої. Тривалість зупинки α_Σ вихідної ланки характеризується кутом повороту кривошипа φ_1 , що відповідає фазі зупинки. На рис. 2–6 показані отримані довідкові карти для визначення параметрів механізмів, що забезпечують задану величину цієї зупинки.

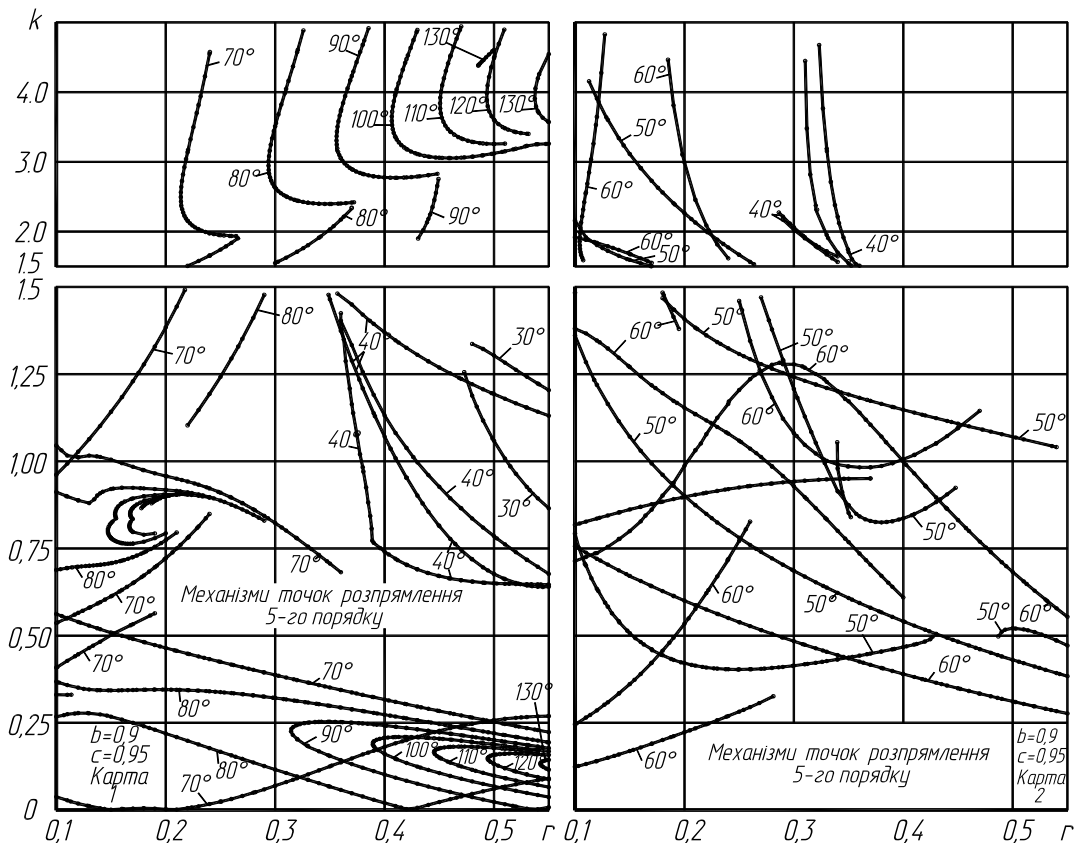


Рис. 2. Довідкова карта для проведення попереднього синтезу важільних механізмів за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки на основі точок розпрямлення 5-го порядку, залежність $k=f(r)$

Методика визначення отриманих меж існування механізмів була наступною. Вхідними параметрами для синтезу є відносні довжини ланок базового чотириланкового механізму, а саме: довжина кривошипа $r=l_{OA}$, шатуна $b=l_{AB}$ та коромисла $c=l_{BC}$. За модуль довжини прийнято відстань між осями нерухомих шарнірів $d=l_{OC}=1$. Як показано в роботі [7], обертаючи кривошип в межах від 0 до 360° з певним кроком (наприклад, 1°), у кожному положенні шатунної площині ABD механізму можна знайти точку розпрямлення 5-го порядку, що забезпечить проектування прямолінійно-напрямного механізму. Кожен такий механізм можна використати для проектування механізму із зупинкою вихідної ланки, що буде забезпечувати певну величину цієї зупинки. Тому очевидно, що важливою є розв'язання зворотної задачі – визначення таких геометричних параметрів механізмів, які б забезпечили наперед задану величину тривалості зупинки вихідної ланки.

В результаті проведеного синтезу розраховується довжина другого плеча шатуна $k=l_{BD}$ та кут його злому Ω , максимальний хід вихідної ланки S_{\max} , тривалість зупинки α_Σ та її точність $2E$, що виражається у процентах від S_{\max} . Використовуючи чисельний метод, описаний автором у [6], були

визначені параметри механізмів, що забезпечують величини зупинок, які кратні 10° . Послідовність розрахунку параметрів механізмів наступна:

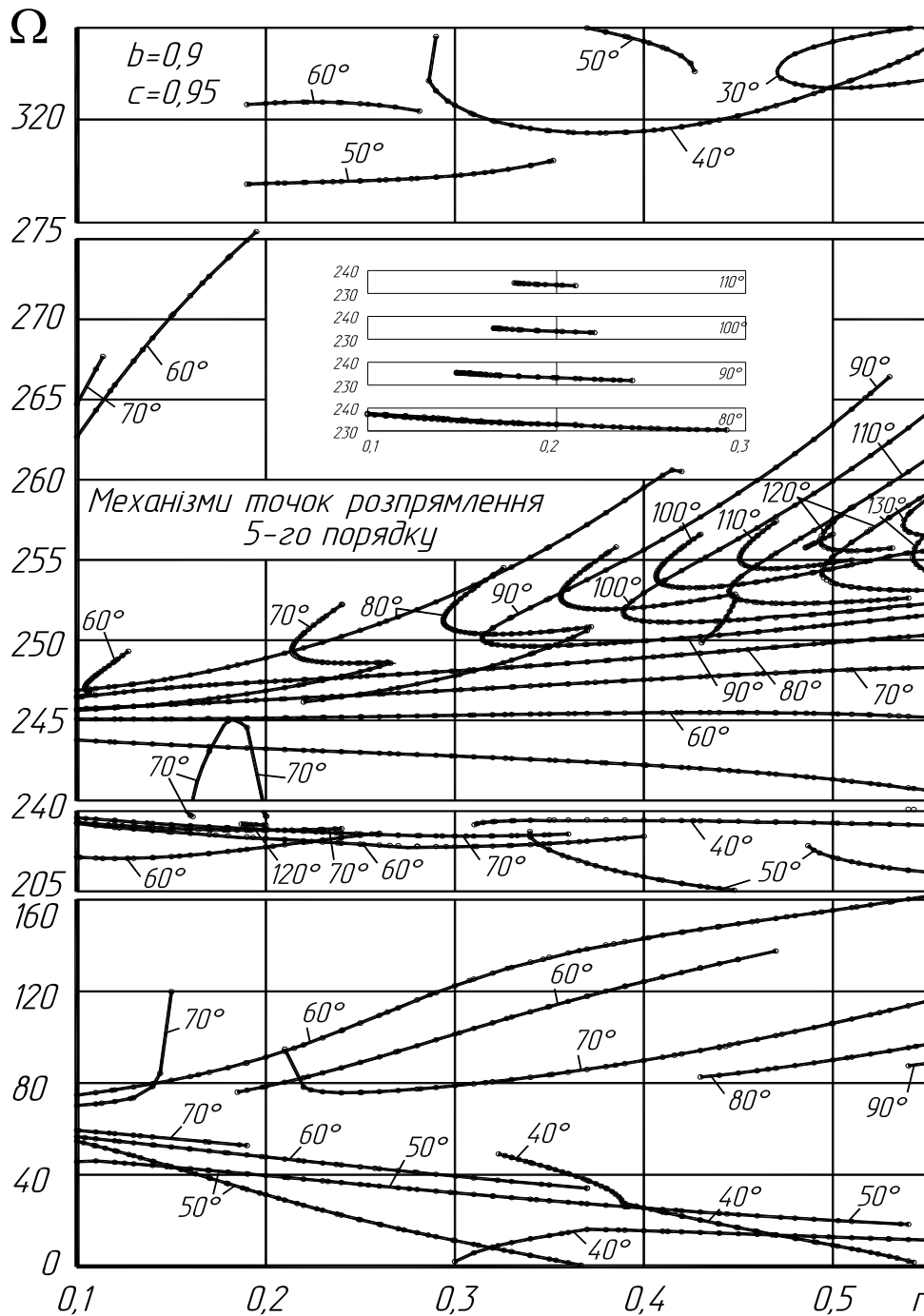


Рис. 3. Довідкова карта для проведення попереднього синтезу важільних механізмів за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки на основі точок розпрямлення 5-го порядку, залежність $\Omega = f(r)$

1. Задаємо довжинами шатуна b та коромисла c . Довжину кривошипа r змінюємо у межах, що дозволяють спроектувати базовий чотириланковий механізм відповідно до теореми Грасгофа, причому бажано, щоби кути передачі μ механізму знаходились у допустимих межах: від 30° до 150° (рис. 1). Для того, щоби механізми, синтезовані з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, можна було порівняти з механізмами точок Болла та точок розпрямлення 4-го порядку, межі існування яких досліджувались автором в роботі [6], параметри базового чотириланкового механізму в даній роботі приймалися нами такими ж, а саме: $b = 0,9$; $c = 0,95$; $r = 0,1 \dots 0,55$.

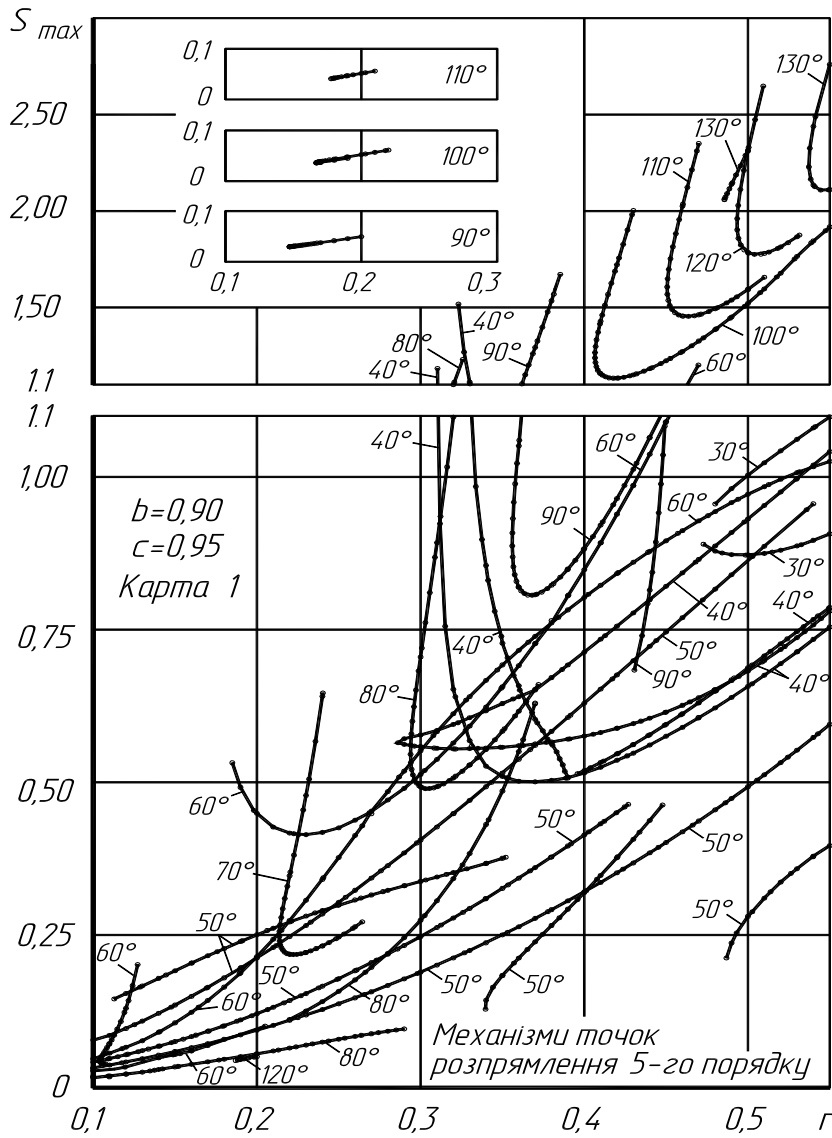


Рис. 4. Довідкова карта для проведення попереднього синтезу важільних механізмів за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки на основі точок розпрямлення 5-го порядку, залежність $S_{max} = f(r)$, карта №1

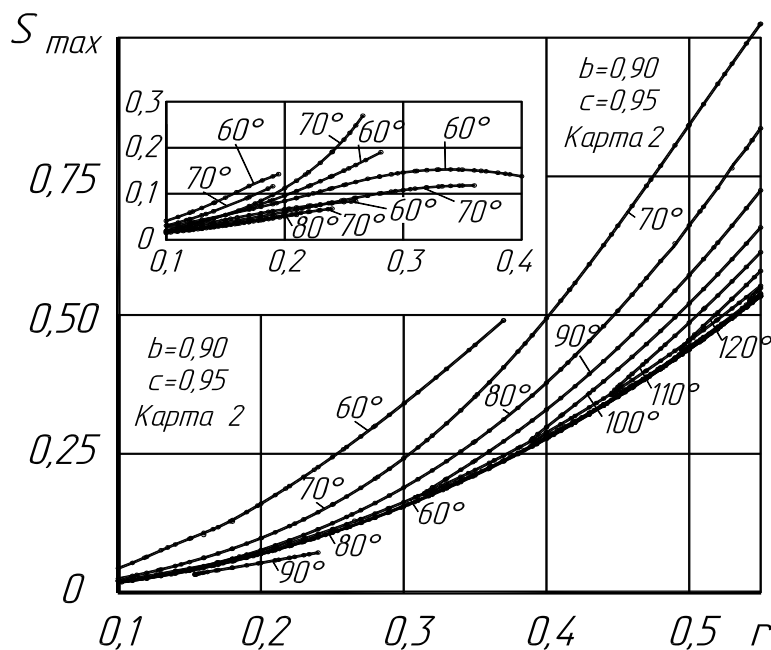


Рис. 5. Довідкова карта для проведення попереднього синтезу важільних механізмів за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки на основі точок розпрямлення 5-го порядку, залежність $S_{max} = f(r)$, карта № 2

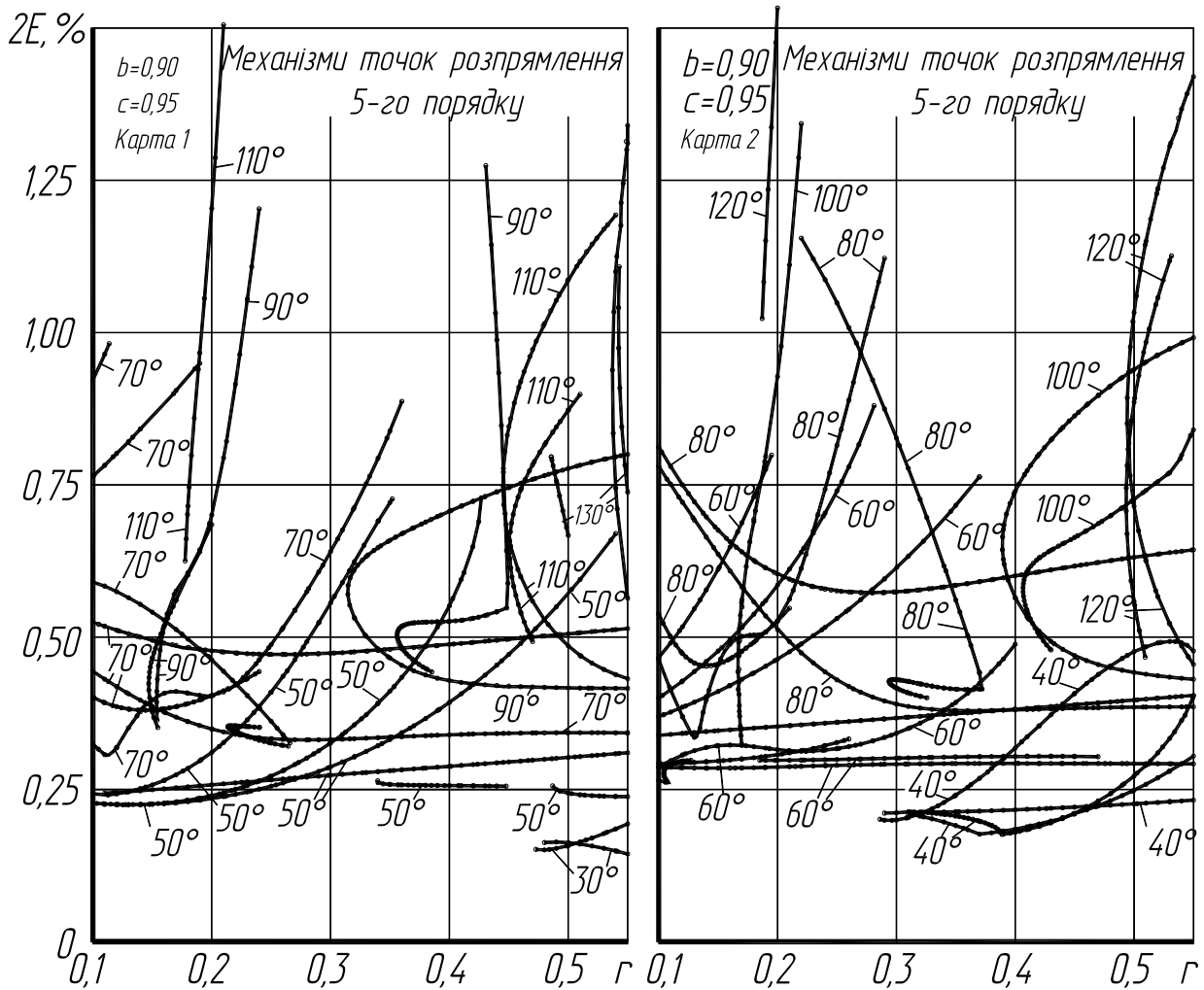


Рис. 6. Довідкова карта для проведення попереднього синтезу важливих механізмів за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки на основі точок розпрямлення 5-го порядку, залежність $2E = f(r)$

2. Довжину кривошипа r змінюємо з певним кроком та методом ітерації визначаємо такі положення шатунної площини механізму, що визначаються кутом повороту кривошипа φ_1 , які відповідають тривалостям зупинок вихідної ланки, що точно кратні 10° . Параметри визначених таким чином механізмів записуються у базу даних.

3. Змінюємо кут повороту кривошипа φ_1 в межах від 0 до 2π , наприклад, з кроком 1° , та методом ітерації визначаємо такі довжини кривошипа, що також забезпечують тривалості зупинки, кратні 10° . Отримані механізми також записуються у базу даних.

Таким чином, відповідно до п.2 та п.3, так само, як і для точок Болла та точок розпрямлення 4-го порядку, що досліджувались в роботі [6], отримуємо два набори даних, об'єднавши які отримуємо цілісну картину меж існування механізмів за заданими тривалостями зупинки вихідної ланки

Як видно з одержаних довідкових карт, що показані на рис. 2–6, задану тривалість зупинки вихідної ланки можна одержати за допомогою великої кількості механізмів, що дозволяє проводити синтез таких механізмів з врахуванням додаткових критеріїв, а саме – точності зупинки $2E$, максимального ходу вихідної ланки S_{\max} , а також габаритних розмірів механізму, що визначають його конструктивне виконання.

Наведені довідкові карти призначені для проведення попереднього синтезу механізмів із зупинкою вихідної ланки, причому для визначення всіх геометричних параметрів та встановлення взаємозв'язку між точками на різних довідкових картах, передбачено створення довідкових таблиць, які, через їх великий обсяг, тут не наводяться.

В даній роботі, так само, як і в інших роботах [1–10], досліджувалась лише та частина механізмів, що забезпечують періодичну зупинку вихідної ланки в одному з крайніх положень, оскільки такі механізми мають більше практичне використання. Механізми, що забезпечують зупинку вихідної ланки всередині ходу будуть розглянуті в інших роботах. Оскільки точки розпрямлення 5-го порядку визначають нове сімейство прямолінійно-напрямних механізмів, доцільно провести порівняння таких механізмів з аналогічними, що можна отримати за допомогою точок Болла та точок розпрямлення 4-го порядку, які досліджувались автором раніше в роботі [6]. Результати порівняльного аналізу кількості знайдених механізмів наведено у

таблиці 1.

Таблиця 1

Кількість знайдених механізмів із зупинкою, синтезованих на базі різних особливих точок

α_{Σ}	механізмів точок Болла	точок розпрямлення 4-го порядку	точок розпрямлення 5-го порядку	Кількість знайдених механізмів			
				точність яких не нижча ніж у точок Болла	забезпечують кращу точність, ніж точки Болла	точність, не нижча ніж у точок розпрямлення 4-го порядку	забезпечують кращу точність, ніж точки розпрямлення 4-го порядку
30	92	0	38	31	4	–	–
40	313	136	277	189	47	237	3
50	304	219	422	307	119	414	4
60	437	267	581	417	207	580	3
70	294	266	427	317	19	327	131
80	239	217	403	314	4	378	73
90	212	226	259	246	1	259	38
100	161	198	209	241	1	209	1
110	90	145	127	124	2	127	0
120	39	101	86	85	17	84	0
130	3	47	39	38	29	38	2
140	0	0	1	–	–	–	–
Всього	2184	1822	2869	2309	450	2653	255

Як видно з результатів, наведених у табл. 1, для однакових параметрів базового шарнірного чотириланкового механізму ($r=0,1\dots0,55$; $b=0,9$; $c=0,95$), за допомогою певних особливих точок шатунної площини можна отримати різну кількість механізмів, що забезпечують задану тривалість зупинки вихідної ланки (крок зміни кривошипа в проведених дослідженнях – 0,005).

Як показали результати проведених досліджень, саме за допомогою точок розпрямлення 5-го порядку можна отримати найбільшу кількість таких механізмів. Причому, як видно з табл. 1, з 2869 механізмів точок розпрямлення 5-го порядку, параметри яких зазначені на наведених довідкових картах (рис. 2–6), 2309 механізмів (80,48%) забезпечують точність наближення в межах аналогічних механізмів точок Болла (причому загальна кількість таких механізмів є більшою на 125), а 15,68% таких механізмів (450) – забезпечують навіть кращу точність. Якщо порівнювати точність отриманих механізмів з механізмами точок розпрямлення 4-го порядку, то можна відзначити, що 92,47% отриманих механізмів (2653) забезпечують не меншу точність, а 8,89% знайдених механізмів (255) – кращу точність наближення, причому загальна кількість механізмів точок розпрямлення 5-го порядку є більшою на 1047 механізмів (57,46%), ніж відповідних точок розпрямлення 4-го порядку, та більшою на 685 механізмів (31,36%), ніж механізмів точок Болла. Загалом, кількість знайдених механізмів точок розпрямлення 5-го порядку є більшою, ніж механізмів точок Болла в діапазоні величин зупинок 50° – 140° , а порівняно з механізмами точок розпрямлення 4-го порядку – в діапазоні 30° – 100° . Для величин тривалостей зупинок в межах 50° – 100° , кількість знайдених механізмів перевищує як кількість знайдених механізмів точок Болла, так і точок розпрямлення 5-го порядку. Причому, як видно з табл. 2, в усьому діапазоні тривалостей зупинок вихідної ланки можна знайти механізми точок розпрямлення 5-го порядку, що забезпечують кращу точність, ніж відповідні механізми точок Болла, та для усього діапазону, крім $\alpha_{\Sigma} = 110^{\circ}\dots120^{\circ}$ – кращу точність, ніж механізми точок розпрямлення 4-го порядку.

Як показали проведені дослідження, співвідношення між кількістю знайдених механізмів точок Болла, точок розпрямлення 4-го порядку та точок розпрямлення 5-го порядку є приблизно однаковим для різних комбінацій розмірів базового чотириланкового механізму (r , b , c). Слід також відзначити, що точність наближення є лише одним, не завжди визначальним критерієм для вибору механізму, зважаючи на те, що в реальних механізмах маємо певні неточності виготовлення, монтажу, зазори в кінематичних парах, пружні деформації ланок. Тому наявність нового сімейства таких механізмів дозволяє збільшити ймовірність отримання оптимального механізму внаслідок проведення оптимізаційного пошуку за різними критеріями.

Мінімальне відхилення $2E_{\min}$ що забезпечується різними особливими точками шатунної площини у побудованих межах існування механізмів

α_{Σ}	точки Болла	точки розпрямлення 4-го порядку	точки розпрямлення 5-го порядку
30	0,001501	–	0,001442
40	0,001972	0,001771	0,001763
50	0,002533	0,002249	0,002247
60	0,003026	0,002623	0,002618
70	0,003301	0,00352	0,003000
80	0,003572	0,004046	0,003357
90	0,003603	0,004236	0,003516
100	0,003251	0,003251	0,003246
110	0,004345	0,003837	0,004319
120	0,006105	0,004429	0,004553
130	0,011720	0,006592	0,005638
140	–	–	0,01357

Таким чином, в роботі наведено результати проведеного синтезу механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі особливих точок шатунної площини – точок розпрямлення 5-го порядку, наведено приклади довідкових карт, що дозволяють вибрати параметри таких механізмів за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки. Встановлено, що за допомогою точок розпрямлення 5-го порядку можна загалом знайти більшу кількість таких механізмів, причому більшість з них забезпечують не нижчу точність, ніж відповідні механізми точок Болла та точок розпрямлення 4-го порядку, а деякі – навіть кращу точність. При подальших дослідженнях планується проведення кінематичного та кінетостатичного аналізу синтезованих механізмів.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский, С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. Бейер Р. Кинематический синтез механизмов. Основы теории метрического синтеза механизмов / Р. Бейер. – М. : Машгиз, 1959. – 318 с.
3. Геронимус Я. Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов / Я. Л. Геронимус. – М. : Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. – 400 с.
4. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
5. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов / В. Лихтенхельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.
6. Харжевський В.О. Синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів та механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / В.О. Харжевський ; Хмельницький держ. ун-т. – Хмельницький, 2004. – 262 с.
7. Харжевський В.О. Метод синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 62–67.
8. Gassmann V. Synthese von Geradföhungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.
9. Sarkissyan Y.L. Approximations in Synthesis of Mechanisms / State Engineering University of Armenia Proceedings, series "Mechanics, Machine Science, Machine-building", Issue 15, № 2, 2012, pp. 9–21.
10. Yin L. "A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points" / L. Yin, J. Han, J. Huang, T. Yang // Applied Mechanics and Materials, Vols 215-216, 2012, pp. 138–141.

Рецензія/Peer review : 9.9.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кіницький Я.Т.

ВИТРАТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУНКЕРІВ ЕМУЛЬСИТАТОРІВ

Досліджено витратні характеристики бункерів, які використовуються в емульсаторах найбільш відомих торговельних марок. Встановлено, що швидкість витікання м'ясних фаршів тонкого подрібнення істотним чином залежить від конструктивних та геометричних параметрів бункера. Найбільшою швидкістю витікання характеризується бункер, який має одну зі стінок вертикальну, найменшою – бункер з горизонтальним патрубком, причому в цьому разі витікання м'ясного фаршу значно уповільнюється. Понижену швидкість витікання сировини показав бункер пірамідальної форми з пологими стінками. На основі отриманих даних зроблено висновки, що з точки зору зниження нагріву фаршу при подрібненні більш раціональною є таке компоновання конструкції емульсатора, за якого різальний комплект розташовано вертикально під бункером. Розташування різального комплекту горизонтально в циліндричному корпусі сприяє підвищеному нагріву фаршу і зменшенню продуктивності машини.

Ключові слова: емульсатор, м'ясний фарш, бункер, витратні характеристики.

KOSTYANTIN ANATOLIYOVICH MYROSHNICHENKO, OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO

Cherkassy State Technological University

THE FLOW CHARACTERISTICS OF THE HOPPERS EMULSIFIERS

Investigated the flow characteristics of the bins that are used in emulsifier the most well-known brands. It is established that the velocity of the meat stuffing of fine grinding depends on the constructive and geometrical parameters of the hopper. The highest rate of expiration is characterized by a hopper, which has one of the vertical walls, the lowest – hopper with a horizontal pipe, and in this case, leakage of minced meat slows down considerably. The reduced velocity of the raw material showed the bunker pyramidal form with sloping walls. Based on the obtained data it is concluded that from the point of view of reducing heating of meat during the grinding more rational is such a structural arrangement of emulsifier in which the cutting set is located vertically beneath the hopper. The location of the cutting set horizontally in a cylindrical housing contributes to the increased heating of meat and reduced machine performance.

Keywords: emulsifier, minced meat, hopper, metering characteristic.

Постановка проблеми

В сучасних умовах однією із тенденцій розвитку підприємств харчової промисловості є пошук нових технологічних рішень, що дозволяють змінити машинно-апаратне оснащення технологічних ліній з метою зменшення капітальних та експлуатаційних витрат. Характерним прикладом такого підходу є вибір раціональних шляхів подрібнення м'ясної сировини при виготовленні ковбасних виробів. При виготовленні варених ковбас, сосисок, сарделюк та паштетів вказана тенденція виражається у все ширшому застосуванні машин, відомих, як емульсатори. Емульсатори використовуються для тонкого якісного подрібнення фаршу після кутера або замість нього. Ці машини володіють високими технічними характеристиками, однак їм властивий суттєвий недолік – фарш може надто перегріватись при подрібненні від тертя ножів по решіткам. В такому разі якість ковбасних виробів буде значно погіршена.

Підвищений нагрів фаршу обумовлюється кількома чинниками [1], одним з яких, на нашу думку, є недостатня швидкість надходження фаршу з бункера у різальний вузол. В цьому разі на одиницю маси сировини припадатиме підвищена емісія тепла від різального комплекту, яке утворюватиметься внаслідок тертя ножів по решіткам. Актуальним є дослідження витратних характеристик бункерів емульсаторів різних марок і вироблення рекомендацій щодо зменшення нагріву сировини при її подрібненні в емульсаторі.

Аналіз останніх джерел

Вплив конструктивних і кінематичних параметрів емульсаторів на їх технологічні показники досліджено в роботах [2, 3]. Зокрема в них наведено данні щодо зміни температури сировини після її подрібнення в емульсаторі залежно від кратності проходження крізь різальний вузол, від частоти обертання ножів та від рецептурного складу. Однак в даних роботах, як і в інших відомих наукових працях, не наведено даних щодо впливу конструктивного виконання бункерів емульсаторів на швидкість надходження сировини до різального вузла та, відповідно, на підвищення її температури. Актуальним є вирішення даної задачі.

Метою роботи є встановлення залежності витратних характеристик бункерів емульсаторів провідних світових виробників від їх геометричних параметрів.

Виклад основного матеріалу

Емульсатори різних марок мають різну компоновку конструкції, а також різне конструктивне виконання бункера. Зокрема розташування різального комплекту може бути горизонтальним або вертикальним, в подовженому патрубку (циліндричному корпусі) або без нього. Бункери можуть мати пірамідальну форму (правильна, неправильна або прямокутна піраміда), конічну або конічно-циліндричну. Ці ознаки, на нашу думку, повинні істотним чином впливати на швидкість надходження сировини в різальний вузол емульсатора, а відтак – на її нагрів при подрібненні.

Для вирішення поставленої мети нами було виготовлено 5 моделей бункерів (рис. 1), що входять до

складу конструкцій емульсаторів провідних світових виробників (найбільш типові з них). Бункери виготовлені в масштабі 1:25 відповідно до реальних конструкцій емульсаторів [4–7].

Експериментальні дослідження витратних характеристик бункерів проводились в ковбасному цеху м'ясопереробного підприємства «Черкаська продовольча компанія». Методика досліджень полягала у наступному. Кожна модель бункеру 1 встановлювалась (рис. 2) на підставку 2, під якою на електронних вагах 4 була розміщена мірна ємкість 3 відповідного об'єму. В бункер завантажувалась фарш ковбаси «Лікарська» у кількості 4 л. фарш був попередньо подрібнений на кутері Laska KR-330-2V. Після відкриття випускного отвору бункера вмикалась цифрова відеокамера, яка фіксувала процес витікання сировини з бункера та зміну показників маси на вагах. Похибка вимірювання маси для вагів ZELMER ZKS 14100 складала ± 1 г. По закінченню процесу вивантаження фаршу отриманий відеозапис аналізувався за допомогою персонального комп'ютера, що дозволяло побудувати графічну залежність витрати маси сировини від часу. Таким чином було досліджено 5 означених вище моделей бункерів.

Отримані графічні залежності наведено на рис. 4–8. Відповідне рівняння регресії має вигляд:

$$Q = a + b \cdot \tau + c \cdot \tau^2, \quad (1)$$

де Q – масова витрата сировини, кг/с; τ – поточне значення часу вивантаження сировини, с; a , b , c – коефіцієнти (див. табл. 1).

Також для кожного бункеру визначено середню масову витрату сировини за виразом:

$$Q_{\text{сеп}} = \frac{\sum m}{\sum \tau}, \text{ кг/с} \quad (2)$$

де $\sum m$ – сумарне значення маси сировини (кг), яка вивантажилась з бункеру за час $\sum \tau$ (с).

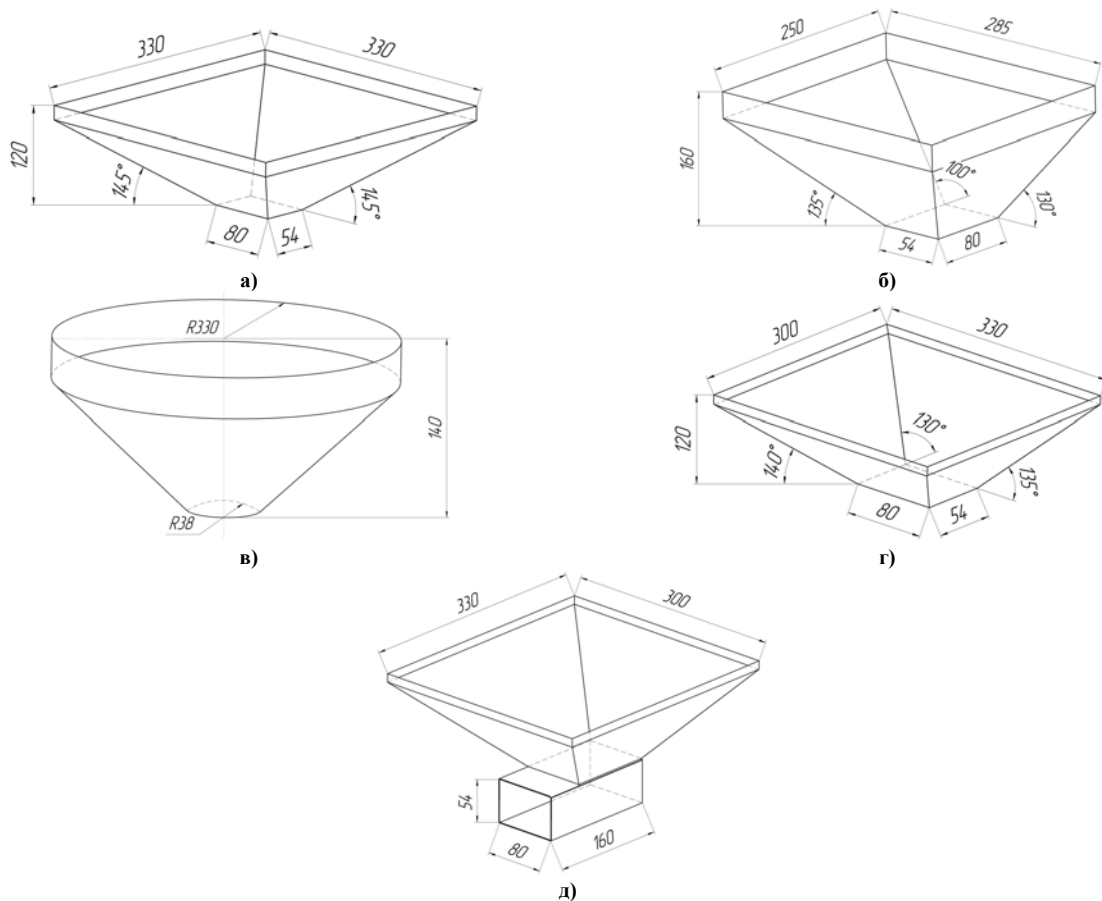


Рис. 1. Геометричні параметри моделей бункерів для емульсаторів різних марок:

а) *Laska Nannokutter FZ 175* (тип 1); б) *Stephan MCH-D* (тип 2); в) *KILLA Fine CUT 4000/ 6000* (тип 3); г) *Karl Schnell FD -175* без горизонтального патрубку (тип 4); д) *Karl Schnell FD -175* з горизонтальним патрубком (тип 5)

Товщина шару фаршу, який надходить з бункеру в різальний вузол за час обертання ножа на один кутовий крок поміж двома сусідніми лезами, визначалась так:

$$l_{\phi} = \frac{Q_{\text{сеп}}}{\rho \cdot S \cdot n_n \cdot z_n}, \text{ м} \quad (3)$$

де $Q_{\text{сеп}}$ – середня масова витрата сировини для визначеного бункеру, кг/с; ρ – густина сировини, кг/м³ (згідно з [8] прийнято $\rho = 1050$ кг/м³); S – площа вихідного отвору бункеру, м² (для розглядуваних бункерів $S = 4320 \cdot 10^{-6}$ м²); n_n – частота обертання ножа, с⁻¹ ($n_n = 50$ с⁻¹); z_n – кількість лез ножа.

При аналізі даних, наведених в таблиці 1, звертає на себе увагу значення параметру l_{ϕ} . Навіть для

бункеру № 2 при використанні найбільш типового ножа з трьома лезами цей показник склав лише 0,22 мм, а для інших бункерів або для ножа із п'ятьма лезами (які пропонуються виробниками емульсаторів) значення l_{ϕ} є суттєво меншим. Якщо врахувати данні досліджень [9, 10], де висвітлено особливості процесу надходження сировини в різальну зону кутерів, умови роботи ножової головки яких споріднені до умов роботи різального комплексу емульсаторів, то можна зробити висновок, що актуальним є обґрунтування кількості лез ножа емульсатора з точки зору мінімізації нагрів сировини при подрібненні. В [9, 10], зокрема, зазначається, що після проходження першого ножа (першого леза) частина сировини захоплюється за ним за рахунок сил адгезії. Внаслідок цього зменшується кількість сировини, яка повинна була бути поданою чашею кутера під другий ніж (під друге лезо в контексті даної роботи).

Ймовірно припустити, що подібне явище має місце і в різальному вузлі емульсатора, оскільки частота обертання його ножів навіть нижча за частоту обертання ножів сучасних кутерів. В такому разі, може мати місце випадок, коли не всі леза ножа будуть завантажені сировиною і виконувати процес подрібнення. В той же час усі леза входять у щільний контакт із решіткою і викликають її нагрів внаслідок тертя. Врешті все означене обумовить підвищений нагрів сировини. саме тому актуальним є наукове обґрунтування будови ножів емульсаторів, а саме кількості лез в них.

Значення розрахункових параметрів наведено в табл. 1.

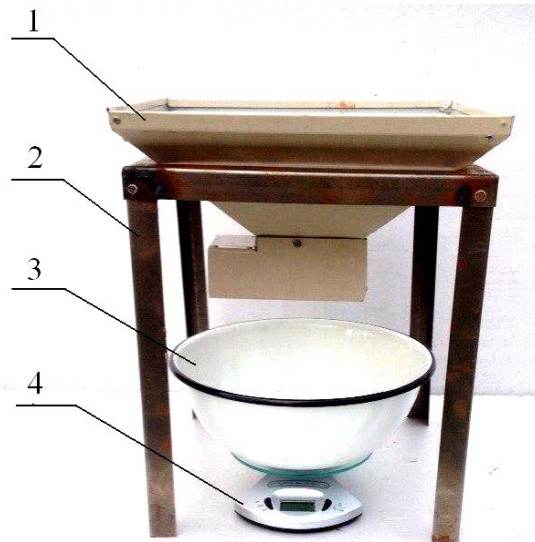


Рис. 2. Експериментальна установка для визначення витратних характеристик бункерів: 1 – модель бункеру; 2 – підставка; 3 – мірна смість; 4 – електронні ваги

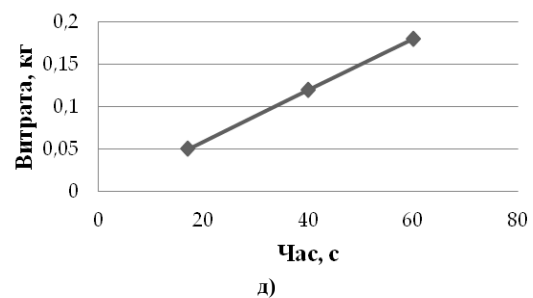
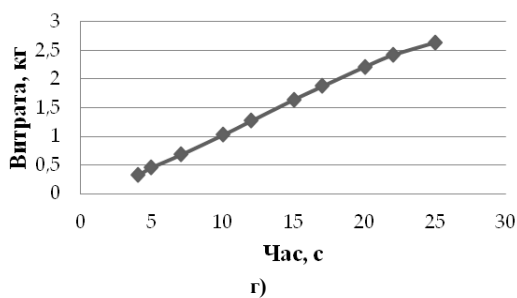
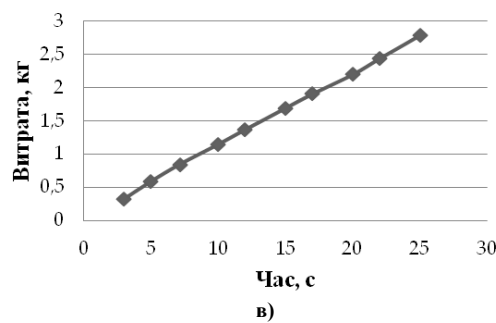
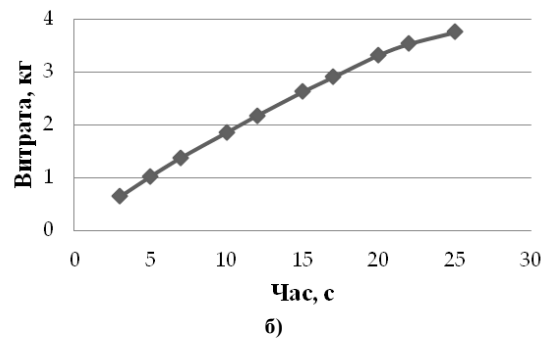
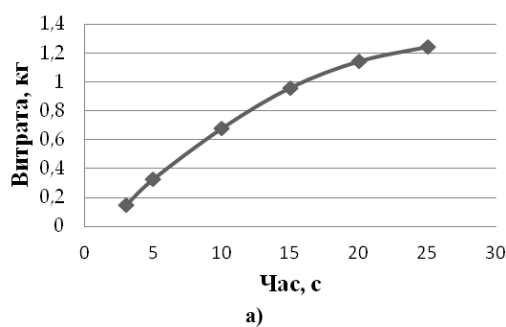


Рис. 3. Залежність витрати маси сировини від часу при її витіканні з бункерів: а) тип 1; б) тип 2; в) тип 3; г) тип 4; д) тип 5

Параметри, що характеризують роботу емульсаторів з різними типами бункерів

Тип бункеру (рис. 1)	Коефіцієнти рівняння регресії	Q _{сер} , кг/с	Товщина шару фаршу l _ф , ·10 ⁻³ м				
			z _п =1	z _п =2	z _п =3	z _п =4	z _п =5
1	a=-0,126; b=0,0987; c=-0,00176	0,0496	0,219	0,109	0,073	0,055	0,044
2	a=0,0215; b=0,208; c=-0,00203	0,15	0,661	0,33	0,22	0,165	0,132
3	a=0,01154; b=0,0031 c=-0,00019	0,1116	0,492	0,246	0,164	0,123	0,098
4	a=-0,2229; b=0,136; c=-0,000793	0,1055	0,465	0,232	0,155	0,116	0,093
5	a=-0,00242; b=0,0031; c=-1·10 ⁻⁶	0,003	0,013	0,006	0,004	0,003	0,002

Висновки

Встановлено, що конструктивна форма бункеру та його геометричні параметри суттєвим чином впливають на його витратну характеристику. Найвищу середню масову витрату сировини (Q_{сер}=0,15 кг/с) показав бункер № 2, який має яскраво виражену несиметричну будову (з однією вертикальною стінкою). Менше значення спостерігалось для бункера № 3 (Q_{сер}=0,11 кг/с) та для бункера № 4 (Q_{сер}=0,10 кг/с). Бункер № 1 показав ще меншу швидкість витікання сировини (Q_{сер}=0,049 кг/с).

Окремо слід відзначити вплив наявності горизонтального патрубку в нижній частині бункеру (бункер № 5, Q_{сер}=0,003 кг/с). Він значно (на порядок) уповільнює швидкість витікання фаршу, належне витікання сировини стає можливим лише при примусовій подачі до вихідного отвору бункеру.

З точки зору мінімізації нагріву фаршу при подрібненні найбільш доцільним є таке компоновання машини, при якому вісь різального комплексу розташована вертикально, а також відсутній горизонтальний патрубок. Бункер емульсатору варто виконувати несиметричним з однією вертикальною стінкою. Для подачі в'язких фаршів емульсатор доцільно оснащати нагнітальним пристроєм (фаршевим насосом тощо).

В подальших роботах доцільно дослідити вплив кількості лез на нагрів сировини та на ступінь її подрібнення. Це дасть можливість запропонувати науково-обґрунтовану будову ножів емульсаторів.

Література

1. Некоз О. І. Обґрунтування шляхів зменшення нагріву фаршу при його подрібненні в емульсаторі / О. І. Некоз, О. В. Батраченко, К. А. Мирошніченко // Вісник ЧДТУ. – 2015. – № 2. – С. 91–98.
2. Вербицький С. Б. Вдосконалення процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини та розроблення емульсаторів роторного типу : дис. ... кандидата техн. наук : 05.18.12 / Вербицький Сергій Борисович. – Київ, 2014. – 284 с.
3. Груданов В. Я. Тонкое измельчение мясного сырья новым режущим механизмом в эмульсаторах / В. Я. Груданов, А. А. Бренч, Л. Т. Ткачева, М. О. Филиппович // Весці Нацыянальнай акадэмі навук Беларусі. – 2010. – № 3. – С. 105–110.
4. Промисловий каталог фірми «Maschinenfabrik Laska GmbH» [Електронний ресурс]. – Австрія, 2016. – Режим доступу : www.laska.at
5. Промисловий каталог фірми «Stephan Machinery GmbH & Co» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.stephan-machinery.com
6. Промисловий каталог фірми «KILIA Fleischerei und Spezial Maschinen Fabrik GmbH» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.kilia.com
7. Промисловий каталог фірми «Karl Schnell GmbH & CO» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.karlschnell.de
8. Горбатов А. В. Гидравлика и гидравлические машины для пластично-вязких мясных и молочных продуктов / А. В. Горбатов. – М. : Агропромиздат, 1991. – 174 с.
9. Hammer G., Stoyanov S. Uber das Kuttern von Bruhwurstbrat // Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach, № 47, 2008. – S. 243–251.
10. Відео-матеріали періодичного видання «Fleischwirtschaft» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2011. – Режим доступу : www.fleischwirtschaft.de/fleischwirtschaft/downloadkuttermesser

Рецензія/Peer review : 4.9.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : д. т. н., В. І. Осипенко

В.М. СТРИЛЕЦЬ, Ю.М. БРОШУК, О.Р. СТРИЛЕЦЬ
Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВТУЛКОВИХ ПРУЖНИХ МУФТ

У статті описана конструкція та принцип передавання обертового моменту втулковою пружною муфтою. Втулка виконана профільною, наприклад, чотирикутною з підковоподібними вершинами і з такими вихідними профільними ділянками виконані вали, що з'єднуються. Наведена аналітична залежність розмірів поперечного перетину профільної втулки і циліндричної втулки, з якої вона виготовляється. Проведений аналіз кінематичних і силових параметрів профільної втулки при передачі нею обертового моменту. Прийнято, що профільна втулка являє собою осесиметричну раму з одним замкнутим контуром, з прикладеними однаковими силами до середини граней, і для неї, методами будівельної механіки проведені статичні розрахунки. Отримані аналітичні вирази дозволяють робити висновки про роботоздатність профільної втулки при передачі муфтою обертового моменту.

Ключові слова: втулкова пружна муфта, профільна втулка, осесиметрична рама, підковоподібна вершина, вал з лисками, статика.

V.M. STRILETS, J.M. BROSHUK, O.R. STRILETS
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

DESIGNING AND PARAMETERS JUSTIFICATION OF RESILIENT SLEEVE COUPLING

The aim of the research is to describe the structure and principle of transmitting of torque by resilient sleeve coupling, to carry out geometrical synthesis so to establish the relationship between the transverse dimensions of profiled and cylindrical sleeves. Couplings are responsible assembly units, which often determine the reliability of the whole machine. They have to provide such a responsible role, additional to its main purpose: to compensate the harmful effects of geometrical shafts axis offset and to absorb vibration, bumps and shocks that occur during the mechanical drives exploitation. A new resilient sleeve coupling can provide these requirements. The sleeves of such new couplings are made profiled, e.g. squared, with U-shaped vertices and with specialized areas of output shafts. Analytical dependences are given for cross-sectional sizes of profiled sleeve and the cylindrical sleeve, the former is made of. The analysis is held of kinematic and power parameters of profiled sleeve during torque transmission. We assumed that the sleeve is axisymmetric frame with a closed loop, with the equal forces appended to the middle of its faces, and made static calculations by methods of structural mechanics. Based on this research suggested resilient sleeve coupling in which the torque transmitted by profiled sleeve provides smooth transmission of torque during machine launch or its insecure operation mode and improves the damping and compensating characteristics by a corresponding stiffness.

Key words: resilient sleeve coupling, profiled sleeve, axisymmetric frame, U-shaped vertices, static.

Постановка проблеми

Муфти є механічними пристроями, від яких часто залежить надійність і довговічність всієї машини. Основне призначення муфт – це з'єднання кінців валів і передавання обертового моменту від одного вала до другого. Вони, крім цих функцій, мають забезпечити амортизацію вібрацій, поштовхів та ударів, що виникають під час експлуатації механічних приводів, компенсувати шкідливий вплив зміщення геометричних осей кінців валів, що виникають унаслідок неточностей виготовлення, монтажу або конструктивних особливостей, захищати деталі від перенавантажень та полегшувати пуск машини.

Ці вимоги можуть забезпечити нові втулкові пружні муфти з профільними втулками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Різноманітні експлуатаційні функції сприяли розробці великої кількості конструкцій муфт, описаних у роботах [1–5] та інших. Найбільш широко конструкції відомих муфт, принципи їх роботи та приклади розрахунків описані в [1]. У роботах [4] описані пружно-компенсуючі муфти з канатними елементами і [5] муфти з підковоподібними пружинами. Відомі втулкові муфти [1–3], що містять циліндричну втулку, яка з'єднує ведучий і ведений вали штифтами, встановленими перпендикулярно до осі обертання, жорсткими шпонками призматичними або сегментними, встановленими у пази паралельно до осі обертання і шліцями, виконаними паралельно до осі обертання. Основним недоліком відомих втулкових муфт є їх велика жорсткість і вони виконують обмежене коло функцій – з'єднують вали і передають обертовий момент від одного вала до другого миттєво, тобто ударно, а це негативно впливає на деталі привода і машини в цілому. Останнім часом розроблені нові втулкові муфти з профільною втулкою [6–8] та спосіб і пристрій для виготовлення профільних втулок [9–11], але теоретичні розрахунки для них не виконані.

Мета роботи

Метою роботи є опис будови та принципу передавання обертового моменту муфтою пружною у вигляді профільної втулки, виконання її геометричного синтезу, тобто встановлення залежності між поперечними розмірами профільних і циліндричних втулок, отримання аналітичних залежностей для статичних розрахунків деформацій і напружень від геометричних розмірів профільних втулок при передачі ними обертових моментів.

Реалізація роботи

В даній роботі подається конструкція нових втулкових муфт, утворених профільними втулками, на

прикладі квадратного профілю, щоб позбавитися від вказаних недоліків існуючих втулкових муфт і розширення їх виконавчих функцій – бути пружними і запобіжними. Муфта втулкова запобіжна пружна, показана на рис. 1, виконана в вигляді пружної профільної втулки 1 з поперечним перетином, наприклад, квадрата 2, вершини 3 якого винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис. На вихідних ділянках 4 і 5 відповідно ведучого 6 і веденого 7 валів виконані лиски 8 під грані 9 квадрата 2. Муфта втулкова пружна працює так. При обертанні ведучого вала 6, через пружну профільну втулку 1, обертальний момент передається на ведений вал 7. Збільшення обертального моменту приводить до деформації пружної профільної втулки 1 на величину δ_F із-за розтискання її граней 9 і підковоподібних вершин 3 квадрата 2. Тому обертальний момент від ведучого вала 6 до веденого вала 7 передається порівняно м'яко. При збільшенні та перевищенні максимального обертального моменту пружна профільна втулка 1 розтискається за рахунок деформації граней 9 і пружних підковоподібних вершин 3 до такої величини δ_F , що вал ведучий 6 або ведений 7 прокручується у пружній профільній втулці 1 (рис. 1, в), обертальний момент не передається – виконується запобіжна функція муфти. При зменшенні обертального моменту муфта повертається у початкове положення (рис. 1, б).

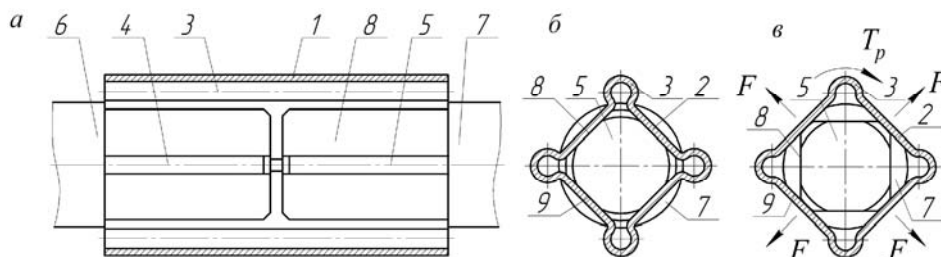


Рис. 1. Муфта втулкова пружна: а – поздовжній перетин; б – стан на до навантаження; в – стан при перевантаженні

Створення нових муфт вимагає детальної розробки їх складових частин. Тому необхідно володіти відомими методами комп'ютерного моделювання деталей муфт, щоб розробляти та виготовляти їх. На рис. 2 показані моделі нової втулкової муфти, які створені в системі “КОМПАС 3D” [12].

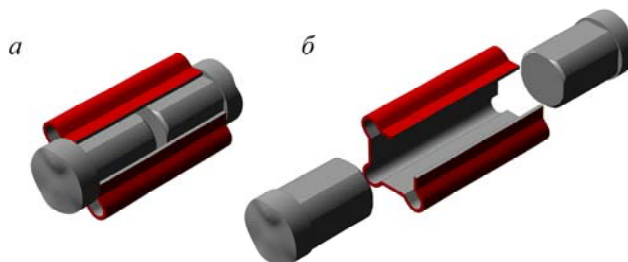


Рис. 2. Модель муфти втулкової пружної: а – коли вали з'єднані; б – коли вали роз'єднані

Для виготовлення профільної втулки з розмірами показаними на рис. 3 використовується циліндрична втулка, внутрішній діаметр якої залежить від розмірів профільної втулки і він рівний

$$d_{вм} = \frac{4(b_n + 2a + 2\pi r)}{\pi}, \tag{1}$$

де b_n – ширина лиски на валу; a – довжина прямолинійної ділянки підковоподібного виступу; r – радіус округленої ділянки підковоподібного виступу.

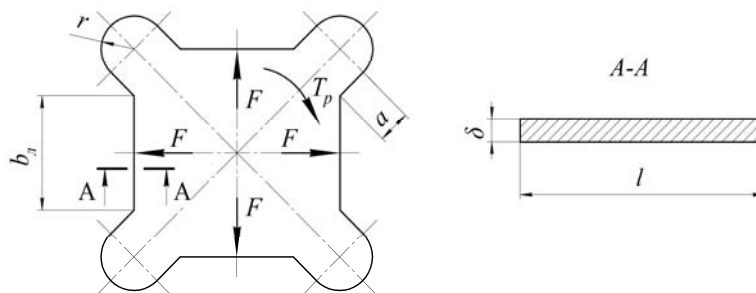


Рис. 3. Схема розмірів і навантаження профільної втулки

Для широкого використання запропонованих втулкових пружних муфт виконані теоретичні

статичні розрахунки. Розрахункова схема профільної квадратної втулки показана на рис. 3, положення вала у втулці, як показано на рис. 1, *в*:

Від дії обертального моменту T_p при повертанні вала, на гранях профільної втулки діє сила

$$F = \frac{T_p}{2df}, \quad (2)$$

де T_p – розрахунковий обертальний момент, який передається муфтою; d – діаметр вала; f – коефіцієнт тертя.

Поставлена задача розв’язується з такими допущеннями: бічні поверхні профільної квадратної втулки деформуються однаково відносно осі симетрії; навантаження, яке діє на грані квадрата при повертанні вала у профільній втулці, лежить на лінії симетрії та в площині профільної втулки перпендикулярній до осі обертання і постійні по довжині.

Пружну профільну втулку можна подати як плоску раму з одним замкнутим контуром. Згідно [13] степінь статичної невизначеності такої рами визначається за формулою

$$H = L + 3K - III, \quad (3)$$

де H – степінь статичної невизначеності; L – число лишніх зовнішніх зв’язків; K – число замкнутих контурів; III – число простих шарнірів. Для даного випадку: $L = 0$; $K = 1$; $III = 0$. Тоді $H = 3$.

Складання еквівалентної системи (рис. 4, *а*) виконаємо розрізанням у місці осі перпендикулярній в точці середини грані квадрата, тобто виявляємо лишні зв’язки, при відкиданні яких рама залишається незмінною, але статично визначеною.

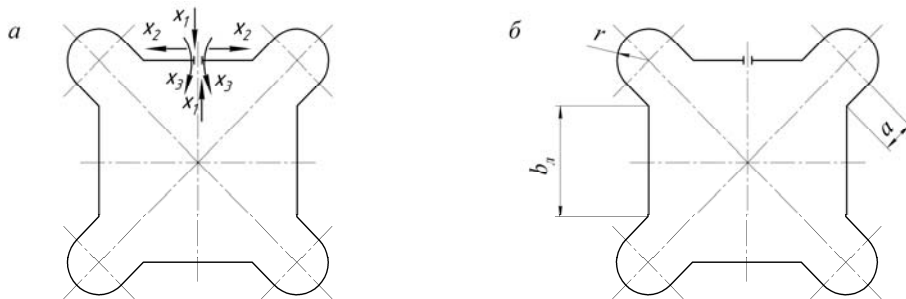


Рис. 4. Еквівалентна (*а*) і основна (*б*) системи для розрахунків профільної квадратної втулки

Лишні зв’язки замінюємо реакціями: X_1 , X_2 , і X_3 . Ці невідомі сили визначаємо із умови рівності нулю переміщень, що виникають за їхніми напрямками. Тоді канонічні рівняння методу сил матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \delta_{1F} &= 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \delta_{2F} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \delta_{3F} &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

де δ_{11} , δ_{22} , δ_{33} – переміщення, відповідно за напрямками сил X_1 , X_2 і X_3 , викликані відповідно силами $X_1=1$, $X_2=1$ і $X_3=1$; δ_{12} – переміщення за напрямком сили X_1 від сили $X_2=1$; δ_{13} – переміщення за напрямком сили X_1 від сили $X_3=1$; δ_{21} і δ_{23} – переміщення за напрямком сили X_2 від сил, відповідно $X_1=1$ і $X_3=1$; δ_{31} і δ_{32} – переміщення за напрямком сили X_3 від сил, відповідно $X_1=1$ і $X_2=1$; δ_{1F} , δ_{2F} і δ_{3F} – переміщення, відповідно за напрямками сил X_1 , X_2 і X_3 , при дії на основну систему зовнішнього навантаження F .

Основна система отримується із еквівалентної системи після звільнення її від зовнішнього навантаження F і невідомих сил X_1 , X_2 і X_3 , які замінюють дію лишніх зв’язків. Основна система показана на рис. 4, *б*.

Переміщення δ_{11} , δ_{12} , δ_{13} , δ_{21} , δ_{22} , δ_{23} , δ_{31} , δ_{32} , δ_{33} , δ_{1F} , δ_{2F} і δ_{3F} визначаються за допомогою інтегралів Мора і в частинних випадках способом Верещагіна із наступних виразів:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \sum \int_0^S \frac{M_1^2 ds}{EJ}; & \delta_{22} &= \sum \int_0^S \frac{M_2^2 ds}{EJ}; & \delta_{33} &= \sum \int_0^S \frac{M_3^2 ds}{EJ}; \\ \delta_{12} &= \sum \int_0^S \frac{M_1 M_2 ds}{EJ}; & \delta_{13} &= \sum \int_0^S \frac{M_1 M_3 ds}{EJ}; & \delta_{21} &= \sum \int_0^S \frac{M_2 M_1 ds}{EJ}; \\ \delta_{23} &= \sum \int_0^S \frac{M_2 M_3 ds}{EJ}; & \delta_{31} &= \sum \int_0^S \frac{M_3 M_1 ds}{EJ}; & \delta_{32} &= \sum \int_0^S \frac{M_3 M_2 ds}{EJ}; \\ \delta_{1F} &= \sum \int_0^S \frac{M_1 M_F ds}{EJ}; & \delta_{2F} &= \sum \int_0^S \frac{M_2 M_F ds}{EJ}; & \delta_{3F} &= \sum \int_0^S \frac{M_3 M_F ds}{EJ}, \end{aligned} \quad (5)$$

де E – модуль пружності першого роду для матеріалу профільної втулки; $J = \delta l^3 / 12$ – осьовий момент інерції перетину (див. рис. 3, А-А); M_1, M_2, M_3 і M_F – згинаючі моменти, відповідно, від сил X_1, X_2, X_3 і F .

Так як бічні поверхні профільної квадратної втулки деформуються однаково відносно осі симетрії, то для спрощення рішення задачі застосуємо схему показану на рис. 5, тобто защемленнями однієї грані, замінимо всю іншу частину профільної втулки, де $F_1 = F / 2$.

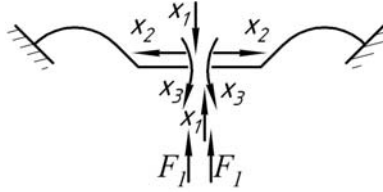


Рис. 5. Розрахункова схема грані профільної втулки

Для визначення згинаючих моментів M_1, M_2, M_3 і M_F , відповідно, від сил X_1, X_2, X_3 і F та побудови їх епюр, застосуємо схему показану на рис. 6, де x_i і y_i – поточні значення пліч дії сил, відповідно, X_1, X_2, X_3 і F

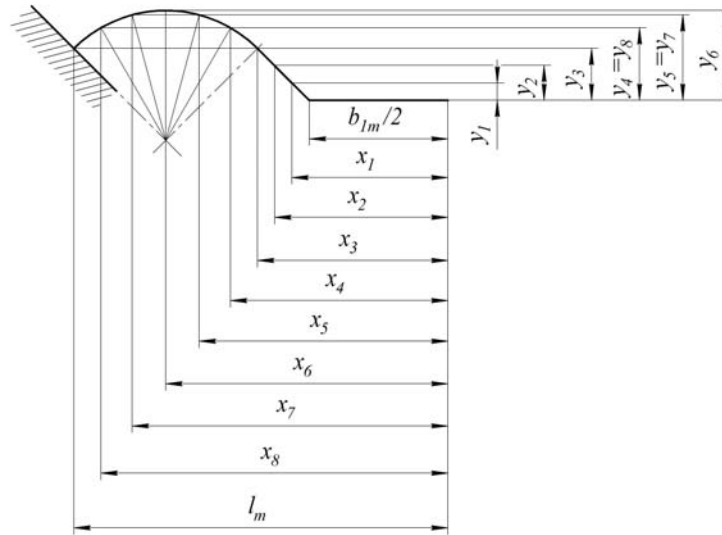


Рис. 6. Схема до розрахунку згинаючих моментів

Використовуючи схему (рис. 6) і значення $X_1=1, X_2=1, X_3=1$ і F отримаємо для визначення згинаючих моментів у защемленні наступні аналітичні вирази:

$$M_1 = 0,5b_{л} + 0,7a + 1,4r ; M_2 = 0,7a + 0,3r ; M_3 = 1 \text{ і } M_F = F_1(0,5b_{л} + 0,7a + 1,4r) . \quad (6)$$

Далі використовуємо (6) і рис. 6 будемо епюри M_1, M_2, M_3 і M_F – згинаючих моментів, відповідно від сил X_1, X_2, X_3 і F , показаних на рис. 7.

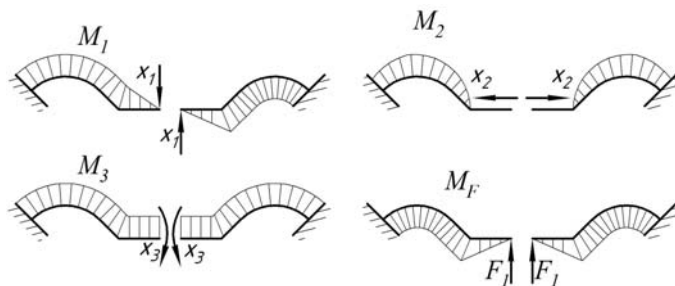


Рис. 7. Епюри згинаючих моментів M_1, M_2, M_3 і M_F , відповідно від сил X_1, X_2, X_3 і F

Із аналізу підінтегральних значень моментів виразів (5), де перемножуються симетричні епюри на кососиметричні, маємо: $\delta_{12}=\delta_{21}=0; \delta_{13}=\delta_{31}=0; \delta_{1F}=0$. Таким чином система канонічних рівнянь (4) зводиться до

$$\delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \delta_{2F} = 0 ; \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \delta_{3F} = 0 . \quad (7)$$

Використовуємо епюри згинаючих моментів (див. рис. 7) і спосіб Верещагіна, отримаємо такі

значення для переміщень:

$$\delta_{22} = \frac{a^2}{EJ} (0,68a + 0,785r); \delta_{23} = \frac{a}{EJ} (0,74a + 1,1r); \delta_{32} = \delta_{23}; \delta_{33} = \frac{1}{EJ} (0,5b_{л} + a + 1,57r + 0,785);$$

$$\delta_{2F} = -\frac{F}{2EJ} [0,23a^2 (0,5b_{л} + 0,7a) + 0,785a(0,5a + 1,4r)(0,5b_{л} + 0,7a + 0,7r)] \quad \text{і}$$

$$\delta_{3F} = -\frac{F}{2EJ} [0,125b_{л}^2 + 0,5a(0,7a + 0,5b_{л}) + 0,785(2r + 1)(0,5b_{л} + 0,7a + 0,7r)]. \quad (8)$$

Розв'язком системи рівнянь (7) знаходимо невідомі X_2 і X_3

$$X_2 = \frac{\delta_{23}(\delta_{22}\Delta_{3F} - \delta_{23}\Delta_{2F})}{\delta_{22}(\delta_{22}\delta_{33} - \delta_{23}^2)}; \quad X_3 = \frac{\delta_{23}\Delta_{2F} - \delta_{22}\Delta_{3F}}{\delta_{22}\delta_{33} - \delta_{23}^2}. \quad (9)$$

Визначимо сумарний згинаючий момент

$$M_{F\Sigma} = M_F + X_2M_2 + X_3M_3. \quad (10)$$

Для визначення переміщення δ_F використовуємо спосіб Мора або спосіб Верещагіна і основну систему (див. рис. 4, б). У напрямку переміщення δ_F прикладаємо одиничну силу ($X=1$) і від неї будуємо епюру згинаючого моменту $M_4 = 0,5b_{л} + 0,7a + 1,4r$, показано на рис. 8.

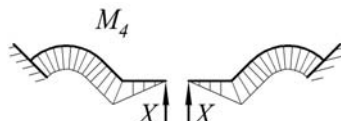


Рис. 8. Епюра згинаючого моменту M_4 , від сил X

Далі використовуємо значення моментів $M_{F\Sigma}$ і M_4 , отримуємо:

$$\delta_F = \frac{1}{EJ} [0,5F(0,5b_{л} + 0,7a + 1,4r) + X_2(0,7a + 0,3r) + X_3](0,5b_{л} + 0,7a + 1,4r). \quad (11)$$

Висновки

Розглянута муфта втулкова пружна у якій обертальний момент передається профільною втулкою забезпечує плавну передачу обертального моменту в період пуску машини, або неусталеного режиму її роботи, і покращує демпфуючі та компенсуючі характеристики за рахунок відповідної жорсткості, аж до запобіжних властивостей.

1. На основі аналізу сучасного стану конструкцій відомих втулкових муфт узагальнено їх недоліки і розроблені нові конструкції муфт з профільними втулками [6–8] для покращення процесу передавання обертального моменту.

2. Розроблений геометричний синтез профільних втулок на прикладі чотирикутного профілю з підковоподібними виступами на кутах чотирикутника і залежність (1) діаметра циліндричної втулки від геометричних розмірів профільної втулки.

3. Отримана аналітична залежність (11) між силою і деформацією в профільній втулці при передачі пружною муфтою обертального моменту може використовуватись при проектуванні нових приводів з такими муфтами, а вираз (10) дозволяє визначити максимальну величину моменту згину і для нього знайти напруження за відомими формулами.

4. Запропонований спосіб і пристрої [9–11] для виготовлення профільних втулок дозволяє легко виготовляти такі профільні втулки, які забезпечать поставлені у статті задачі.

5. Розроблені на рівні патентів України конструкції втулкових пружних запобіжних муфт та пристрої і способи їх виготовлення впроваджені у навчальні робочі програми дисциплін «Деталі машин», «Основи конструювання» і «Технічна і прикладна механіка» для вивчення студентами на кафедрі теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне).

Література

1. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В. О. Малащенко. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2006. – 196 с.
2. Bhandary V.B. Design of Machine Elements. New Delhi : Tata McGrew-Hill Education Private Ltd., 2007. – 934 p.
3. Ganesh Babu K., Srithar K. Design of Machine Elements. 2nd edition. New Delhi: Tata McGrew-Hill. Education, 2010. – 544 p.
4. Стрілець В.М. Будова, принцип роботи та розрахунки інерційно-відцентрової пружної муфти / В.М. Стрілець, В.А. Федорук, О.Р. Стрілець, Р.В. Ковальчук // Вісник Хмельницького національного університету. Науковий журнал. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – Вип. 6. – С. 38–43.
5. Стрілець В.М. Напружений стан підковоподібних пружин з защемленими кінцями у пружних

муфтах / В.М. Стрілець, О.Р. Стрілець, В.В. Завальський // Вісник Хмельницького національного університету. Науковий журнал. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – Вип. 6. – С. 12–17.

6. Пат. 99600 Україна, МПК(2006.01) F16 D 3/52. Муфта втулкова запобіжна пружна / О.Р. Стрілець, В.А. Федорук, В.М. Стрілець, Ю.М. Брошук ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 2015 00152, заявл. 12.01.2015 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11.

7. Пат. 99601 Україна, МПК(2006.01) F16 D 3/52. Муфта втулкова запобіжна пружна / В.А. Федорук, В.М. Стрілець, О. Р. Стрілець, Ю.М. Брошук ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 2015 00153, заявл. 12.01.2015 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11.

8. Пат. 99629 Україна, МПК(2006.01) F16 D 3/52. Муфта втулкова запобіжна пружна / О.Р. Стрілець, В.А. Федорук, В.М. Стрілець, М.М. Козяр ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 2015 00880, заявл. 28.01.2015 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11.

9. Пат. 100218 Україна, МПК(2006.01) F16 D 3/52. Спосіб виготовлення профільної втулки муфти втулкової пружної запобіжної / О. Р. Стрілець, В.А. Федорук, В.М. Стрілець, Ю.М. Брошук ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 2015 01838, заявл. 02.03.2015 ; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13.

10. Пат. 100532 Україна, МПК(2006.01) F16 D 3/52. Пристрій для виготовлення профільної втулки муфти втулкової пружної запобіжної / О. Р. Стрілець, В.А. Федорук, В.М. Стрілець, М.М. Козяр ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 2015 01798, заявл. 02.03.2015 ; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.

11. Пат. 101062 Україна, МПК(2006.01) F16 D 3/52. Пристрій для виготовлення профільної втулки муфти втулкової пружної запобіжної / В.М. Стрілець, В.А. Федорук, О. Р. Стрілець, Ю.М. Брошук ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 2015 01816, заявл. 02.03.2015 ; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16.

12. Кидрук М.И. Компас – 3D V9 : учебный курс / М.И. Кидрук – Санкт-Петербург : Питер, 2007. – 496с.

13. Поліщук М.П. Будівельна механіка : навчальний посібник / М.П. Поліщук. – Рівне : НУВГП, 2004. – 237 с.

Рецензія/Peer review : 10.10.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : д-р техн. наук., професор Кравець С. В.

КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ФРИКЦІЙНОЇ ВІДЦЕНТРОВОЇ МУФТИ З КАНАТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

В роботі запропонована конструкція фрикційної відцентрової муфти з канатними пружними елементами, що нечутлива до неспіввісності за рахунок відсутності надлишкових зв'язків. За рахунок виконання теоретичних досліджень встановлені основні геометричні та силові параметри запропонованої муфти. Зокрема отримано вираз для обчислення моменту тертя муфти та проаналізовано вплив на його величину конструктивних параметрів муфти. Встановлено, що за однакових розмірів та частоти обертання муфта з канатними елементами здатна розвинути момент тертя на 40% менше ніж базова муфта з радіально-рухомими колодками.

Ключові слова: фрикційна муфта, канат, відцентрова сила, момент тертя, навантаження.

V.O. PROTSENKO

Kherson State Maritime Academy

CONSTRUCTIVE-FORCE PARAMETERS OF THE FRICTIONAL CENTRIFUGAL COUPLING WITH ROPE ELEMENTS

The construction of a frictional centrifugal coupling with the rope elastic elements, insensitive to a misalignment at the expense of absence redundant links is offered in the article. At the expense of execution of theoretical researches the basic geometrical and force parameters of the offered coupling are fixed. Expression for evaluation of a friction torque of a coupling is received and influence on its magnitude of design data of a coupling is analyzed. It is determined that at the identical sizes and a rotational speed, the coupling with rope elements is capable to explicate a friction torque on 40 % less than a base coupling with radial mobile carrier sockets.

Keywords: a frictional coupling, a rope, a centrifugal force, a friction torque, a load.

Вступ. В приводах, що часто вмикаються, мають великий момент інерції ведених частин та працюють при різко змінних навантаженнях та небезпечних перевантаженнях застосовуються достатньо прості по будові та надійні в експлуатації асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором. До таких машин зокрема відносяться відцентрові сепаратори палива та мастила, що працюють у складі судових енергетичних установок та ряду переробних підприємств хімічної, харчової та будівельної промисловості. Пусковий момент в приводах таких машин може складати 200...250% від обертового моменту усталеного режиму. Сполучення у таких приводах електродвигуна з приводом постійними муфтами вимагає встановлення електродвигунів великої потужності та є причиною зменшення компактності приводу, оскільки його деталі в такому випадку розраховуються на пусковий момент. Електричне регулювання моменту в такому варіанті побудови приводу не розповсюджене, тому сполучення асинхронних двигунів з такими приводами виконують відцентровими фрикційними муфтами, що виконують в такому випадку функції обмеження пускового моменту [1].

Аналіз стану проблеми та постановка задачі дослідження. Однією з найбільш розповсюджених конструкцій фрикційних муфт є конструкція показана на рис. 1, що встановлена в приводі сепаратора палива/мастила марки СЦ-1,5. Недоліком даної муфти є наявність надлишкових зв'язків, що є причиною нерівномірного зносу фрикційних накладок колодок встановлених в муфті при її роботі в умовах неспіввісності, особливо кутової. Радіальна неспіввісність має на рівномірність зносу накладок менший вплив, оскільки колодки мають можливість радіального переміщення та самоустановки. Аналогічний момент має місце для випадку роботи муфти з осьовою неспіввісністю – наявність гладких циліндричних поверхонь фрикційних колодок та чашоподібної напівмуфти забезпечує в такому випадку самоустановку. З огляду на це, розроблення конструкцій фрикційних відцентрових муфт що позбавлені вказаних недоліків та обґрунтування конструктивно-силових параметрів цих конструкцій є важливою задачею та становить мету даної роботи.

Виклад основного матеріалу. Для ліквідації цього недоліку автором запропоновано конструкцію муфти у якій сполучення колодок із внутрішньою напівмуфтою виконано гнучкими ланками, наприклад сталевими канатами. Так на рис. 2 показана схема пропонованої муфти. Вона складається із зовнішньої чашоподібної напівмуфти 1 з циліндричним отвором 2, встановленої всередині неї внутрішньої напівмуфти 3, на якій встановлені кулачки 4, що сполучені з внутрішньою напівмуфтою 3 гнучкими елементами 5, які закріплені у напівмуфті 3 та кулачках 4 шарнірами 6 та 7. Кулачки 4 мають можливість взаємодії своїми циліндричними фрикційними поверхнями 8 з циліндричним отвором 2 зовнішньої чашоподібної напівмуфти 1, а до напівмуфти 3 притягнуті пружинами 9. Пружини 9 які одним зі своїх кінців закріплені на кулачках 4, а іншим у напівмуфті 3, і в нерухомому стані забезпечують між зовнішньою поверхнею кулачків 8 та отвором 2 напівмуфти 1 зазор z . Муфта в працює наступним чином (рис. 2). Ведучою є напівмуфта 3, яка, обертаючись в напрямку натягу гнучких ланок 5, спричиняє обертання кулачків 4, які обертаючись разом із напівмуфтою 3, під дією відцентрової сили переміщуються в радіальному напрямку, натягуючи пружини 9, та притискаються своїми фрикційними поверхнями 8 до поверхні циліндричного отвору 2 зовнішньої

чашоподібної напівмуфти 1, викликаючи силу тертя, яка створює момент тертя, що спричиняє обертання веденої зовнішньої чашоподібної напівмуфти 1. При цьому зазор z утворюється між кулачками 4 та зовнішньою поверхнею напівмуфти 3.

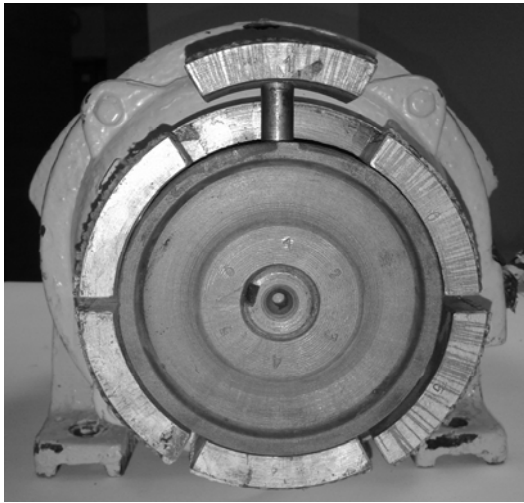


Рис. 1. Базова муфта сепаратора з радіально-рухомими колодками (зовнішню напівмуфту знято)

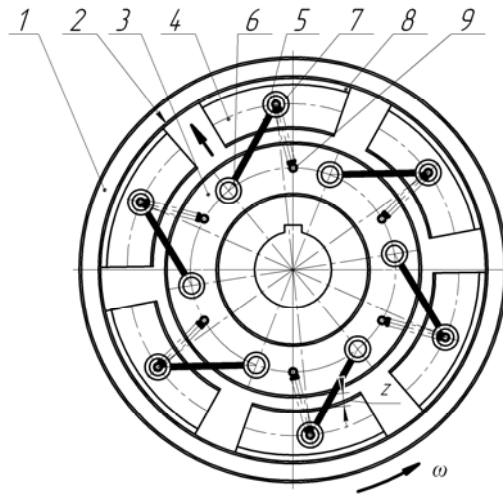


Рис. 2. Конструктивна схема запропонованої муфти в період усталеної роботи

Під час проектування муфти необхідно визначити дійсний момент, що вона здатна розвинути, а також виконувати розрахунок на міцність її елементів. Для цього необхідно визначити силові фактори в елементах муфти. З цією метою складемо та розглянемо розрахункову схему муфти (рис. 3). На цій схемі внутрішня напівмуфта 1 і відповідна їй (кожна із z встановлених) колодок 2 є ведучими і обертаються з кутовою швидкістю ω . За рахунок наявності відцентрової сили F_g колодки притискаються до внутрішньої (гальмівної) поверхні зовнішньої напівмуфти 3 силою N , яка викликає на гальмівній поверхні силу тертя F_{mp} , яка створює момент тертя T_{mp} , що є рушійним моментом для зовнішньої напівмуфти 3 та сполучених з нею деталей приводу, канати при цьому натягуються силою F_n .

Для визначення зусилля N тиску колодок на поверхню напівмуфти розглянемо рівновагу колодки (рис. 4) та складемо рівняння рівноваги в проєкціях на вісь Y :

$$N = F_g - G - F_{np} - F_n \cos \alpha_2, \tag{1}$$

де $G = m_k g$ – вага колодки;
 F_{np} – зусилля пружини.
 Тоді момент тертя муфти:

$$T_{mp} = z f \frac{D_{mp}}{2} (F_g - G - F_{np} - F_n \cos \alpha_2). \tag{2}$$

де α_2 – кут між віссю каната та радіусом муфти.

Сила натягу каната (по аналогії з постійними муфтами оснащеними торцевими канатами тангенціального розташування) [2]:

$$F_n = \frac{4TL_k}{zD_{36}D_{6H} \sin \xi} = \frac{4T_{mp} \sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5D_{36}D_{6H} \cos \xi}}{zD_{36}D_{6H} \sin \xi} = \frac{4T_{mp} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{zD_{6H}\psi_D \sin \xi}, \tag{3}$$

де L_k – теоретична довжина каната (відстань AB на рис. 3);
 D_{36} – діаметр закріплення канатів на внутрішній напівмуфті.
 ξ – кут монтажного зміщення колодок;
 $\psi_D = \frac{D_{36}}{D_{6H}}$ – коефіцієнт діаметрів.

Для визначення кута α_2 розглянемо трикутники OPB та BPA для яких можна записати:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{PB}{AP} = \frac{PB}{OA - OP} = \frac{0,5D_{6H} \sin \xi}{0,5D_{36} - 0,5D_{6H} \cos \xi} = \frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} = \frac{\psi_D \sin \xi}{\psi_D - \cos \xi}. \tag{4}$$

Вводимо заміну:

$$\cos \alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}}. \tag{5}$$

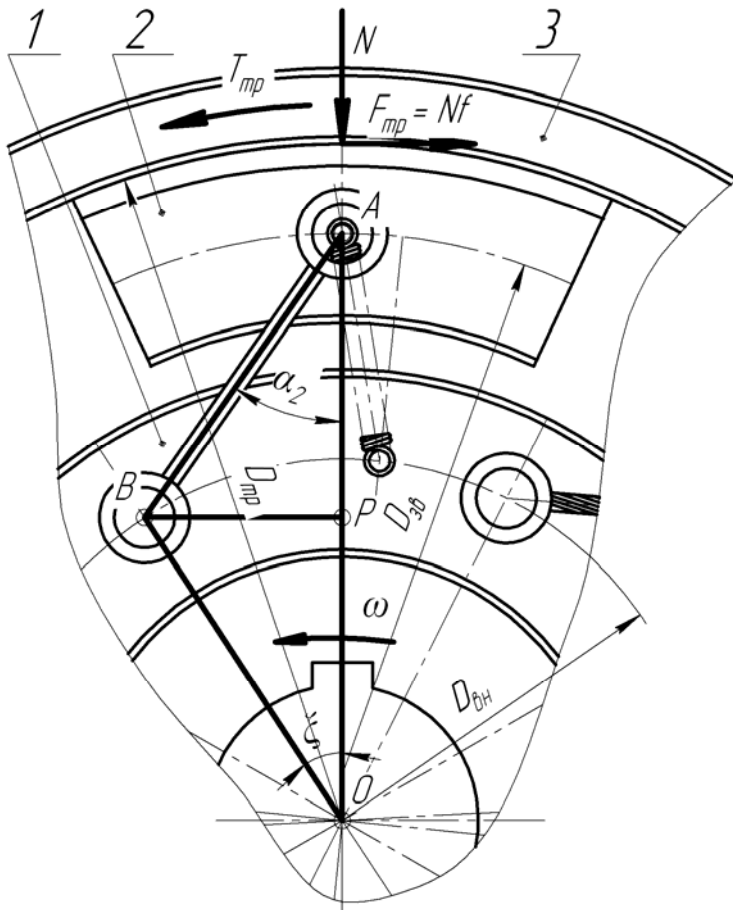


Рис. 3. Розрахункова схема муфти

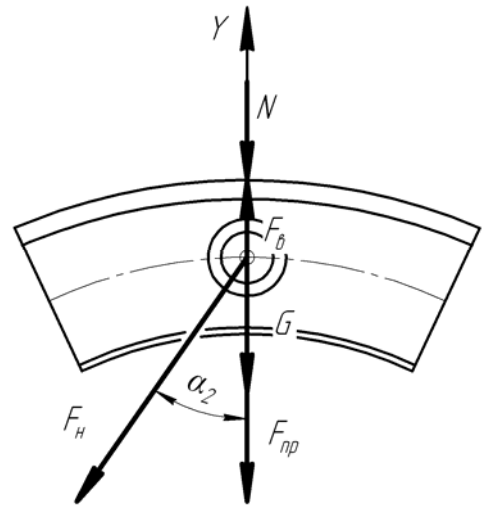


Рис. 4. Схема сил, що діють на колодку

Звідки отримаємо новий вираз (6) для моменту тертя муфти:

$$T_{mp} = z f \frac{D_{mp}}{2} \left[F_6 - G - F_{np} - \frac{4T_{mp} \sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5D_{36}D_{6H} \cos \xi}}{zD_{36}D_{6H} \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} \right)^2}} \right] \quad (6)$$

Після нескладних перетворень виразу (6) отримаємо формулу

$$(7): \quad T_{mp} = \frac{0,5z f D_{mp} (F_6 - G - F_{np})}{1 + \frac{2fD_{mp} \sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5D_{36}D_{6H} \cos \xi}}{D_{36}D_{6H} \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} \right)^2}}} = \frac{0,5z f D_{mp} (F_6 - G - F_{np})}{1 + \frac{2fD_{mp} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{D_{6H}\psi_D \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}}} \quad (7)$$

У випадку нехтування силою ваги колодки та силою пружини, з урахуванням відомого виразу обчислення відцентрової сили, для моменту тертя муфти можна записати спрощену формулу (8).

$$T_{mp} = \frac{0,25z f m_{\kappa} \omega^2 D_{mp} D_{36}}{1 + \frac{2fD_{mp} \sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5D_{36}D_{6H} \cos \xi}}{D_{36}D_{6H} \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} \right)^2}}} = \frac{0,25z f m_{\kappa} \omega^2 D_{mp} D_{6H} \psi_D}{1 + \frac{2fD_{mp} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{D_{6H}\psi_D \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}}} \quad (8)$$

Проаналізуємо вплив конструктивних параметрів муфти, зокрема кута ξ монтажного зміщення колодок на навантажувальну здатність муфти на прикладі базової муфти сепаратора СЦ-1,5. У цієї муфти $m_{\kappa} = 0,1$ кг, $D_{mp} = 150$ мм, $\omega = 157,08$ рад/с (1500 об/хв), $f = 0,4$ (феродо по сталі) [1, 3]. У канатної муфти передбачаємо конструктивно $D_{36} = 135$ мм, $D_{6H} = 100$ мм. Зміну кута ξ передбачаємо в інтервалі $5 \dots 80^\circ$.

Обчислення виконані за формулами (5) та (13) проілюстровані графіками на рис. 5.

З графіків можна зробити висновок, що при даних конструктивних параметрах та коефіцієнті діаметрів $\psi_D = 0,135$ найбільший момент муфти та найменший натяг канатів забезпечується при значенні кута ξ в околицях 40° .

Очевидно, для запропонованої фрикційної муфти також справедлива залежність (9), знайдена раніше для пружних муфт з торцевою установкою канатів тангенціального розташування [4].

$$\xi_F = \arccos \frac{1}{\psi_D} = \arccos \frac{1}{1,35} = 42,205^\circ = 42^\circ 12' 20'' . \quad (9)$$

Відтак при відомих конструктивних діаметрах D_{36} та $D_{60} = 100$ мм, а відтак і ψ_D , можна обчислювати кут ξ_F , який забезпечить максимальний момент муфти та мінімальне навантаження канатів. Наявність у формулах (6)–(8) знаменника більшого від одиниці свідчить про те, що при рівних розмірах та масі вантажів муфта з канатними елементами матиме менший момент ніж базова муфта. Так, при куті $\xi = 42,205^\circ$ найбільший момент муфти з канатними елементами складає 21,36 Нм. При цьому момент тертя базової муфти з радіально рухомими колодками при аналогічних параметрах є приблизно на 40% більшим і складає 29,98 Нм. Це означає, що для забезпечення аналогічної базовій муфті навантажувальної здатності необхідно збільшити масу колодок, щоб нівелювати вплив на нормальну реакцію N сили натягу канатів F_n .

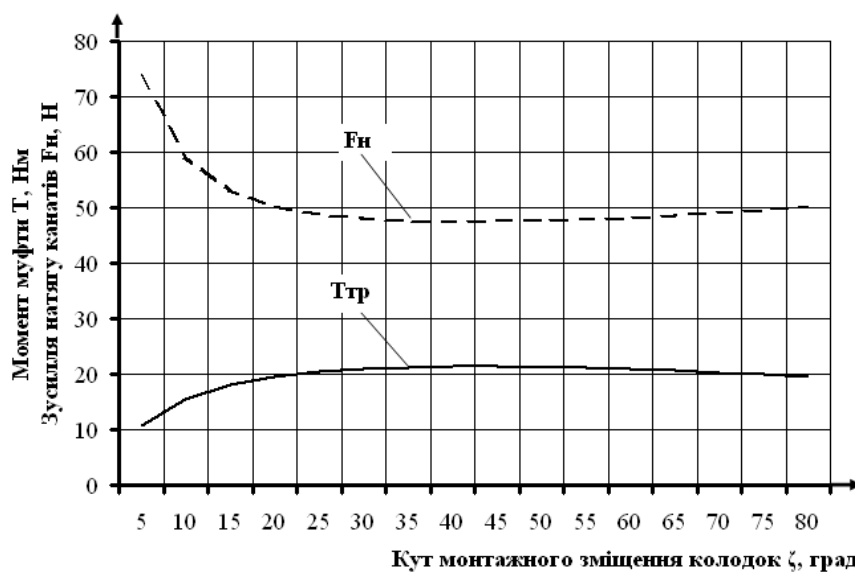


Рис. 5. Графіки впливу величини кута ξ на навантажувальну здатність та натяг канатів муфти

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

1. Запропонована конструкція відцентрової фрикційної муфти з канатними елементами, що не містить зайвих зв'язків порівняно з муфтою-прототипом.
2. Отримано вираз для обчислення моменту тертя, який здатна розвинути нова муфта.
3. Встановлено, що при однакових розмірах та частоті обертання, муфта з канатними елементами здатна розвинути момент тертя на 40% менше ніж базова муфта з радіально-рухомими колодками. Збільшення навантажувальної здатності муфти доцільно виконувати за рахунок збільшення маси вантажів.

Література

1. Дьяченко С.К. Предохранительные муфты / Дьяченко С.К., Киркач Н.Ф. – К. : Гостехиздат УССР, 1962. – 122 с.
2. Проценко В.О. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В.О. Проценко, В.О. Настасенко, О.Ю. Клементьєва // Підійомно-транспортна техніка : науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса : ІНТЕРПРІНТ. – 2015. – № 4. – С. 53–59.
3. Иванов Е.А. Муфты приводов / Е.А. Иванов. – М. : Машгиз, 1959. – 412 с.
4. Проценко В.О. Вплив компонування муфти з торцевими канатами тангенціального розташування на силову взаємодію її елементів / В.О. Проценко, О.Ю. Клементьєва // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів : НЛТУ України, 2016. – Вип. 26.1 – С. 292–397.

Рецензія/Peer review : 27.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 28.10.2016 р.

Рецензент : к.т.н., доц. Бабій М.В.

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ УСТАТКУВАННЯ ТА
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ З КРУЧЕННЯМ**

Робота відноситься до технології штампування з крученням. Технологія може бути реалізована за наявності відповідного устаткування, обладнання та інструменту. Наведено значну частину відомих конструкцій. Вони є спеціалізованими, універсальними, які можуть здійснювати комбіновані та звичайні режими навантаження. Розглянуто кривошипні, гвинтові, гідравлічні преси, механічні пристрої для штампування на пресах з поступальним переміщенням повзуна, конструкцію штамп. Виконаний аналіз дав можливість визначити їх переваги та недоліки і, тим самим, запропонувати область застосування. Увага зверталась на силові та енергетичні параметри, функціональні можливості та універсальність. Обмежений обсяг роботи не дає можливості наведення повного переліку відомих конструктивних рішень, але розглянуті в роботі конструкції дають уявлення про стан вирішення цього питання.

Ключові слова: штампування з крученням, кривошипні, гвинтові, гідравлічні преси, пристрої, штамп.

V.L. MARCHENKO
Khmelnytsky National University

COMPARATIVE ANALYSIS AND EQUIPMENT EQUIPMENT STAMPING TORSION

The work relates to the technology of punching torsion. The technology can be implemented with the appropriate equipment, machinery and tools. A significant part of the known structures. They are specialized, universal, which can carry a combined load and normal modes. Considered crank, screw, hydraulic presses, mechanical devices for stamping on presses with forward movement of the slide, stamp design. The analysis made it possible to identify their strengths and weaknesses and thus offer scope. Attention was drawn to the power and energy parameters, functionality and versatility limited amount of work makes it impossible to restore full range of design solutions known but considered in the design give an idea about the state of this issue.

Keywords: punching of torsion, crank, screw, hydraulic presses, devices, dies.

Вступ

Технологія штампування з крученням відома досить давно, але на даний час не знайшла широкого розповсюдження, хоча має певні очевидні переваги. Це зниження зусилля деформування та поліпшення механічних властивостей поковок. Причиною цього є складність в реалізації технології, яка вимагає наявність устаткування, обладнання та оснастки.

Постановка задачі

Метою даної роботи є виявлення та аналіз відомих конструкцій, що допоможе розв'язати цю задачу.

Основна частина

Відомо декілька типів устаткування для штампування з крученням. Окрім лабораторних установок, призначених для проведення наукових досліджень і не придатних для виробничого використання, створено конструкції гідравлічних, гвинтових та кривошипних пресів. Внаслідок складності кінематики робочого органу ускладнюється і кінематична схема самих пресів, що дозволяє віднести їх до спеціальних.

В роботах [1–4] описуються конструкції кривошипних пресів, в яких для надання робочому органу преса – штампоутримувачу обертового руху – використано гвинтовий механізм, спроможний передавати великі моменти та перетворювати поступальний рух в обертовий. В цьому механізмі штампоутримувач жорстко з'єднаний з гвинтом, що рухається під дією шатуна преса та створює гвинтову несамогальмівну пару з гайкою, яка вмонтована в повзуні преса і разом з ним теж здійснює поступальний рух. Для забезпечення незалежних рухів повзуна з гайкою та гвинта в конструкціях застосовуються додаткові кривошипно-шатунні механізми чи механізми з більш складною структурою. При чому додаткові кривошпили повернені відносно центрального на певний кут. Обертання гвинта досягається за рахунок попереджувального руху гайки відносно гвинта.

Технологічний параметр – відношення кутової та поступальної швидкостей інструмента визначається відношенням швидкостей поступального переміщення гайки v_e та гвинта v_g .

Конструкції, описані в роботах [5, 6], створено з метою отримання якомога більшого відношення кутової та поступальної швидкостей на заключному етапі штампування (рис. 1).

Ці конструкції дійсно забезпечують значення співвідношення v_e/v_g в межах робочого кута $2,5 \leq \alpha \leq 12^\circ$, яке досягає восьми і більше. Але, якщо цей показник видається авторами як досягнення, це не зовсім вірно. Як виходить з результатів розглянутих робіт, існує оптимальне значення співвідношення, при якому знижується зусилля деформування. Перевищення цього значення призводить до інтенсивного збільшення роботи, але мало впливає на величину зусилля.

Окрім того, співвідношення швидкостей є величиною незмінною для преса, хоча повинно мати різні значення в залежності від розмірів заготовки.

Повний кут повороту інструмента за один оберт кривошипного вала визначається конструкцією

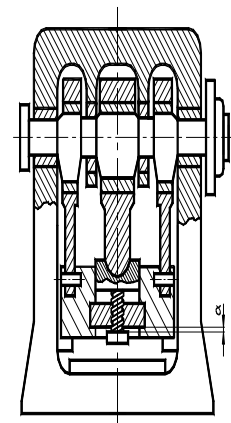


Рис. 1. Конструкція кривошипного преса для штампування з крученням

виконавчого механізму, розмірами його елементів і є величиною обмеженою: це звужує область застосування преса.

Одним з найбільших недоліків конструкції є наявність декількох кривошипів, повернутих на певний кут. В період штампування додаткові кривошипи повернуті відносно нижнього положення на кут, більший робочого. Тому для подолання корисного навантаження, яким є переміщення гайки, до них необхідно прикласти значний момент. Враховуючи, що осьове зусилля, яке забезпечує поворот гвинта, не значно відрізняється від осьового зусилля деформування заготовки, момент на додаткових кривошипах може перевищувати момент на центральному кривошипі, що вимагає збільшення потужності приводу.

В роботі [4] наведена конструкція кривошипного преса, в якому штампоутримувач столу має можливість здійснювати обертальний рух. Прес обладнаний механічною передачею, що пов'язує кривошипний вал преса з штампоутримувачем столу. Механічна передача виконана у вигляді трьохступеневого редуктора.

До недоліків преса можна віднести наступні. Як і в попередньому випадку технологічний параметр – відношення швидкостей обертального і поступального руху – є величиною незмінною для будь-якої заготовки. Конструкція не враховує реальних величин навантажень. Зубчасті передачі, які застосовуються в конструкції для повороту заготовки, по умові міцності не забезпечать необхідний обертальний момент. Штамп впирається на підшипник. Але для реальних навантажень відсутні підшипники, які могли б їх сприйняти. За цих причин наведена конструкція є непрацездатною і не застосовується на виробництві.

Однак, ця конструкція має недолік, який полягає в тому, що при оптимальних для гвинтових пресів кутах нахилу витків гвинтової пари відношення кутової швидкості ω до лінійної швидкості повзуна v мало, що не забезпечує ефективності штампування з крученням.

З метою збільшення відношення ω/v в столі преса може бути влаштований гідравлічний циліндр, з'єднаний з баком за допомогою дроселя, на плунжері якого закріплена підштамова плита. Однак дроселювання рідини з гідроциліндра приводить до більших втрат енергії, що різко знижує коефіцієнт корисної дії преса і ефективність штампування з крученням. При забезпеченні оптимальних параметрів штампування з крученням 2/3 енергії поступального переміщення губиться в дроселі.

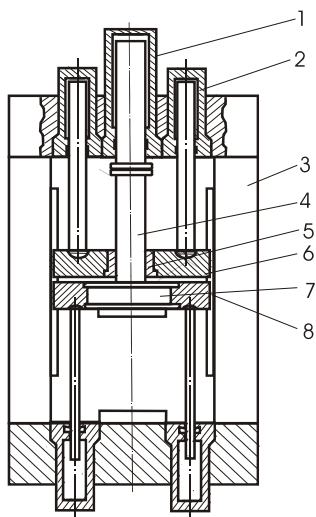


Рис. 3. Конструкція гідравлічного преса

Для зниження втрат енергії при дроселюванні рідини запропонована конструкція преса, розробленого на базі гвинтового дугостаторного преса [6]. В пресі забезпечується задане відношення швидкостей поступального і обертального рухів інструмента і в той же час відсутні енергетичні втрати, пов'язані з дроселюванням рідини.

Хоча наведені конструкції дозволяють виконувати штампування з крученням, досягти оптимальних параметрів дуже важко. Зусилля, яке створюється пресом, залежить від багатьох параметрів. Серед них можна назвати швидкість повзуна, точно визначити яку складно. В залежності від розмірів заготовки змінюється і робота деформування, а значить, і швидкість повзуна. При цьому змінюється і швидкість руху плунжера разом зі штампом та відносна швидкість поступального і обертального рухів відносно заготовки.

Запропонована авторами роботи [7] конструкція іншого преса дозволяє змінювати відношення ω/v при переході з однієї поковки до іншої. Задане відношення забезпечується підбором шестерень. З метою зниження моменту, який передається на корпус преса, в роботі [8] шток пропонується виготовляти з двома ділянками гвинтової нарізки з різним напрямком. Нарізки призначені для переміщення штоку преса і обертання штампа.

Спільними недоліками гвинтових пресів для штампування з обертанням інструмента є наступні. Преси не призначені для процесів, де хід повзуна не обмежений (осадка, видавлювання). Вони дозволяють створювати момент сил тертя та осьове зусилля тільки в певному співвідношенні, яке визначається кутом нахилу гвинтової нарізки, що в більшості випадків не забезпечує оптимальних параметрів штампування.

Конструкції гідравлічних пресів описано в роботах [9-11]. Типова конструкція пресу показана на рис. 3. Прес містить центральний гідроциліндр 1, додаткові гідроциліндри 2, які закріплені на станині преса 3. Шток центрального гідроциліндра 4 має гвинтову нарізку з несамогальмівною різьбою по якій він спряжений з гайкою 5, жорстко закріпленою в додатковій рухомій траверсі 6. Штампотримувач 7 жорстко зв'язаний з штоком і може здійснювати обертальний рух в повзуні преса 8.

Шток зі штампом та додаткова траверса здійснюють рух під дією окремих гідроприводів. Обертання відбувається завдяки різним швидкостям руху траверси і штоку преса. При чому включення гідроприводу додаткової траверси здійснюється при досягненні зусиллям деформування певної величини.

В гідравлічному пресі запропонованому і в роботі [11], момент початку обертання інструмента визначається положенням упорів, які

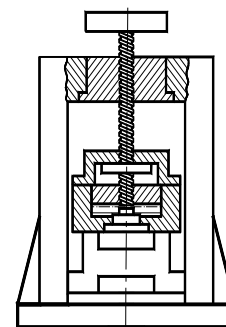


Рис. 2. Гвинтовий прес для штампування з крученням

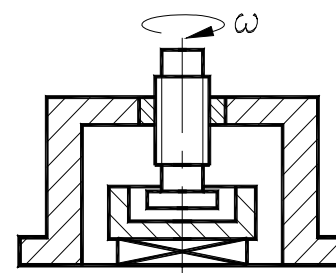


Рис. 4. Штамп для видавлювання з крученням

встановлені в направляючих станини між верхньою нерухомою траверсою і додатковою рухомою. Співвідношення швидкостей поступального і обертального рухів задано параметрами різьби.

Основними недоліками пресів є незмінна швидкість додаткової траверси, що приводить до постійної кутової швидкості штампу на протязі деформування. Це не забезпечує оптимальних параметрів штампування. Оптимальне співвідношення кутової та обертальної швидкостей залежить від зусилля деформування та розмірів заготовки, які змінюються.

Питанню розробки спеціалізованих конструкцій інструмента, які найбільш повно враховують особливості деформування з крученням, досі приділялося недостатньо уваги. Існує думка про те, що при цьому достатньо використовувати традиційні конструкції інструмента]. Хоча цими ж дослідниками пропонується спеціальна конструкція штампа. Штмп містить зовнішню обойму, яка має можливість обертання відносно осі штампа. Обертання обойми не заважає обертанню заготовки, завдяки чому знижується технологічне зусилля та виникають деформації, які рівномірно розподілені по висоті.

Штмп для видавлювання з крученням (рис. 4) наведено в роботі [12]. Конструкція має більше ознак пристрою і призначена тільки для експериментальних досліджень. Пристрій, що дозволяє виконувати штампування з обертанням інструмента на пресах з поступальним переміщенням повзуна описано в роботі [13].

Пристрій складається з гвинта і гайки-тумби (рис. 5).

Гайка-тумба приєднується до повзуна преса і здійснює разом з ним поступальний рух. Обертання гвинта виникає при відносному їх переміщенні завдяки наявності гвинтової нарізки. Параметри різьби вибираються з тією умовою, щоб виникаючий в різьбовому з'єднанні обертальний момент був врівноважений реактивним моментом, який діє на контактній поверхні. Однак, в цьому пристрої зусилля деформування повністю сприймається різьбою гвинтового з'єднання і обмежене його міцністю, а параметри різьби призначаються у відповідності з розмірами конкретної заготовки і не можуть бути ефективно використані для іншої деталі.

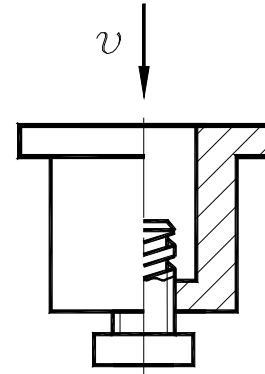


Рис. 5. Пристрій для штампування з крученням на пресах з поступальним переміщенням повзуна

Окрім цього, не передбачено можливість створення попереднього тиску на заготовку, без чого пристрій може працювати тільки в умовах заклинювання. Наявність певного співвідношення між моментом і осьовим зусиллям, яке зумовлене кутом нахилу гвинтової нарізки, обмежує межі ефективного застосування пристрою.

В роботі [14] наведено конструкцію пристрою, яка заснована на тому, що зусилля деформування розподіляється між механічною частиною і гідросистемою а співвідношення осьової та обертальної швидкостей є змінною величиною, яка залежить від зусилля деформування.

Пристрій призначений для штампування на пресах з великою міжштамповою відстанню та ходом повзуна і може бути використаний на гідравлічному та гвинтовому пресах. Конструкція виконана у вигляді автономної замкненої гідросистеми, яка не вимагає додаткового приводу, та системи керування роботою виконавчих елементів.

Принципова схема пристрою показана на рис. 6. Пристрій має суттєві переваги над описаними раніше. Тому розглянемо його дещо детальніше.

В ньому можна виділити дві основні частини: механічну, яка безпосередньо виконує деформування заготовки і гідравлічну систему, яка забезпечує потрібні силові і кінематичні параметри деформування.

Механічна частина пристрою вміщує корпус 1 з виконаним в ньому силовим гідроциліндром ЦС з поршнем ПЦ, посадженим на гвинт 2, та спряженою з ним гайкою 3, яка жорстко закріплена в корпусі. Корпус спирається на пружини 4, 5 і може поступально переміщуватись в направляючих 6, 7, закріплених в основі пристрою 8. Кількість направляючих та пружин назначається з конструктивних міркувань і може відрізнятись від вказаної. Для запобігання перекосу при деформуванні заготовки гвинт спряжений з плитою 9, яка може здійснювати рух в направляючих 6, 7. Гідроциліндр ЦС з'єднаний з гідроаккумулятором ГА через трубопровід посередньо прямого ЗК та зворотного КЗ гідроклапанів.

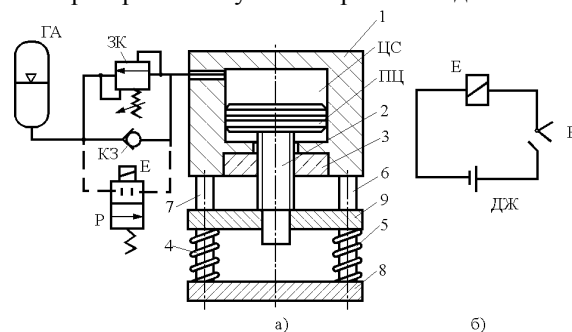


Рис. 6. Принципова конструкція одноциліндрового пристрою –а; можлива електрична схема – б

Пристрій працює наступним чином.

В початковому стані гвинт 2 разом з поршнем ПЦ під тиском рідини, створеним гідроаккумулятором ГА, займає крайнє нижнє положення. Разом з повзуном преса, який здійснює робочий хід, корпус 1 сумісно с гідроциліндром ЦС і гвинтом 2 переміщуються з однаковою швидкістю до контакту з заготовкою.

З цього моменту швидкість гвинта стає рівною швидкості деформування заготовки, а корпус 1 разом із гайкою продовжують рухатись із швидкістю повзуна. Тиск рідини в гідроциліндрі підвищується. На певному етапі цей тиск протидіє відносному переміщенню гвинта 2 та гайки 3, а деформування відбувається без обертання інструмента. Це дозволяє зменшити необхідну довжину гвинта, створити попередній тиск на поверхню заготовки, який забезпечує виникнення зсувних навантажень при обертанні інструмента.

Крім того, наявність тиску в гідроциліндрі приводить до того, що гідросистема сприймає суттєву частину зусилля штампування, і навантаження на різьбове з'єднання обумовлене, головним чином,

необхідністю створення обертального моменту.

В разі досягнення тиском рідини в гідроциліндрі певного, наперед заданого значення, гідроклапан ЗК відчиняється, рідина переходить з гідроциліндра через трубопровід та зворотній гідроклапан КЗ в гідроаккумулятор ГА, гвинт 2, здійснюючи переміщення відносно гайки 3, обертається і через інструмент передає обертальний момент заготовці.

Після закінчення штампування гідроциліндр ЦС завдяки наявності пружин 4, 5 переміщується в направляючих колонках, а під дією тиску гідроаккумулятора ГА поршень ПЦ сумісно з гвинтом 2 повертається в вихідне положення, а рідина з гідроаккумулятора ГА через трубопровід і зворотній гідроклапан КЗ повертається в гідроциліндр ЦС.

Як видно з рис. 6, відстань між інструментом, закріпленим на гвинті, і заготовкою значно менша за міжштампову відстань, що може викликати незручності при розміщенні заготовки в штампі. Ці незручності можна певною мірою усунути, якщо гвинт буде повертатись в вихідне положення не одразу після закінчення штампування, а після розміщення нової заготовки в штампі.

Для досягнення цього режиму роботи пристрою зворотній гідроклапан КЗ необхідно замінити на гідророзподільник Р, а гідравлічну систему доповнити електричною. Можлива електрична схема показана на рис.6, б.

Схема складається з джерела живлення ДЖ, вимикача В, магніта гідророзподільника Е. На протязі штампування вимикач В виключений і завдяки гідророзподільнику Р трубопровід роз'єднаний а рідина переходить з гідроциліндра ЦС в гідроаккумулятор ГА тільки через гідроклапан ЗК. Після повернення корпусу 1 в верхнє положення і розміщення нової заготовки в штампі вимикач В включається. Гідророзподільник Р з'єднує трубопровід і гвинт повертається в попередній стан.

При подальшому вимкненні вимикача гідророзподільник роз'єднує трубопровід і пристрій підготовлений для штампування. Пристрій досить простий, але має певні недоліки. Насамперед, це велика висота пристрою, що обмежує його застосування. Крім того, все зусилля сприймається гвинтом пристрою, що знижує його міцність, а наявність поршня зменшує зносостійкість гідроциліндра.

Висновки

Наведені конструкції свідчать про те, що не існує обладнання, яке задовольняло би всім вимогам виробництва. Вибір устаткування та оснастки повинен вибиратися з огляду конкретних умов. З погляду економічності, універсальності та енергетичних витрат переваги має пристрій, наведений на рисунку 6.

Література

1. А. с. 1368192 СССР, МКИ В 30 В1/26. Кривошипный пресс для штамповки с кручением / О.А. Ганаго, В.Н. Субич, Б.А. Степанов (СССР). – Заявлено 15.06.87 ; опубл. 03.88.1988. – Бюл. № 9. – 2 с.
2. А. с. 1276521 СССР, МКИ В 30 В1/26. Кривошипный пресс для штамповки с кручением / О.А. Ганаго, А.М. Гришков, В.Я. Головин (СССР). – Заявлено 23.04.82 ; опубл. 12.86. – Бюл. № 46. – 2 с.
3. Степанов Б.А. Исследование исполнительных механизмов механических прессов для штамповки методом осадки с кручением / Б.А. Степанов, В.С. Лизунов // Обработка металлов давлением в автомобилестроении. – М. : МАИ. 1984. – С. 120–128.
4. А. с. 986053 СССР, МКИ В 30 В1/06. Кривошипный пресс / О.А. Ганаго, В.Н. Субич, Б.А. Степанов (СССР). – Заявлено 12.05.81 ; опубл. 12.82. – Бюл. № 48. – 3 с.
5. Субич В.Н. Влияние жесткости кривошипных прессов на технологические параметры штамповки с кручением / В.Н. Субич // Машины и автоматизация кузнечно-штамповочного производства. – М., 1998. – С. 32–38.
6. Совершенствование конструкций винтовых прессов с вращающимся инструментом / Б.А. Степанов, А.В. Сафонов, В.Н. Субич, И.А. Церна // Обработка металлов давлением в автомобилестроении. – М., 1980. – С. 144–151.
7. А. с. 556053 СССР, МКИ В 30 В1/18. Винтовой пресс для штамповки с кручением / Ю.А. Бочаров, А.В. Сафонов, О.А. Ганаго, В.Н. Субич, Б.А. Степанов (СССР). – Заявлено 13.06.75 ; опубл. 04.77. – Бюл. № 16. – 3 с.
8. А. с. 1249816 СССР, МКИ В 30 В1/18. Винтовой пресс. – 1986. – Бюл. № 29 (не подлежит опубликованию).
9. А. с. 916341 СССР , МКИ В 30 В1/18. Гидравлический пресс / О.А. Ганаго, В.Н.Субич, Б.А. Степанов (СССР). – Заявлено 29.05.80 ; опубл. 03.82. – Бюл. № 12. – 2 с.
10. А. с. 706173 СССР, МКИ В 30 В1/18. Гидравлический пресс / О.А. Ганаго, В.А. Паршин, А.В. Сафонов, Б.А. Степанов, В.Н. Субич (СССР). – Заявлено 25.07.78 ; опубл. 10.79. – Бюл. № 48. – 3 с.
11. А. с. № 1117228 СССР. Пресс для штамповки с кручением. – 1984. – Бюл. № 37.
12. Шнейберг А.М. Силовые параметры обратного выдавливания вращающимся пуансоном / А.М. Шнейберг, М.К. Сергеев, И.Л. Зайцева // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – № 2. – С. 128–132.
13. Леванов А.Н. Технологическая эффективность осадки и штамповки с активным действием сил трения / А.Н. Леванов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – № 2. – С. 6–8.
14. Патент 35671 Україна МКІ В21D22/08. Пристрій для штампування з крученням / Марченко В.Л., Шамарін Ю.Є., Вовк В.П., Ковтун В.В., Аль-Равашдех М.А. – Бюл. № 3. – 3 с.

БОКОВЫЕ МНОГОГРАННЫЕ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫЕ ПЛАСТИНЫ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Рассмотрены основные виды установки многогранных неперетачиваемых пластин в сборных инструментах: радиальной, тангенциальной и боковой и показаны их отличия, достоинства и недостатки, на базе которых разработан новый вид пластин – боковые многогранные неперетачиваемые пластины (БМНП), созданные из стандартных твердосплавных пластин, у которых радиус сопряжения боковых граней на вершинах устранен дополнительной заточкой лысок или дуговых выемок. Для упрощения их изготовления предложено формирование на заготовках дуговых выступов у вершин, что снижает трудоемкость заточки.

Ключевые слова: боковые многогранные неперетачиваемые пластины и форма их заготовок.

V. A. NASTASENKO, M. V. BABII, I. V. BLAH

Kherson State Maritime Academy, Ukraine

LATERAL MULTIFACETED UNRESHARPENABLE PLATES PREFORM OF ITS PRODUCTION

Principal types of multifaceted unresharpenable plates (MUP) for assembled cutting tools are considered in different types of their installation, and main distinguishing features, advantages and disadvantages are shown. The system of plates of new type is developed – lateral multifaceted unresharpenable plates (LMUP) created basing on standard hard alloy plates installed on lateral face in which the radius of integration of later faces of tops is removed by additional sharpening of flats or arc grooves.

Keywords: lateral multifaceted unresharpenable plates, and form its perform.

Введение. Связь работы с основными научными направлениями. Работа относится к сфере режущих инструментов, в частности – сборных, оснащенных 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]. МНП стандартного типа (ГОСТ 19043-80...ГОСТ 19081-80) широко применяются для проходных и подрезных токарных резцов, дисковых и торцовых фрез. Однако основной вид их установки в корпусе инструмента – радиальный, другие виды установки – тангенциальный и боковой, несмотря на их преимущества – увеличение толщины МНП в направлении действия сил резания, что позволяет увеличить сечение срезаемого слоя и повысить производительность обработки [1], широкого распространения не получили [2]. Поэтому устранение указанных недостатков является важной и актуальной задачей усовершенствования МНП и оснащаемых ими режущих инструментов.

Анализ состояния проблемы, выбор цели и задач выполняемой работы. В работе [2] показано, что основной проблемой, сдерживающей применение стандартных МНП при тангенциальной и боковой установках, является наличие переходного радиуса $r \geq 0,2$ мм на участках сопряжения их боковых граней (рис.1), увеличение которого повышает стойкость пресс-форм для изготовления пластин, однако усложняет отделение корня стружки.

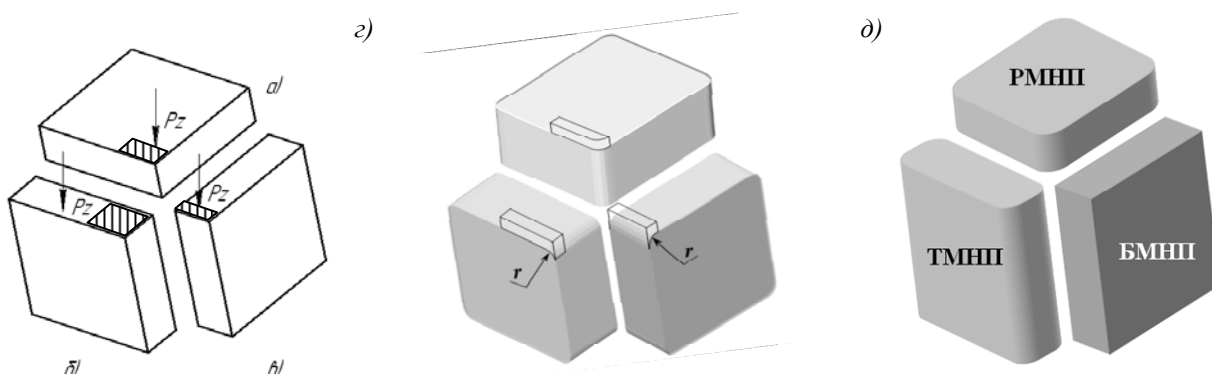


Рис. 1. Взаимосвязь возможных схем установки режущих пластин в резах по трем плоскостям куба: а) радиальная, б) тангенциальная, в) боковая, г) варианты установки МНП по трем плоскостям куба, д) разновидности МНП

Таким образом, анализ МНП по рис. 1 показывает, что их следует строго разделить на 3 разновидности: 1) радиальные (РМНП), 2) тангенциальные (ТМНП), 3) боковые (БМНП), а наличие заметного переходного радиуса на участках сопряжения боковых граней МНП, высота которых меньше их длины по всему контуру, строго показывает, что данная пластина является радиальной. Отличительной особенностью тангенциальных пластин является изменение ориентации прессования и размеров сжимаемых поверхностей, у которых одна из сторон меньше высоты боковых граней (рис. 1.д). Отличительной

особенностью боковых пластин является полное отсутствие переходных радиусов на участках сопряжения боковых граней (рис. 1.д), что исключает возможность прессования таких пластин и требует решения проблемы их производства.

Целью данной работы является разработка способов и заготовок для изготовления боковых многогранных неперетачиваемых пластин. Научную новизну выполняемой работы составляет обоснование и выбор наилучших вариантов изготовления заготовок боковых многогранных неперетачиваемых пластин.

Изложение основного материала. Разработка заготовок для БМНП и способов их производства. В патенте [3] было впервые предложено изготовление БМНП путем заточки лысок или дуговых выемок на переходных участках боковых граней после прессования стандартных МНП, с последующей установкой их в инструменте на свою боковую грань. Основные варианты исполнения таких пластин приведены на рис. 2.

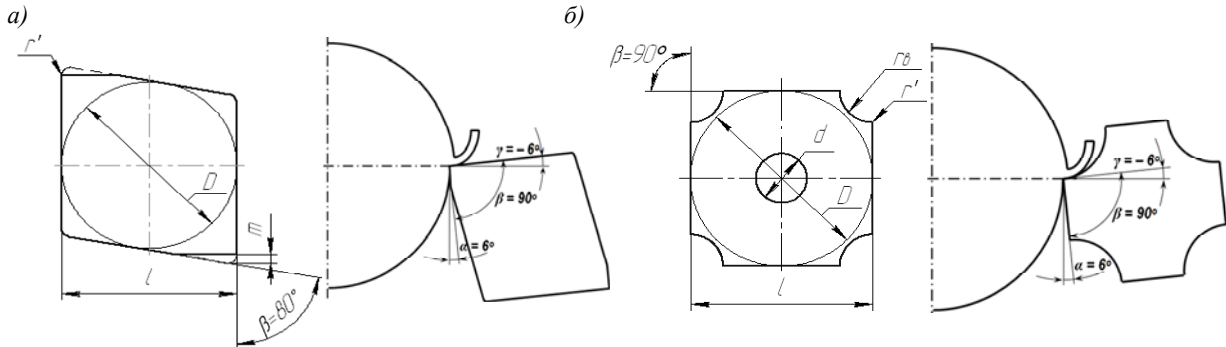


Рис. 2. БМНП на базе МНП стандартных форм: а) с лысками m , б) с дуговыми выемками r , устраняющими переходный радиус сопряжения боковых сторон, формируемый при их прессовании.

При этом исходный переходный радиусный участок r уменьшается с $r \geq 0,2$ мм до величины $r' \leq 0,01$ мм, что сводит стандартные МНП к новому виду – боковым многогранным неперетачиваемым пластинам (БМНП), отличительной особенностью которых является выполнение режущих кромок на боковых ребрах пластин. Дополнительная заточка лысок и выемок под углом 90° ко второй боковой поверхности исключает 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 . Однако возможно уменьшение угла сопряжения боковых режущих кромок до 80° , что позволяет выполнить установку БМНП с нулевым передним углом. Выполнение лысок в виде ленточек со стороны задней поверхности БМНП увеличивает свободу ее перемещения относительно поверхности резания, а на передней – обеспечивает увеличение переднего угла при срезании стружки большой толщины. Дополнительную заточку вершин своих БМНП для отрезных резцов выполняют их производители: SANDVIK COROMANT, ISCAR, HORN, TAEGUTEC, MITSUBISHI и др. [4–10], поэтому по сравнению с данными пластинами, трудоемкость и себестоимость изготовления предлагаемых БМНП не повышается.

Формы остальных исполнений стандартных пластин, имеющих выемки 1 и лыски 2, или сдвоенные левые 3 и правые 4, лыски на вершинах, удаляющие радиусный переходный участок r по патенту [3], показаны на рис. 3.

Количество предлагаемых БМНП (рис. 3) удваивается за счет выполнения в них центральных отверстий, что закрывает все поле возможных технических решений в данной сфере.

Выполнение радиусных выемок на вершинах БМНП удваивает количество режущих кромок и возможности их переустановки, адекватно уменьшая их расход. Однако объем сошлифовываемого при этом твердого сплава значительно увеличивается, что повышает трудоемкость заточки. Для уменьшения данного недостатка у вершин БМНП предложено выполнение дуговых выступов радиуса ρ , величина которого выбирается равной радиусу r исходных пресс-форм, исходя из условий их долговечности, а режущие кромки формируются дополнительной заточкой этих выступов. На примере трехгранных пластин (рис. 4) показаны 3 возможных варианта расположения выступов: а) на боковой поверхности, б) на дуговой выемке, в) на боковой поверхности и на дуговой выемке с обеих сторон режущей кромки.

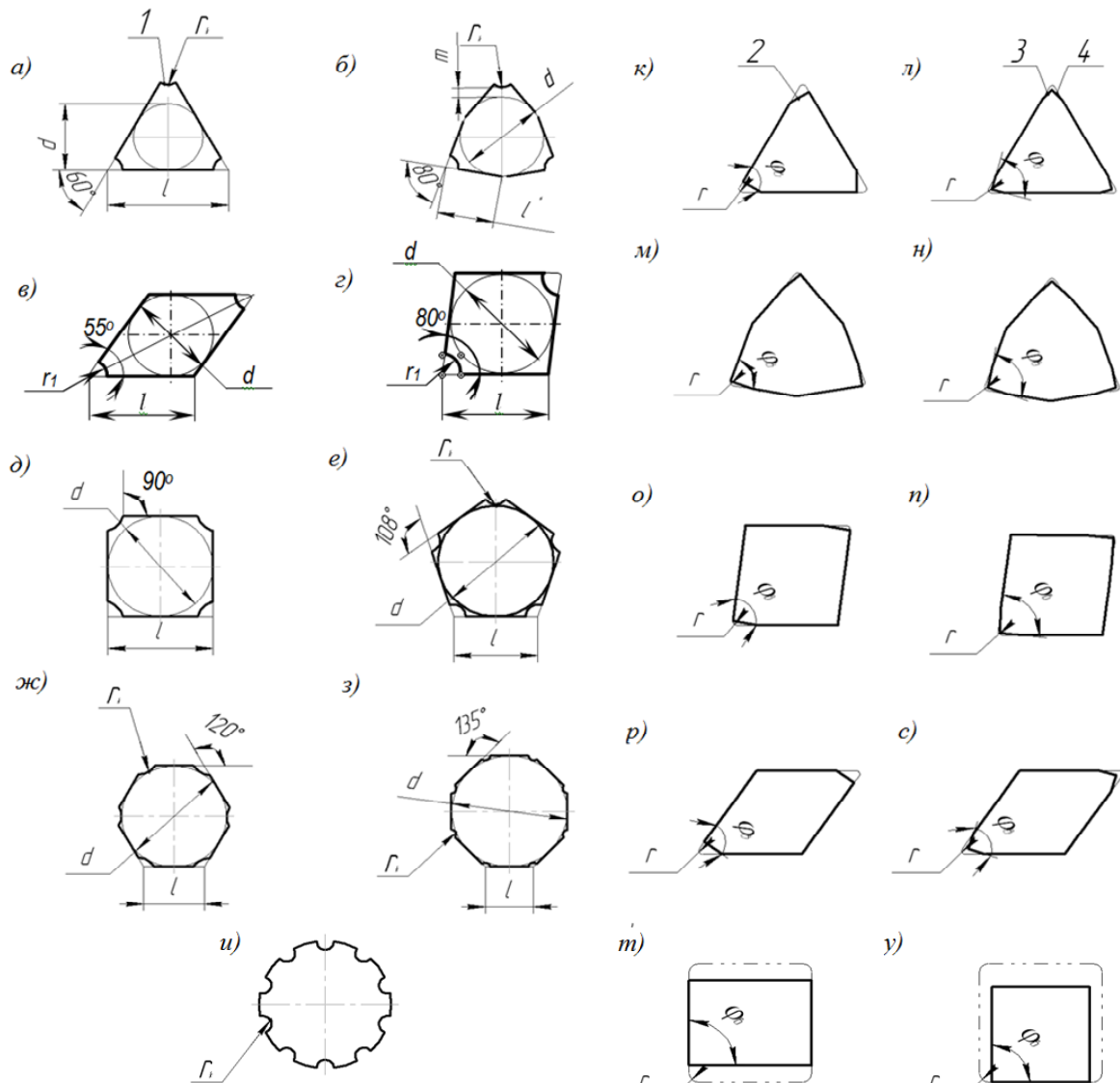


Рис. 3. Форма стандартных БМНП с дугвыми выемками 1 радиуса r_1 или с плоскими лысками 2, 3, 4, удаляющими радиусные переходные участки r на боковых режущих кромках у вершин

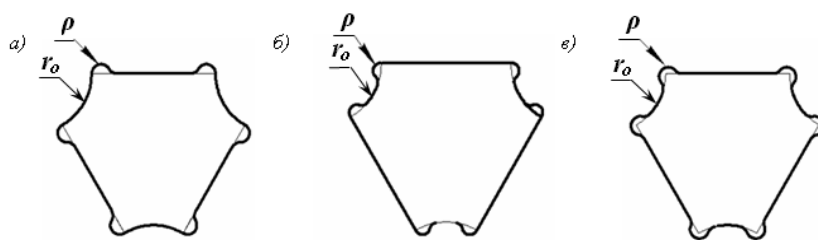


Рис. 4. Формирование на заготовках трехгранных БМНП с дугвыми выемками радиуса r_o у вершин, дополнительных выступов радиуса ρ , сошлифовываемых при заточке режущих кромок

Аналогично исполнений, показанных на рис.4, возможно выполнение дугвых выступов радиуса ρ для других разновидностей БМНП, которые приведены на рис. 5. Однако из 3-х вариантов выполнения выступов – целесообразным признан вариант с их внешним расположением на прямолинейном участке, что упрощает правку шлифовальных кругов и увеличивает количество правок по сравнению с правкой по дуге радиуса r_o , выполняемой в рамках толщины алмазного слоя круга (рис. 6). Наименее целесообразным является вариант выполнения выступов с обеих сторон режущей кромки, однако он позволяет варьировать величиной переднего угла, рост которого до 10° благоприятно влияет на срезание стружки большой толщины (в 2...3 раза больше размера лыски).

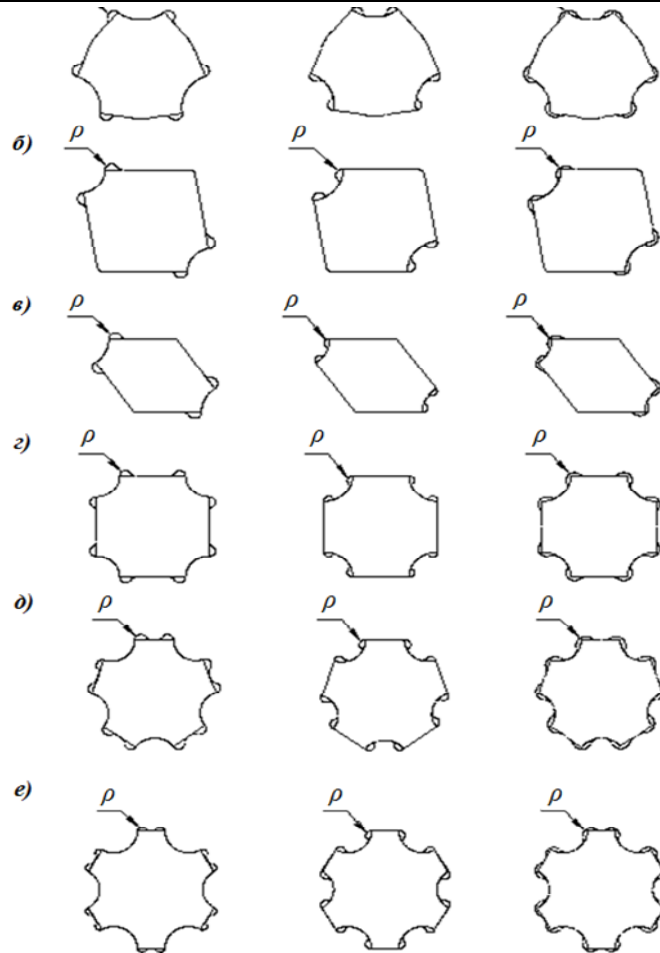


Рис. 5. Варианты исполнений дуговых выступов радиуса ρ на вершинах БМНП: а) трехгранных неправильной формы; б) ромбических с углами профиля у вершин $\varepsilon = 80^\circ$; в) ромбических с углами профиля у вершин $\varepsilon = 55^\circ$; г) квадратных, д) пятигранных, шестигранных

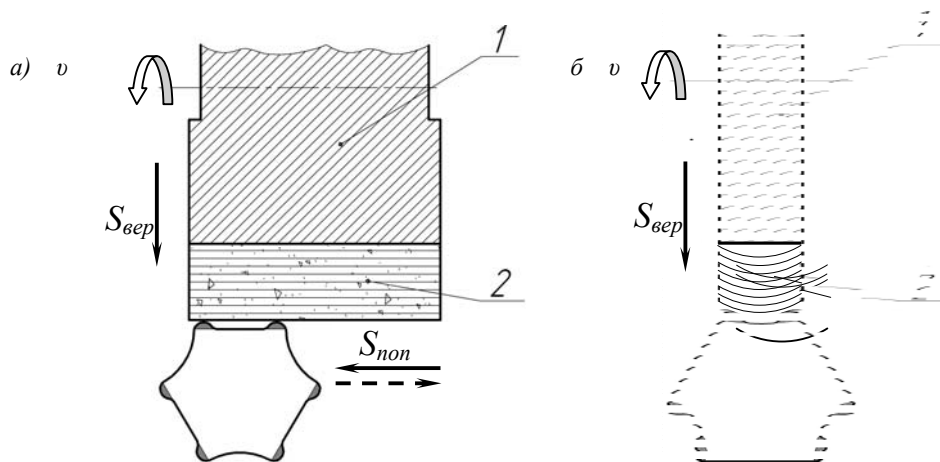


Рис. 6. Сравнение возможностей правки плоского прямого алмазного шлифовального круга: а) при прямолинейной, б) при дуговой форме профиля, 1 – корпус круга, 2 – алмазный слой

Выполнение аналогичных дуговых выступов возможно для БМНП с лысками (рис. 7).

Аналогичные выступы возможны для других исполнений пластин. При их выполнении объем сошлифовываемого твердого сплава уменьшается на 15...20%, а для трехгранных и ромбических пластин с углом профиля при вершине $\varepsilon = 80^\circ$ – уменьшение достигает 80% (рис. 8).

Кроме того, важным преимуществом исполнения дополнительных дуговых выступов по предлагаемому способу является возможность наименее затратного изготовления по технологическому времени и по материалам заготовок для прямоугольных и квадратных БМНП (рис. 9), у которых заточка лысок невозможна и требуется полная обработка 3-х или 4-х боковых сторон затачиваемых выступов с одинаковым радиусом ρ и разными углами профиля ε при вершине БМНП

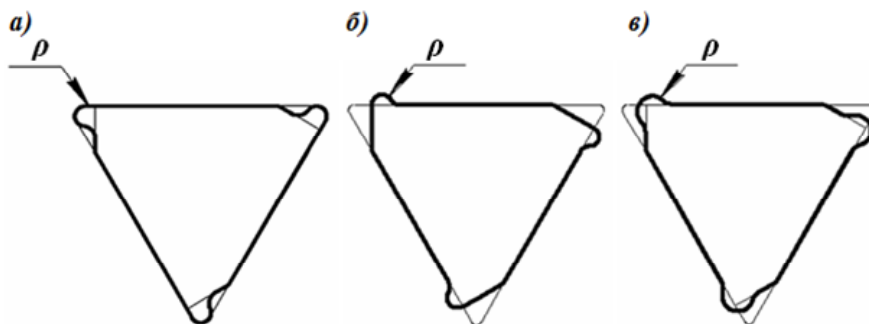


Рис. 7. Формирование дополнительных выступов радиуса ρ на заготовках трехгранных БМНП: а) на лыске, б) на боковой поверхности, в) с обеих сторон режущей кромки.

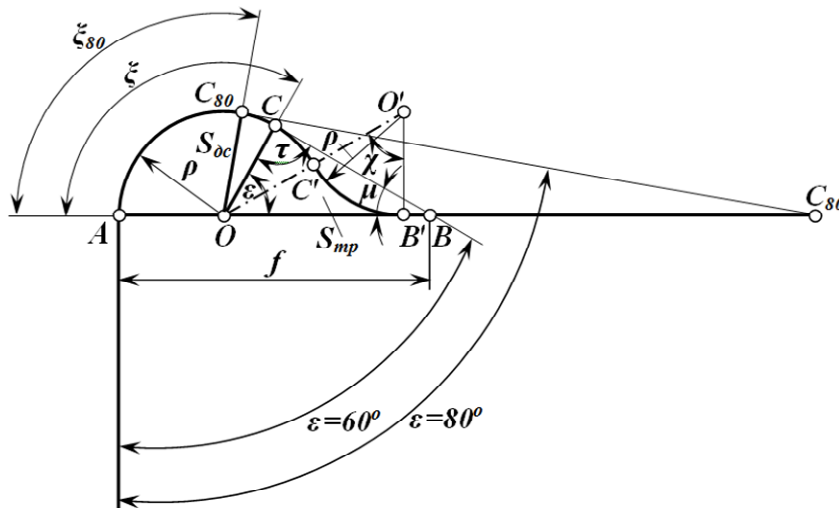


Рис. 8. Формирование дополнительных выступов радиуса ρ на заготовках трехгранных БМНП: а) на лыске, б) на боковой поверхности, в) с обеих сторон режущей кромки.

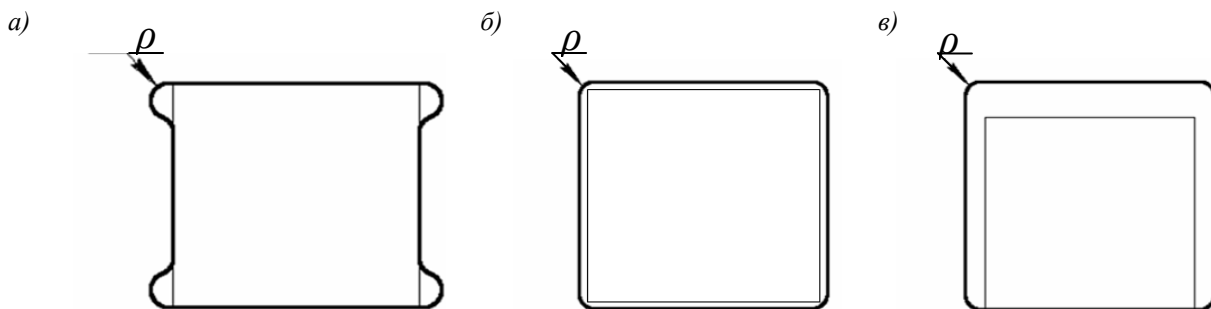


Рис. 9. Варианты формирования заготовок для квадратных чистовых БМНП: а) с дополнительными дугвыми выступами, удаляемыми при заточке; б), в) схемы заточки чистовых квадратных пластин без дугвых выступов

Учитывая, что общий объем экономии материала при выполнении дугвых выступов и заточке лысок у правильных трехгранных и ромбических БМНП с углом профиля 55° составляет около 1%, поэтому усложнение изготовления пресс-форм для них нецелесообразно и можно использовать уже существующие стандартные пластины и пресс-формы.

На базе предлагаемых БМНП разработаны торцовые фрезы [3], дисковые фрезы [10] и отрезные резцы [11], уменьшающие ширину реза до толщины данных пластин, что снижает энергетические затраты и трудоемкость.

Для отрезных резцов необходимо исключение затирания боковых сторон БМНП в прорези, поэтому их заготовки должны иметь на боковых сторонах у вершин выступы или впадины с остаточными выступами (рис. 10), которые предпочтительно формировать прессованием (в индивидуальном производстве впадины могут быть сформированы заточкой сферическими, коническими или цилиндрическими шлифовальными кругами).

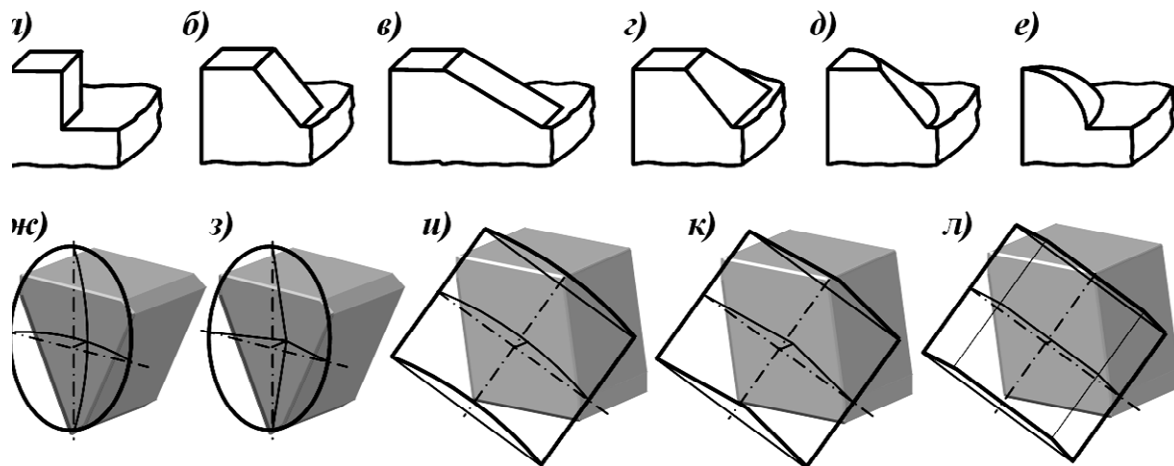


Рис. 10. Конструктивные исполнения БМНП для отрезных резцов: 1-й вариант – с выступами на боковых сторонах: а) кубическими; б) кубическими со скосом; в) кубическими с удлиненным скосом; г) пирамидальные; д) конические, срезанные по вершине и боковым сторонам; е) сферические, срезанные по боковым сторонам; 2-й вариант – с вогнутыми впадинами на боковых сторонах: ж) сферическими; з) коническими; и) цилиндрическими; к) угловыми, л) трапецидальными

Таким образом, предлагаемые БМНП обеспечивают все требуемые условия резания.

Выводы:

1. Среди известных исполнений многогранных неперетачиваемых пластин (МНП) следует выделить в 3 отдельных вида: радиальные РМНП, тангенциальные ТМНП и боковые БМНП, которые имеют явные отличительные признаки и не могут заменять друг-друга при их установке в режущих инструментах.
2. Преимуществом БМНП является увеличение их сечения в направлении действия сил резания, что обеспечивает резерв повышения производительности обработки, поэтому они могут быть рекомендованы для применения в отрезных резцах и фрезах.
3. Изготовление БМНП требует дополнительной заточки после их прессования, и возможно из стандартных МНП при установке их на боковые грани и при дополнительной заточке плоских лысок или дуговых выемок на их вершинах.
4. Для изготовления БМНП с дуговыми выемками предпочтительно выполнение дуговых выступов на вершинах при их прессовании, что снижает трудоемкость последующей заточки.

Литература

1. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др. ; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
2. Настасенко В.А. Новые виды режущих инструментов с боковой установкой режущих пластин / Настасенко В.А., Бабий М.В., Блах И.В., Вирич В.В. // Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк : ДонНТУ, 2011. – Вип. 41. – С. 186–194.
3. Патент Российской Федерации на изобретение № 2318634. Торцовая режуще-деформирующая фреза, способ обработки ими, рабочие пластины к ним и способ их изготовления / Настасенко В.А., Урсал К.Г. – Заявка № 2005110805/02 от 13.04.05. БИ 2008. № 7 от 10.03.08.
4. Сменные пластины и инструмент : каталог. – Sandvik Coromant, 2000 – 172 с.
5. Каталог продукции концерна «Sandvik Coromant». – 2015. – 126 с.
6. Каталог фирмы «ISCAR» [Электронный ресурс]. – 2010. – 29 с. – Режим доступа : <http://www.iscar.com>.
7. Каталог фирмы «HORN» [Электронный ресурс]. – 40 с. – Режим доступа : http://www.phorn.de/fileadmin/user_upload/de/PDF/PDF_DrehKataloge_de_en/KapitelH_312.pdf
8. METALWORKING CUTTING TOOLS Shop version: Katalog. – TaeguTec, 2008. – 188 с.
9. Токарный инструмент, вращающийся инструмент, инструментальные системы : общий каталог. MITSUBISHI, 2006. – 206 с.
10. Патент України на винахід № 91670 МПК В23С 5/02. Збірна дискова фреза та ріжучі пластини до неї (варіанти) / Настасенко В.О., Яремчук М.Л. – Заявка № 2006 03692 від 04.04.06. Бюл. № 16 від 25.08.2010.
11. Патент Российской Федерации на изобретение № 2366542 МПК В27В 27/16. Сборный отрезной резец и режущие пластины к нему / Настасенко В.А., Бабий М.В. – Заявка № 2007111687 от 29.03.2007. Опубликовано 10.09.09. БИ № 25.

Рецензія/Peer review : 8.8.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Дмитрив Д.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЇ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ В ПРИСУТНОСТІ САПОНІТУ

Метою даної роботи було вивчення процесу корозії низьковуглецевих сталей в середовищах, які використовуються для активації сорбційної ємності сапоніту. На даний момент відсутні дослідження впливу сапоніту на процеси корозії, які обов'язково відбуваються при добуванні, транспортуванні, зберіганні та додатковій обробці сапоніту. В роботі показано, що швидкість корозії низьковуглецевих сталей в присутності сапоніту залежить від рН середовища та температури, сапоніт може бути як інгібітором, так і прискорювачем корозії.

Ключові слова: сапоніт, корозія, інгібітор, сталь.

O.I. STREMETSKEYI, H.M. SOKOL
Khmelnitsky National University

STUDY OF CORROSION LOW-CARBON STEELS IN WATER SOLUTIONS IN THE PRESENCE SAPONIT

The aim of this work was to study the process of corrosion of low-carbon steels in environments, which are used to activate the sorption capacity of saponite. Currently no study of the effect saponite on corrosion processes that must occur during extraction, transportation, storage and additional processing of saponite. It is shown that the corrosion rate of low-carbon steel in the presence of saponite depends on pH and temperature environment, saponite can be both an inhibitor and corrosion accelerator.

Keywords: saponite, corrosion, inhibitor, steel.

Вступ

Мінерал сапоніт широко застосовується для підкормки домашньої худоби, що сприяє кращому засвоєнню кормів, його вносять у ґрунт для покращення родючості. Не менш цікавим є його здатність до адсорбції та іонного обміну, що дозволяє віднести сапоніт до класу природних адсорбентів [1–3].

На основі досліджень останнього десятиліття пропонується його використання для очистки води від іонів важких металів та радіонуклідів, а також забруднення органічними речовинами (поверхнево-активними речовинами та барвниками). З метою збільшення сорбційної здатності сапоніту по відношенню до забруднюючих речовин проводять їх додаткову активацію [4–7].

З огляду на перспективу застосування сапоніту виникає питання його зберігання та транспортування з використанням найбільш поширених конструкційних матеріалів – низьковуглецевих сталей. Важливим є дослідження процесів корозії в присутності сапоніту у вологому середовищі а також їх вплив на корозію в технологічних розчинах (кислих та лужних), які застосовують для додаткової активації мінералу.

Метою представленої роботи було вивчення процесів корозії низьковуглецевої сталі в нейтральних середовищах та кислих і лужних технічних розчинах, які використовуються для активації сапоніту.

Методика експерименту

Зразки для досліджень були виготовлені із сталі 08ю. Швидкість корозії зразків досліджувалась у таких середовищах: дистильована вода, дистильована вода з добавками сапоніту, сульфатна кислота та гідроксид натрію, сульфатна кислота та гідроксид натрію з добавками сапоніту. Для експериментів використовували сульфатну кислоту та гідроксид натрію концентрацією 18% та 10% відповідно. Дослідження методом потенціодинамічних поляризаційних кривих проводили в розчинах на основі 0,05 М H_2SO_4 та 0,1 М $NaOH$ з добавками сапоніту та без них.

Гравіметричні дослідження швидкості корозії проводили при кімнатній температурі протягом 2 тижнів, або при температурі від 90 до 95 °С тривалістю до 2 годин. Для вимірювання поляризаційного опору, пропорційного швидкості корозії, використовували індикатор поляризаційного опору P5126 [8].

Катодні та анодні потенціодинамічні поляризаційні криві отримували на потенціостаті ПИ-50-1.1 з програматором та самописцем. Допоміжний електрод – платиновий, електрод порівняння – каломельний. Швидкість розгортки потенціалу (швидкість зміни потенціалу) складала 20 мВ/с. Всі потенціали на поляризаційних кривих представлені по відношенню до водневого електрода. Температура розчинів при дослідженні – кімнатна.

Результати експерименту

Дослідження корозії в нейтральних середовищах проводили в дистильованій воді та дистильованій воді з добавками 3% та 38% сапоніту. Дослідження показали, що рН цих розчинів (суспензій) складає дистильована вода – 5,5; 3% сапоніту – 7,2; 38% сапоніту – 7,85.

Зміна рН свідчить про розчинення компонентів мінералу та перехід його у рідку фазу. Виходячи зі структури мінералу варто очікувати перехід силікатів лужноземельних та лужних металів (Na, Mg, Ca) [1]. Наявність силікатів підтверджується якісним аналізом на силікат-іон ($BaCl_2$, $AgNO_3$).

Дослідження швидкості корозії в вищезазначених середовищах проводили на попередніх етапах гравіметричним методом. Результати досліджень представлені у табл. 1. Вони показали що для всіх показників вираження швидкості корозії (масовий, струмовий, глибинний) швидкість корозії в дистильованій воді та в малоконцентрованому розчині (суспензії) сапоніту мають близькі значення з деякою перевагою в розчині сапоніту, а швидкість корозії в 38% розчині помітно менша. Отже зменшення швидкості корозії обумовлено наявністю в розчині розчинних компонентів мінералу, які при кімнатній температурі і нейтральних середовищах можуть виконувати роль інгібіторів корозії. При збільшенні їх концентрації стає більш помітним їх вплив на корозійні процеси.

Таблиця 1

Швидкість корозії в дистильованій воді в присутності сапоніту

Середовище	Швидкість корозії г/(м ² ·год)	Швидкість корозії i , мА/см ²	Швидкість корозії мм/рік
Дистильована вода	0,058	0,0053	0,065
Суспензія 3 % сапоніту	0,053	0,0048	0,060
Суспензія 38% сапоніту	0,038	0,0035	0,043

Подібні дослідження були проведені також методом вимірювання поляризаційного опору (рис. 1). Ця величина характеризує опір струму корозії, який створюється завдяки поляризації катодних та анодних ділянок при електрохімічній корозії. Збільшення поляризаційного опору свідчить про зменшення швидкості корозії. Цей метод дозволяє спостерігати за процесами корозії на протязі всього експерименту. Згідно з отриманими результатами в перші 50 годин досліджень найменша швидкість корозії спостерігається в дистильованій воді і тільки після 50 годин швидкості корозії в дистильованій воді і малоконцентрованому сапоніті починають зближуватись та досягають майже однакових величин на кінець експерименту.

Поляризаційний опір 38% суспензії сапоніту монотонно збільшується та виходить на постійне значення після 150 годин експерименту. Отримані результати загалом підтверджують результати гравіметричних вимірювань.

Вірогідно, наявність деякої кількості розчинних силікатів сприяє зменшенню швидкості корозії в таких середовищах за рахунок утворення нерозчинних силікатних плівок на поверхні зразків [9].

Для дослідження впливу сапоніту на процеси корозії в технологічних розчинах, які використовувались для активації останнього та збільшення їх сорбуючої здатності проводили дослідження гравіметричним методом у 18% H₂SO₄, а методом поляризаційного опору в 10% NaOH.

Результати визначення швидкості корозії представлені в табл. 2. Вони показують, що сапоніти у великій концентрації суспензії 38% майже втричі підвищують швидкість корозії в порівнянні з чистим розчином H₂SO₄. Така поведінка сапоніту у кислому середовищі обумовлена переходом в розчин іонів лужних, лужноземельних металів та переходом оксиду кремнію в гель кремнієвої кислоти. Саме тому відбувається активація мінералу, його сорбуюча здатність збільшується через звільнення певної кількості місць в кристалічній ґратці, які були зайняті вищезазначеними складовими.

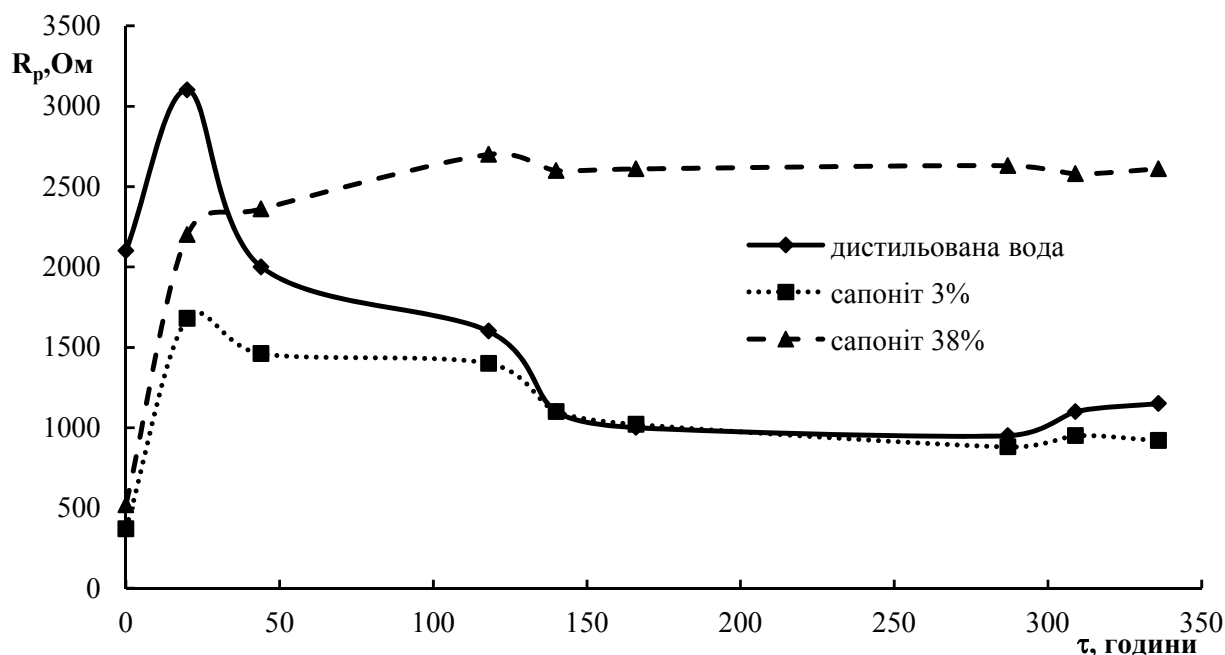


Рис. 1. Залежність поляризаційного опору від часу в дистильованій воді в присутності сапоніту

З особливості силікату як інгібітору відомо, що наявність великої концентрації магнію та сульфатів приводить до втрати властивості зменшувати швидкість корозії, а у випадку проведених експериментів навіть прискорювати їх.

В умовах високої температури та великої концентрації кислоти не відбувалося утворення захисних плівок силікат-іонами, які характерні для нейтрального середовища, а додаткова мінералізація та збільшення концентрації заліза приводили до прискорення корозійного руйнування поверхні, при цьому збільшуючи її шорсткість.

Таблиця 2

Швидкість корозії в сульфатній кислоті в присутності сапоніту при температурі 90-95 °С

Середовище	Швидкість корозії г/(м ² ·год)	Швидкість корозії <i>i</i> , мА/см ²	Швидкість корозії мм/рік
18% сульфатна кислота	115,4	10,5	129,5
Суспензія 38% сапоніту у 18% сульфатній кислоті	372,9	34,0	418,8

Збільшення швидкості корозії спостерігалось і в лужних середовищах в присутності сапоніту по відношенню до розчину без його добавки. Загальне значення швидкості корозії звичайно значно менше ніж у кислому розчині, оскільки чисте залізо може бути в лужних середовищах термодинамічно стабільним. Тому був використаний метод поляризаційного опору (рис. 2).

Для визначення відносної швидкості корозії за час експерименту шляхом порівняння можна встановити, що швидкість корозії в 10% NaOH в присутності сапоніту дорівнювала швидкості корозії в дистильованій воді, а швидкість корозії у чистому розчині NaOH в середньому в 5 разів менша. Отже температура розчину та додаткова його мінералізація також негативно впливають на стійкість низьковуглецевої сталі в цих середовищах, а вплив силікату як інгібітору значно погіршується при рН більше за 8,6.

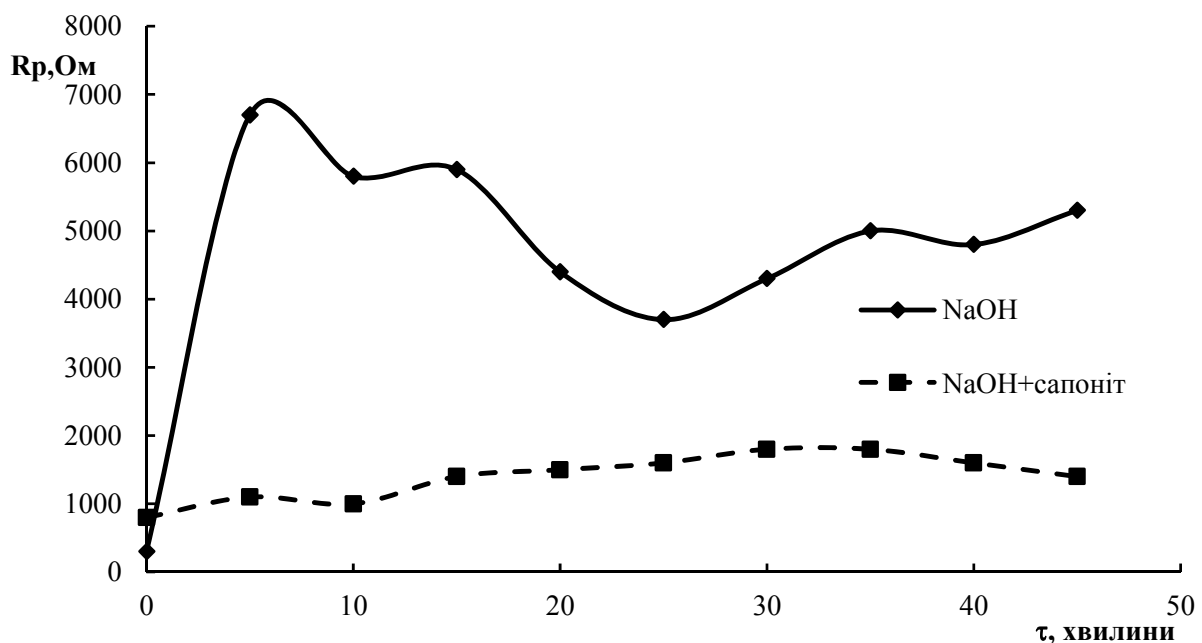


Рис. 2. Залежність поляризаційного опору від часу в 10% NaOH в присутності сапоніту при температурі 90-95 °С

Проведені дослідження показали, що в нейтральних середовищах значний вміст сапоніту супроводжується зменшенням загальної швидкості корозії, а в кислих та лужних середовищах відбувається істотне збільшення швидкості корозії в порівнянні з розчинами без добавок сапоніту.

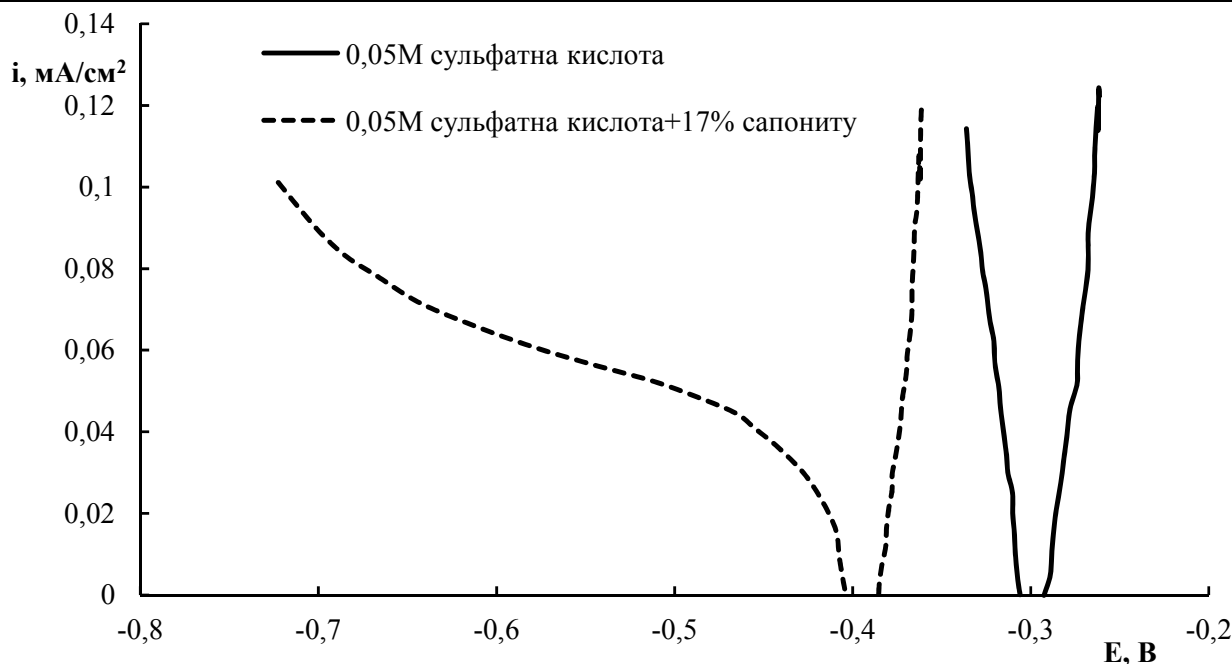


Рис. 3. Потенціодинамічні поляризаційні криві отримані на електроді зі сталі 08Ю в кислому середовищі (20 мВ/с)

Дослідження кінетики процесу корозії дозволяє встановити вплив розчинних компонентів сапоніту окремо на катодний та анодний процес. Розчини, які були використані в досліді, були звільнені від осаду нерозчинного осаду сапоніту, тобто контакту електродів з сапонітом не відбувалося, як це було в усіх попередніх досліді, а витримка розчинів при високій температурі (6 годин при 90–95 °С) забезпечила більші концентрації розчинних компонентів в кислому та лужному середовищі. В таких умовах експерименту було встановлено, що в кислому середовищі в присутності розчинних компонентів сапоніту зменшується термодинамічна стабільність електродів, потенціал корозії зміщується в негативний бік, але збільшується поляризація катодного процесу, поляризація анодного процесу не змінюється (рис. 3). Цей вплив можна пояснити тим, що найбільш вірогідним є розчинення в кислому середовищі оксидів лужних та лужноземельних металів, які здатні впливати на перебіг катодного процесу, а розчинність оксиду кремнію малоімовірна, оскільки він здатен тільки перетворюватися на нерозчинний гель кремнієвої кислоти в сильних кислотах.

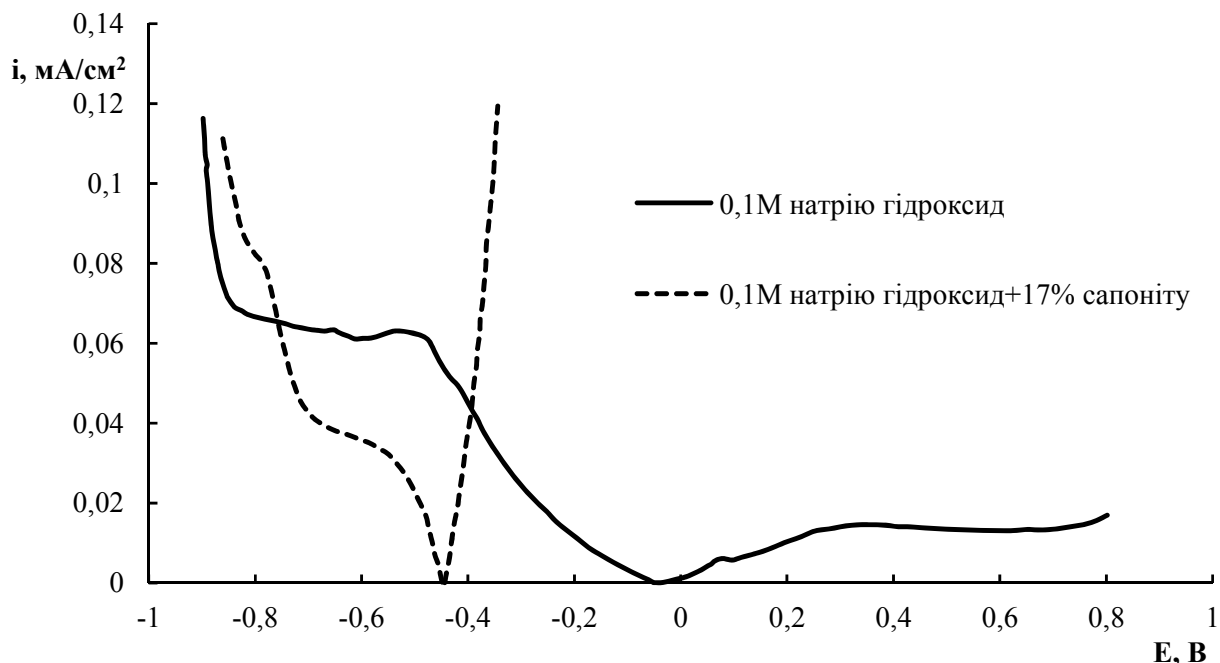


Рис. 4. Потенціодинамічні поляризаційні криві отримані на електроді зі сталі 08Ю в лужному середовищі (20 мВ/с)

В лужному середовищі швидкість анодного процесу у відсутності розчинних компонентів сапоніту має менше значення ніж швидкість катодного процесу відновлення кисню (рис. 4). При наявності розчинних компонентів сапоніту потенціал корозії зміщується в негативний бік, а поляризація катодного та анодного

процесу істотно зменшується, що приведе до прискорення швидкості корозії в лужному середовищі, але її величина буде менше швидкості корозії в кислому середовищі. Лужне середовище сприяє розчинності з мінералу оксиду кремнію, який у вигляді силікату може виконувати роль інгібітору, але при високих значеннях рН захист суттєво погіршується, а наявність магнію доповнює негативний вплив силікату на швидкість корозії.

Висновки

Отже в кислому середовищі в залежності від концентрації кислоти можливо як збільшення швидкості корозії в присутності розчинних компонентів сапоніту, так і деяке її гальмування при відносно низьких концентраціях кислоти за рахунок гальмування катодного процесу. На противагу кислому середовищу в лужному у всіх досліджених умовах спостерігається тільки збільшення швидкості корозії, хоча її загальна швидкість залишається набагато меншою в порівнянні з розчинами сульфатної кислоти. В нейтральних середовищах зі збільшенням концентрації суспензії сапоніту відбувається зменшення швидкості корозії

Практична значимість отриманих результатів пов'язана з можливістю застосувати їх для оцінки впливу сапоніту на процеси корозії у вологих середовищах та для розробки обладнання для добування, зберігання і обробки мінералу.

Література

1. Brigatti M. Structures and mineralogy of clay mineral / Brigatti M., Galan E., Theng B. // Handbook of clay science. – 2006. – Vol. 1. – P. 19 – 69.
2. Ганзюк А. Я. Дослідження адсорбційних властивостей сапоніту, модифікованого катіонами багатовалентних металів / А. Я. Ганзюк, Ю. О. Яфінович // Вісник ХНУ. – 2010. – № 1. – С. 266–271.
3. G. Deichuk, A. Ganzyuk, Ch. Ganzyuk “Organic-mineral sorption materials on the basis of saponite clay” // Abstracts: Workshop with Nobel Prize Winner Professor Erwin Neher. Progress in biomedicine and neuromedicine. Poland, Cracow, 21–23 June, 2015, P. 115–116.
4. Prieto O. Study of the porous solids obtained by acid treatment of a high surface area saponite / Prieto O., Vicente M.A., Banares-Munoz M.A. // Journal of Porous Materials. – 1999. – Vol. 6. – P. 335 – 344.
5. Polyakov V.E. Ion-exchange equilibriums involving single-charged cations on saponite / Polyakov V.E., Tarasevich Y.I. // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2012 – Vol. 34. – P. 11–6.
6. Ганзюк А. Модифікація сапонітових глин поверхнево-активними речовинами / А. Ганзюк, С. Карван, Г. Дейчук, Х. Ганзюк // Вісник львівського університету. Серія хімічна. – 2015. – Випуск 56. Ч. 1. – С. 186–191.
7. Ганзюк А. Я. Дослідження сорбційних процесів на природному та кислотно-активованому сапоніті / А. Я. Ганзюк, О. І. Кулаков // Вісник ХНУ. – 2009. – № 2. – С. 85–90.
8. Сорокин В. И. Применение индикатора поляризованного сопротивления Р5126 в процессе обучения основам измерения скорости коррозии металлов / В. И. Сорокин, Ю. Ф. Фатеев // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 1995. – Том 38, вып. 1–2. – С. 170–178.
9. Ингибиторы коррозии металлов / Л. И. Антропов, Е. М. Макушин, В. Ф. Панасенко ; под общ. ред. Л. И. Антропова. – Киев : Техніка, 1981. – С. 183.

Рецензія/Peer review : 14.9.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Карван С. А.

УДК 620.92

С.Л. ГОРЯЩЕНКО, А.І. ГОРДЕЄВ, Є.О. ГОЛІНКА, С.В. УСПАЛЕНКО

Хмельницький національний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ НАГРІВАННЯ ТА АКУМУЛЮВАННЯ ТЕПЛА У СИСТЕМІ "НАГРІВАЧ-РІДИНА-БАК"

В роботі визначено шляхи дослідження параметрів ефективності нагрівання та акумулювання тепла у системі «нагрівач-рідина-бак». Описано експериментальну установку та електричну схему керування установкою для дослідження системи. Для визначення впливу конструктивних параметрів на параметр оптимізації проведено рототабельне планування другого порядку для трифакторного експерименту. Отримано рівняння регресії, яке дозволяє проводити аналіз впливу на параметр оптимізації часу нагрівання, об'єму рідини та площі баку.

Ключові слова: системі «нагрівач-рідина-бак», температура, планування експерименту

S.L. HORIASHCHENKO, A.I. GORDEEV, E.O. GOLINKA, S.V. USPALENKO
Khmelnitsky national University

EXPERIMENTAL STUDY OF PERFORMANCE PARAMETERS OF THE HEATING AND HEAT STORAGE IN THE HEATER-LIQUID-TANK"

Abstract - The study also identified avenues for research Parmer efficiency of heating and heat storage in the heater-liquid-tank". System the power supply consists of a source of primary energy, the subsystem energy conversion and consumers of the converted energy. In the system, there may be inconsistencies - both in time and in space - between power supply and needs. Overcoming these gaps is the purpose of energy storage. Described the experimental setup and electrical circuit control device for investigation of the system. The results of single-factor experiment on the heating system. An analytical description of the transition process the object "heater-liquid-tank" with the use of analytical and experimental method. To determine the effect of structural parameters on the optimization parameter held rotatable planning of the second order for traffictornado experiment. The resulting regression equation, which allows antz impact on the parameter optimization of heating time, liquid volume and area of Baku.

Keywords: the heater-liquid-tank", temperature, experiment planning

Вступ

Набуває все більшого значення науково-технічне завдання, пов'язане з підвищенням ефективності використання енергії у споживачів - в промисловості, на транспорті, в сільському господарстві і в побуті.

Тут є великі резерви, використання яких дозволяє економити енергоресурси часто при значно менших витратах, ніж в процесах отримання та перетворення первинної енергії. Встановлено, наприклад, що витрати на будь-які заходи щодо економії палива та електроенергії в 2-3 рази нижчі за витрати на розширення паливно-енергетичної бази. До заходів щодо підвищення ефективності використання енергії у споживачів можна віднести перехід на більш досконалі і менш енергоємні технології, використання вторинних енергетичних ресурсів і, нарешті, вирівнювання тимчасових невідповідностей між виробленою енергією і потребами в ній за допомогою акумулювання енергії.

Відомо, що електрична енергія - сама розповсюджена основна форма енергії, що використовується - піддається акумулюванню поки з найбільшими витратами. Ємність електрохімічних акумуляторів не дозволяє використовувати їх в скільки-небудь великих масштабах; перспективні великі надпровідні накопичувачі електроенергії знаходяться ще в стадії попередніх напрацювань.

Гідравлічні методи акумулювання енергії дозволяють накопичувати значну її кількість, але це пов'язано, з великими капіталовкладеннями і змінами навколишнього середовища, що є не завжди сприятливими. Разом з тим інші, більш прості способи акумулювання енергії - теплові, пневматичні, термохімічні і менш масштабні механічні - детально розроблені і практично перевірені в самих різних умовах. Їх застосування дозволяє вже зараз при відносно невеликих витратах отримати істотну економію як безпосередньо в енергетичних ресурсах, так і побічно завдяки зниженню капітальних витрат на енергетичне обладнання.

Це пов'язано з можливістю зменшення втрат, що виникають у зв'язку з розбіжністю за часом піків і провалів виробництва і споживання енергії, а також з компенсацією короткочасної нерівномірності її витрати в багатьох технологічних процесах, на транспорті і в побуті.

Якщо невідповідності між подачею і потребами в енергії обумовлені видом джерела первинної енергії і установки для перетворення енергії, то завдання акумулюючої установки полягає у вирівнюванні вироблення енергії шляхом зрізання піків і заповнення провалів вироблення.

Централізоване акумулювання в системі електропостачання може бути тепловим або механічним. Децентралізоване акумулювання може бути як тепловим, здійснюваним закачуванням теплоносія, так і пневматичним або гідравлічним; крім того, воно може здійснюватися безпосереднім акумулюванням електричної енергії за допомогою електрохімічних і електромагнітних акумуляторів або електричних конденсаторів. Акумулювання енергії у споживача може бути тепловим, електрохімічним або механічним.

Повна оцінка установки акумулювання енергії включає не тільки економічне порівняння різних можливих систем акумуляторів і пікових установок, але й оптимізації підсистем акумулювання в системі енергопостачання. Іноді такі зовсім не економічні чинники, як маневреність, зручність застосування, експлуатаційні переваги, будуть визначальними при виборі тих чи інших акумуляторів установок.

Слід зазначити, що при оптимізації акумулюючої установки необхідно володіти докладною інформацією про споживання енергії та його зміни в часі і проявити навіть більше обачності, ніж при оптимізації чисто перетворювальної установки без акумулятора.

Капітальні витрати на теплоакумулюючу установку мають складову, яка залежить від її ємності, і складові, які залежать від потужності (зарядки і розрядки).

Мета роботи

Мета проведення експериментальних досліджень полягає в перевірці достовірності одержаних математичних залежностей, а також правильності прийнятих теоретичних припущень для визначених факторів, що суттєво впливають на характер процесу акумуляції тепла. А саме: час нагрівання рідини в баку, часу теплопередачі між теплообмінником та рідиною, властивостей рідини та матеріалу ізоляції, кількість накопиченого тепла, час теплопередачі тепла з баку на опалення побутового приміщення.

Робота теплоакумулятора (об'єкта «нагрівач-рідина-бак») пов'язана з періодами нагрівання та охолодження робочої рідини. Аналітичні дослідження дозволяють виконати кількісну оцінку часу нагрівання рідини до максимальної та час віддачі тепла на зовні. Відносне відхилення часових ліній може призвести до виснаження теплоакумулятора. Тому визначення параметрів об'єкта які впливають на час накопичення та часу віддачі тепла і визначає основну задачу досліджень.

Основна частина

Будь-яка система постачання енергії складається з джерела первинної енергії, підсистеми перетворення енергії й споживачів перетвореної енергії. У системі можуть виникнути невідповідності - як у часі, так і в просторі- між подачею енергії й потребами. Подолання цих невідповідностей є основною метою акумулювання енергії [1-3]. Якщо такі невідповідності викликаються змінами (більш-менш різкими) у споживанні енергії, то це завдання зняття пікового навантаження, що може бути вирішена, принаймні частково, за допомогою акумулювання енергії. Установка для акумулювання енергії може виявитися дешевше пікової енергетичної установки. Крім того, при її застосуванні можуть бути знижені витрати на паливо (незважаючи на деякі втрати в акумуляторі), тому що для зарядки акумулятора може бути використаний надлишок енергії від установок базисного навантаження з низькою вартістю палива.

Для проведення експериментальних досліджень, було спеціально спроектовано і виготовлено експериментальну установку, яка дозволяє визначити енергію та час нагрівання робочої рідини у теплоакумуляторі. Загальний вигляд установки для дослідження теплоакумулятора показано на рис.1.



Рис. 1. Загальний вигляд установки для дослідження теплоакумулятора

Експериментальна установка складається з теплового акумулятора об'ємом 500 літрів. В бак теплоакумулятора введено кілька теплообмінників які зав'язані на один вхід та один вихід. Кожен з теплообмінників вмикається окремо, за конструкцією та площею вони ідентичні. Зверху всередині бака розташовано теплообмінник для опалення, що підключено до батареї опалення через насос. Нагрівачем води є електродний котел на 25 кВт. Окрема плата управління та контролю управляє включенням та виключенням котла та здійснює контроль температури по вбудованих в теплоакумулятор датчиків температури.

Установка [4-5] працює наступним чином. Після включення живлення виставляється температура, до якої повинен нагрітися бак теплоакумулятора (це 95°C). Електродний котел вмикається і насос в контурі нагріву починає перемішувати нагріту воду. Нагріта вода через теплообмінники віддає тепло до теплоакумулятора та повертається знову до котла де й нагрівається знову. Завдяки використанню електродного котла вода в контурі нагріву максимально може нагріватися до 99°C . Конструктивно більший нагрів її неможливо здійснити через особливості електродного нагріву. Таким чином ми маємо стабільне значення вхідних параметрів теплоносія. Окрім того відсутня можливість пароутворення та створення

небезпечної ситуації до ураження перегрітим паром людей у приміщенні, де розташовано систему опалення з баком. Нагріта майже до кипіння вода віддає свою теплову енергію воді, що знаходиться в баку-акумуляторі. Сам бак оснащено, на всякий випадок, системою зі зворотнім клапаном. Нагріта вода природною конвекцією розповсюджується в теплоакумуляторі. Використання теплоізоляційних матеріалів дозволило зменшити втрати тепла. Нагріта вода може відразу, або через певний проміжок часу віддати свою теплову енергію контуру опалення. Для цього вмикається насос і через верхній теплообмінник здійснюється відбор гарячої води та віддача тепла в навколишнє середовище через батарею опалення. Регулюючи час вмикання та вимикання насоса можна контролювати кількість тепла, що надходить до батареї опалення.

Експериментальна установка обладнана електронною системою (рис.2), що дозволяє контролювати та реєструвати біжучі значення температури та часу нагрівання баку та охолодження його.

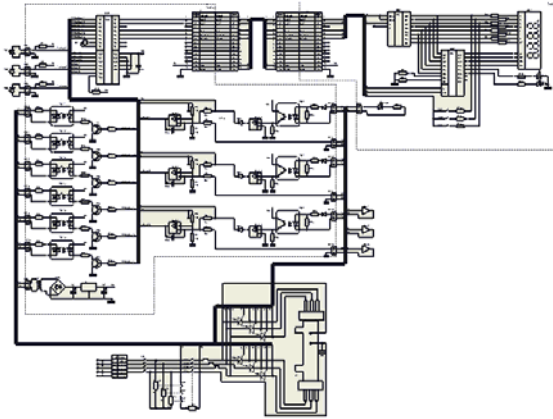


Рис. 2. Електрична схема керування установкою для дослідження теплоакумулятора

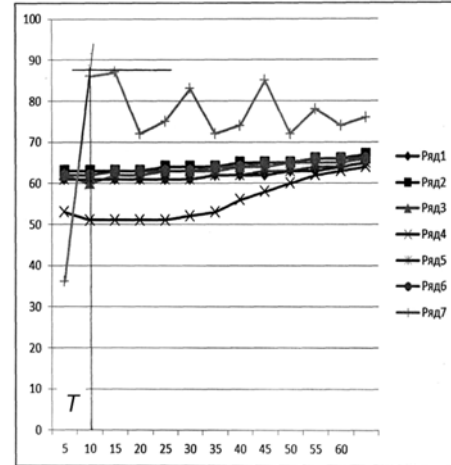


Рис. 3. Графіки залежностей температури згідно вимірювань датчиками системою управління та контролю під час виходу теплоакумулятора на номінальний режим роботи

Отримання точного описання об'єкта «нагрівач-рідина-бак» аналітичним методом має значні труднощі, а саме необхідно врахувати усі процеси, які проходять в об'єкті та записати систему нелінійних диференційних рівнянь. Точний опис об'єкта ускладнюється, бо більшість процесів за своєю природою є нелінійні.

Для отримання аналітичного опису об'єкту «нагрівач-рідина-бак» запропоновано застосувати аналітично-експериментальний метод із застосуванням лінійних диференційних рівнянь. Значення сталих коефіцієнтів функції, якою описується рішення, зв'язано відомими співвідношеннями з коефіцієнтами диференційного рівняння і його можна визначити із допомогою графоаналітичної обробки кривої перехідного процесу. Але такий метод дає оцінку процесу із значним наближенням. Виходячи з характеру кривої розігріву (Рис.3) об'єкт «нагрівач-рідина-бак» відноситься до аперіодичної ланки першого порядку. У цьому випадку диференційне рівняння та його рішення мають вигляд:

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = K \cdot \mu \quad \varphi_{(t)} = k \cdot \mu (1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (1)$$

де T – стала часу;

t – поточне значення часу;

e – число Ейлера. ($e = 2,81$).

$$\varphi_i = \frac{y_i - y_0}{y_0}, \quad (2)$$

де φ_i - значення відносної координати в даний момент;

y_i - величина вихідної координати після введення збурення в фіксований момент;

y_0 - величина вихідної координати до введення збурення.

$$\mu_i = \frac{x_i - x_0}{x_0}, \quad (3)$$

де μ_i - вихідна величина збурення, діючого в даний момент часу;

x_i - величина вхідної координати після ведення збурення;

x_0 - величина вхідної координати до ведення збурення.

Коефіцієнт підсилення k_i визначається відношенням:

$$k_i = \frac{\varphi_i}{\mu_i}, \tag{4}$$

У результаті проведеного експериментального вимірювання процесу нагрівання системи «нагрівач-рідина-бак» (рис.3) та проведеного графічного оброблення отримано коефіцієнти диференційного рівняння.

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = K \cdot \mu \tag{5}$$

Отримана аналтична модель дає можливість аналізувати перехідні процеси які проходять в об'єкті «нагрівач-рідина-бак», але для визначення впливу різних конструктивних параметрів на процес нагрівання об'єкту «нагрівач-рідина-бак» було проведено дослідження з використанням математичних методів планування і аналізу експерименту, що дозволить уникнути недоліків, що властиві однофакторним методам дослідження.

Параметром оптимізації була прийнята температура в теплоаккумуляторі. Цей параметр оптимізації повністю відповідає вимогам, що висуваються до параметрів оптимізації при плануванні експерименту [9].

Для отримання уточненої моделі (параметра оптимізації) запропоновано використовувати алгебраїчний поліном другого порядку [13]:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2, \tag{6}$$

де b_i, b_{il}, b_{ii} - коефіцієнт регресії;

x_i, x_l - змінні фактори.

В зв'язку з цим було прийняте рішення проводити експеримент, використовуючи некомпозиційне рототабельне планування другого порядку. Для запису умов експерименту і обробки експериментальних даних рівні факторів кодувались. Прийнято рототабельне планування другого порядку для трифакторного експерименту. Прийняті наступні змінні фактори: значення площі теплообмінника – X_1 ; час нагрівання – X_2 ; кількість рідини – X_3 .

При кодуванні значень X_1, X_2 і X_3 верхній рівень позначають +1, нижній –1, а основний 0. Кодування фактора x_i визначається виразом [136]:

$$x_i = \frac{X_i^n - X_{i0}^n}{\varepsilon_i}, \tag{7}$$

де i - номер фактору;

X_i^n - натуральне значення i -го фактору;

X_{i0}^n - натуральне значення основного рівня i -го фактору;

ε_i - інтервал зміни i -го фактору.

Фактори і їх кодовані значення наведені в табл. 1. Значення X_{31} відноситься до температури внизу теплоаккумулятора, X_{32} – температура в середині теплоаккумулятора, X_{33} – температура вверху теплоаккумулятора.

Таблиця 1

Рівні та інтервали зміни факторів

Найменування	$X_1, \text{ м}^2$	$X_2, \text{ хв.}$	теплоаккумулятор		
			низ	середина	верх
			$X_{31}, \text{ м}^3$	$X_{32}, \text{ м}^3$	$X_{33}, \text{ м}^3$
Інтервал зміни	0,06	30	0,15	0,15	0,15
Рівні факторів:					
– 1	0,06	30	0,20	0,20	0,20
0	0,12	60	0,35	0,35	0,35
1	0,18	90	0,5	0,5	0,5

Значення були перевірені на однорідність дисперсій похибок по критерію Кохрена [13]. Коефіцієнти рівняння регресії (6) знаходилися за допомогою матричного методу [9], а також перевірялась їх значимість по довірчих границях за допомогою критерію Стьюдента при 5% рівні значимості [9]. Виявлена однорідність проведених досліджень.

Проводячи регресійний аналіз і перевіряючи адекватність моделі по критерію Фішера [13] були одержані рівняння регресії. Для одержання натуральних рівнянь підставляємо значення кодованого фактора X , згідно з виразом (7) в отримані рівняння і одержуємо функції залежності часу нагрівання рідини.

Експериментальні дослідження температури нагрівання рідини були проведені для певного значення. Дослідження проводились на рівнях та з інтервалами, які представлені в табл. 1.

Проведена обробка експериментальних даних дозволила отримати параметр оптимізації

(температура), який залежить від факторів (площі теплообмінника, часу та об'єму речовини) для трьох рівнів.

Після проведення експерименту та оброблення отриманих результатів були отримано рівняння регресії:

$$T_{f1}(S, t, v) = 30.1 + 12.15p + 27.85t - 1.05v - 9.67pt - 37.05vt - 13.45pv - 20.52p^2 + 90.19t^2 + 14.46v^2 \quad (8)$$

де $S = \frac{S - 128000}{72000}$ - приведення значення площі теплообмінника;

$t = \frac{T - 30}{15}$ - приведення значення часу нагрівання;

$v = \frac{V_p - 0.0000015}{0.0000005}$ - приведення значення кількості рідини.

Отримане рівняння регресії дозволяє описувати процес зміни температури з урахуванням всіх трьох факторів.

З представлених графіків видно, що аналітична модель та отримані регресійні залежності з коефіцієнтами задовільно узгоджуються (відносно відхилення експериментальних значень від теоретичних не перевищує для низу - 14%; для середини - 12%; для верху - 13%), що підтверджує правомірність допущень, які були прийняті при обґрунтуванні аналітичної моделі процесу нагрівання.

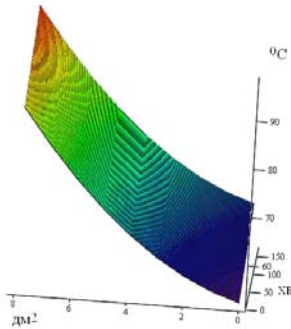


Рис. 4. Графік залежності нагрівання теплоносія від часу нагріву (хв.) та площі теплообмінника (дм²)

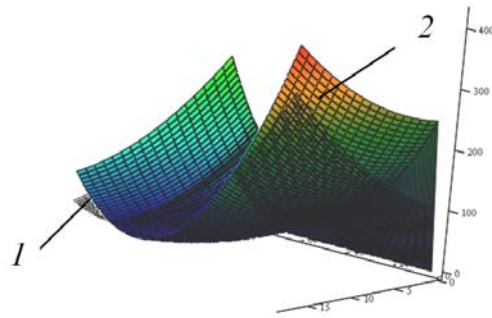


Рис. 5. Графік розповсюдження тепла в теплоаккумуляторі: 1 – теоретичний, 2 – експериментальний

Висновки

Розбіжності математичної моделі і результатів дослідів обумовлені неминучою помилкою експерименту, а також деякою невідповідністю математичної моделі, в наслідок прийнятих при аналітичному дослідженні положень для спрощення.

З отриманих результатів у вигляді графіків встановлено, що збільшення кількості рідини та площі веде до скорочення часу нагрівання, яке обумовлено фактичною площею теплообмінника. Таким чином, отримане рівняння регресії з достатньою для розрахунків точністю описує процес нагрівання теплоносія в теплоаккумуляторі. Це дозволяє використовувати отримані залежності для розрахунків конструктивних та технологічних параметрів побутового теплоаккумулятора.

Література

1. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
2. Forsstrom J. P., Lund P. D., Routti J. T. Economic analysis of heat storage in energy systems // International Journal of Energy Research Volume 11, Issue 1, pages 85–94, January/March 1987
3. Hazami, M., S. Kooli, M. Lazaar, A. Farhat and A. Belghith, 2005. Thermal Performance of a Solar Heat Storage Accumulator Used For Greenhouses Conditioning. Am. J. Environ. Sci., 1: 270-277 сс.
4. Патент №91482 Україна, F24D 11/00. Система опалення приміщень / Г.Б. Параска; С.Л. Горященко; В.Р. Любчик; А.В. Вітюк; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет; опубліковано 10.07.2014, Бюл. № 13/2014 – 5 с.
5. Патент №99525, Україна. F24D 15/02, F24D 11/00 Теплоаккумулятор з теплоізолюючою перетинкою / С.Л. Горященко, Г.Б. Параска, А.В. Вітюк, В.Р. Любчик; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет; опубліковано 10.06.2015, Бюл. № 11/2015 – 4 с.

Рецензія/Peer review : 16.8.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : к.т.н., доц. Поліщук О.С.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ ЖЕЛЕЗОЧУГУННЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В статье представлены результаты исследований по созданию низколегированных порошковых композиций, содержащих в шихте порошок железа, электролитической меди, карбонильного никеля и низколегированного чугуна. Установлено, что повышение содержания чугунного порошка в шихте снижает прочностные характеристики спеченных композиций.

Ключевые слова: структура, свойство, композиция, железочугун, шихта, матрица, плотность, прочность, ударная вязкость.

MAMMADOV ARIF, ABAEV IRMIK
Azerbaijan Technical University

STRUCTURE AND PROPERTIES OF LOW-ALLOY IRON POWDER IRON COMPOSITIONS

The article presents the results of research on the creation of low-alloyed powder compositions containing the mixture of the iron powder, electrolytic copper, carbonyl Nickel and low-alloyed cast iron. It is established that the increase in the content of iron powder in the charge reduces the mechanical characteristics of the sintered compositions. Increasing the sintering temperature from 1100 °C to 1250 °C improves the strength characteristics of the materials.

Key words: structure, properties, composition, selection, charge, matrix, density, strength, toughness.

Постановка проблемы. Использование 100-процентного чугунного порошка для изготовления порошковых изделий невозможно вследствие плохой его деформируемости при холодном прессовании и отсутствия спекаемости частиц ввиду загрязненности их контактных поверхностей графитовыми и др. неметаллическими включениями. Поэтому необходимо его использовать совместно с относительно пластичными порошками металлов, одновременно обладающими хорошей спекаемостью. В то же время наличие в такой композиционной шихте порошка чугуна позволяет регулировать состав материала по углероду и некоторым легирующим элементам. Поэтому создание железочугунных композиций является перспективным направлением как с технической, так и экономической точек зрения [1, 2].

Структура и свойства железочугунных композиций. В отличие от обычного приготовления шихты, заключающемся в загрузке отдельных порошков в смеситель и последующем смешивании [3], чугунный порошок добавляли к готовой шихте ЖГр0,65-Д2Н1, состоящей из порошков, масс. %: железа ПЖ2М3-96,36; электролитической меди ПМС-1 или ПМС-2-2,0; карбонильного никеля ПНК-ОТ1-1,0 и графита ГК-3-0,65. Шихту ЖГр0,65ДН1 получали смешиванием компонентов в Y-образном смесителе в течение 2,4 кс. Затем к ней добавляли 10–50 мас. % низколегированного чугунного порошка (табл. 1) с размером частиц менее 63 мкм и снова смешивали в том же смесителе в течение 1,8 кс. Таким образом получали 5 шихт с условными марками ЖГр0,65Д2Н1-10Ч; ЖГр0,65Д2Н1-20Ч; ЖГр0,65Д2Н1-30Ч; ЖГр0,65Д2Н1-40Ч; ЖГр0,65Д2Н1-50Ч, в которых содержание чугунного порошка составило, соответственно, 10, 20, 30, 40, 50 мас. %.

Использование в шихте пластичных и химически чистых порошков Fe, Cu и Ni позволяет компенсировать плохую прессуемость и спекаемость чугунного порошка. В то же время добавка мелкодисперсного чугунного порошка к уже готовой легированной шихте, на наш взгляд, повышает однородность последней, а следовательно и готового сплава. Введение менее 10 мас. % чугунного порошка в шихту ЖГр0,65Д2Н1 не может обеспечить необезуглероживающее спекание материала в эндогазе, а более 50 % ухудшает прессуемость

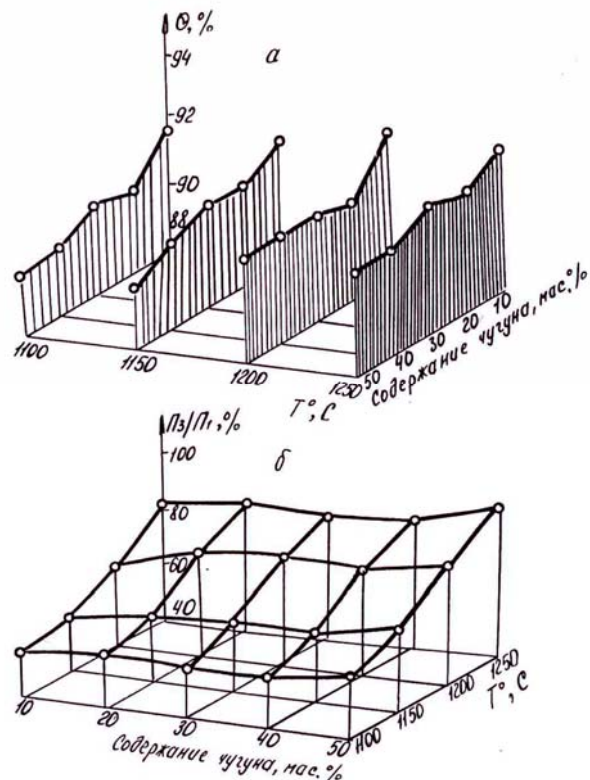


Рис. 1. Зависимость относительной плотности (а) и отношение закрытой пористости к общей (б) от содержания чугуна в шихте и температуры спекания прессовок

шихты.

Прессование осуществляли на гидравлическом прессе модели НРМ-100S под давлением прессования 1000МПа и в пресс-форме с использованием «потеющей» матрицы. Спекание призматических прессовок размером 10x10x55 мм проводили в среде эндотермического газа в печи непрерывного действия при температурах 1100, 1150, 1200, 1250 °С и постоянной изотермической выдержке – 3,6 кс.

Изложение основного материала исследования. С увеличением содержания чугуна в шихте от 10 до 50 % относительная плотность спеченных образцов снижается за счет плохой уплотняемости чугуна. Повышение температуры спекания от 1100 до 1250 °С приводит к уплотнению образцов, но не столь существенному. Судя по данным, представленным на рис. 1,а, при температуре 1200 °С разница в относительных плотностях материалов ЖГр0,65Д2Н1-10Ч и ЖГр0,65Д2Н1-50Ч наименьшая, что объясняется увеличенным количеством жидкой фазы за счет большего содержания чугуна и связанного с этим большим уплотнением при спекании последнего материала.

Дальнейшее повышение температуры спекания приводит к увеличению жидкотекучести чугуна, который, не удерживаясь в каркасе, может вытекать из него на поверхность изделия и вызывать изменение формы заготовок.

Жидкофазное спекание существенно изменяет и характер пористости образцов. Так, с увеличением температуры спекания от 1100 до 1250 °С большая часть открытых пор ($P_{отк.}$) переходит в разряд закрытых (P_3). Отношение $P_3/(P_{отк.}+P_3) \cdot 100$ % образцов из ЖГр0,65Д2Н1-50Ч, спеченных при 1200 и 1250 °С, имеет очень высокое значение – более 90 % (рис. 1,б). Это говорит о возможности создания герметичных изделий из железочугунных композиций традиционным методом – холодным прессованием и спеканием без применения дорогостоящих материалов и дополнительных операций обработки.

В табл. 1 показано влияние содержания чугуна в шихте и температуры спекания на содержание общего и свободного углерода в сплавах. Почти все они соответствуют заэвтектидным сталям, за исключением сплава ЖГр0,65Д2Н1-10Ч, спеченного при 1250 °С. Повышение температуры спекания от 1100 до 1250 °С способствует, с одной стороны, большему растворению углерода в железе, а с другой – его выгоранию, поэтому содержание свободного углерода в сплавах, спеченных при 1200 и 1250 °С незначительное. Химический состав порошковых сплавов, спеченных при 1200 °С, представлен в табл. 2, из которой видно, что порошковая шихта ЖГр0,65Д2Н1 в процессе спекания дополнительно легируется за счет низколегированного чугуна.

На микроструктурах железочугунных композиций ярко выраженные границы раздела чугуна и основы не замечаются из-за высокой дисперсности (менее 63 мкм) вводимого в порошковую шихту чугуна (рис. 2). Увеличение содержания углерода в шихте за счет изменения количества чугуна полностью не решает задачу необезуглероживающего спекания изделий в среде эндотермического газа. В поверхностных слоях образцов как из ЖГр0,65Д2Н1-10Ч, так и из ЖГр0,65Д2Н1-50Ч (рис. 2а, б, н) наряду с перлитом присутствуют небольшие участки феррита. Во внутренних слоях образцов из всех марок материала образуется перлитная структура с включениями структурно-свободного цементита, за исключением образцов из ЖГр0,65Д2Н1-10Ч (рис. 2 а,б,в). По мере увеличения содержания чугуна в сплавах от 10 до 50 мас.% количество структурно-свободного цементита в их структуре растет, то есть при меньшем содержании чугуна в сплаве между зёрнами образуется тонкая, а при большем – грубая сетка цементита. Структурно-свободный цементит в виде игл образуется также и по линиям скольжения [4]. Это более ярко видно на образцах, спеченных при 1200 и 12050°С, что объясняется образованием жидкой фазы (рис. 2,к, м, о). При последующем ускоренном охлаждении образцов в холодильнике печи в их структуре преимущественно образуется цементит, поскольку для выделения графита необходима низкая скорость охлаждения.

Таблица 1

Изменение содержания углерода (масс.%) в порошковых сплавах в зависимости от температуры спекания и содержания чугуна в шихте

Температура спекания, С	Марки сплавов									
	ЖГр0,65Д2Н1-10Ч		ЖГр0,65Д2Н1-20Ч		ЖГр0,65Д2Н1-30Ч		ЖГр0,65Д2Н1-40Ч		ЖГр0,65Д2Н1-50Ч	
	$C_{общ.}$	$C_{своб.}$	$C_{общ.}$	$C_{своб.}$	$C_{общ.}$	$C_{своб.}$	$C_{общ.}$	$C_{своб.}$	$C_{общ.}$	$C_{своб.}$
1100	1,11	0,15	1,18	0,17	1,56	0,25	1,82	0,28	2,22	0,47
1150	0,96	0,129	1,13	0,158	1,42	0,236	1,76	0,247	1,80	0,217
1200	0,858	0,024	1,05	0,083	1,34	0,078	1,61	0,11	1,66	0,13
1250	0,71	0,0	1,03	0,0097	1,19	0,029	1,56	0,029	1,62	0,039

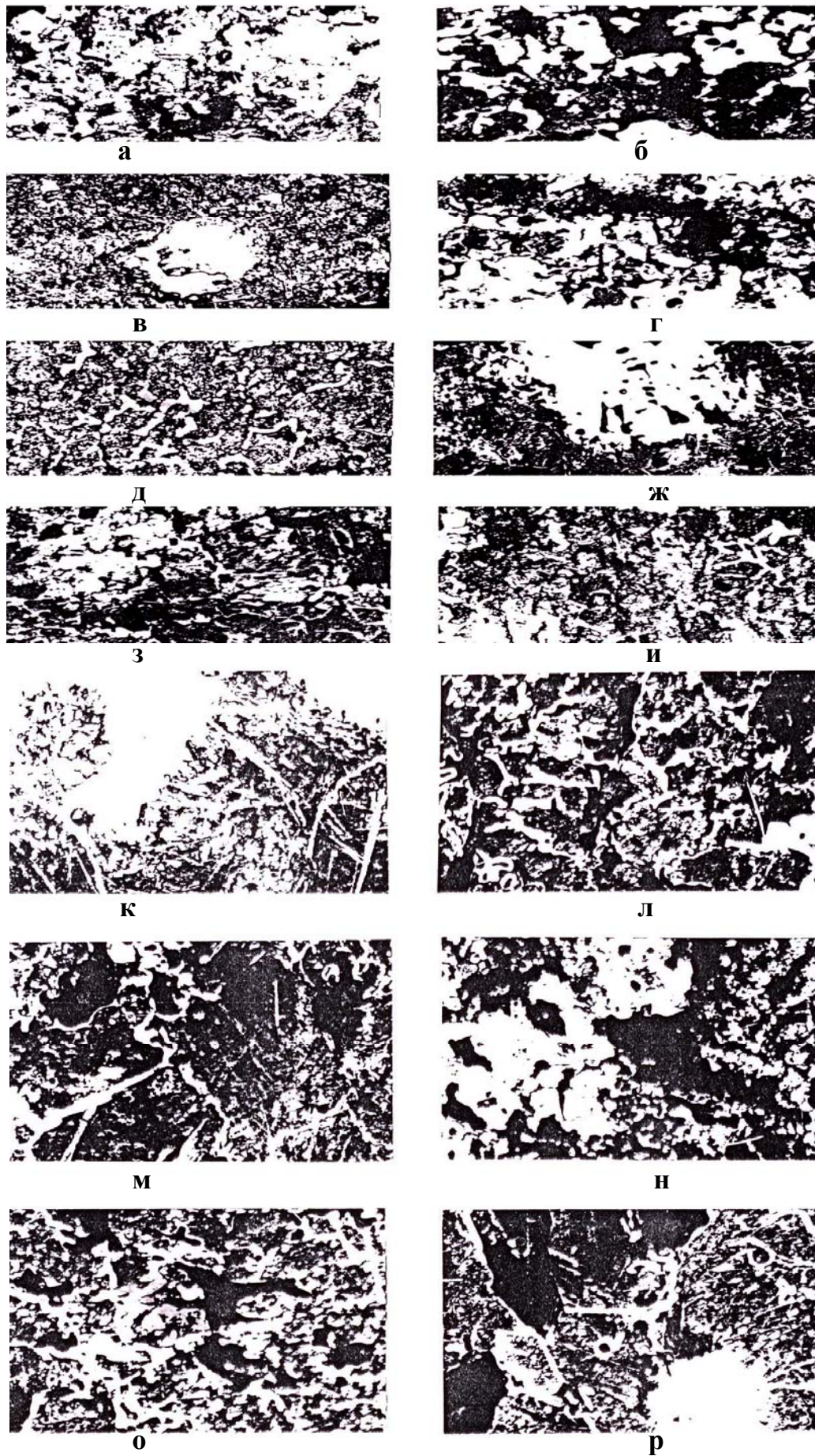


Рис. 2. Микроструктура поверхностных (а, б, г, ж, и) и внутренних (в, д, е, з, л, м, р, о) слоев сплавов «железочугун» х400. Содержание чугуна в сплавах, в масс. %: а, б, в – 10; г, д, е – 20; ж, з – 30; к, л, м – 40 и н, р, о – 50. Температура спекания °С: г, з, н – 1100; а, д, л, р – 1150; м – 1200; б, в, е, ж, к, о – 1250

Таблиця 2

Химический состав низколегированного чугуна и порошковых сплавов, спеченных при 1200 °С

Материал	Содержание элементов, масс. %							
	C	Cu	Ni	Mo	Cr	Mn	Si	B
Порошок чугуна	2,68	-	0,78	0,86	0,73	1,14	1,68	0,22
ЖГр0,65Д2Н1-10Ч	0,858	1,7	1,1	0,09	0,092	0,42	0,22	0,0011
ЖГр0,65Д2Н1-20Ч	1,13	1,6	1,3	0,16	0,138	0,483	0,31	0,0011
ЖГр0,65Д2Н1-30Ч	1,34	1,24	1,5	0,22	0,172	0,60	0,47	0,0011
ЖГр0,65Д2Н1-40Ч	1,56	1,12	1,19	0,24	0,207	0,59	0,72	0,002
ЖГр0,65Д2Н1-50Ч	1,62	1,0	1,92	0,35	0,40	0,64	0,82	0,011

В процессе спекания исходные карбиды чугуна практически полностью растворяются в основе сплава, за исключением температур спекания 1100 и 1150 °С, при которых часть этих равновесных карбидов еще сохраняется (рис. 2, д, л). Однако на поверхности образцов сетка цементита отсутствует, что связано с эффективным углеродным обменом между металлом и газовой средой [5].

Повышение содержания чугуна в сплаве существенно снижает прочность последних, что обуславливается образованием в их структуре очень грубой сетки цементита (рис. 3а). Увеличение температуры спекания в диапазоне 1100–1250 °С несколько повышает σ_{δ} материалов, однако образцы из ЖГр0,65Д2Н1-50Ч, спеченные при 1200°С, имеют сравнительно низкую прочность.

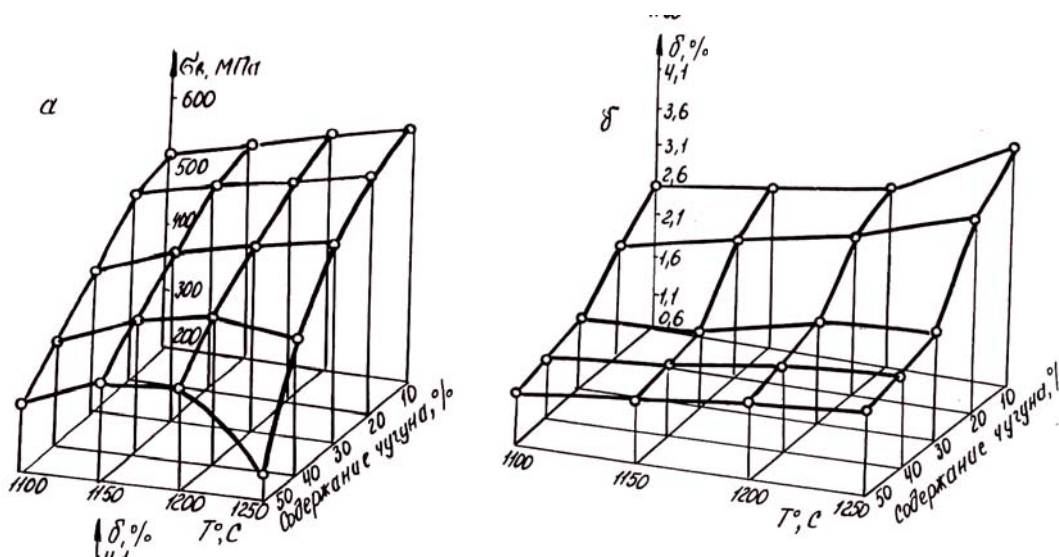
Если рост температуры спекания от 1100 до 1250°С увеличивает пластичность (δ) образцов, то повышение содержания чугуна в сплавах ухудшает ее. Резкое снижение δ наблюдается с увеличением содержания чугуна в сплавах до 30 %, а далее графики становятся пологими (рис. 3, б).

На рис. 4 показана зависимость твердости поверхностных (а) и внутренних (б) слоев образцов от содержания чугуна и температуры спекания, из которой видно, что с увеличением содержания чугуна в сплавах и температуры спекания образцов твердость последних достаточно быстро растет. Высокая твердость наблюдается на образцах, содержащих 40 и 50 % чугуна и спеченных при температуре 1200 и 1250°С, что связано с наличием в их структуре мелкодисперсного перлита и очень грубой сетки цементита.

Рост температуры спекания сплавов увеличивает, а повышение содержания чугуна существенно снижает их σ_{δ} и КС (рис. 5). Следовательно, чем чаще размещение в прессовке частиц типа «железо-чугун» и «чугун-чугун», почти не имеющих прямого металлического контакта между собой после прессования, тем хуже качество их сращивания при твердофазном спекании. Качественное сращивание этих частиц возможно лишь при жидкофазном спекании. При этом сравнительно большее снижение σ_{δ} наблюдается на образцах из ЖГр0,65ДН1-40Ч и ЖГр0,65Д2Н1-50Ч, спеченных при температуре 1250 °С.

Резкое снижение КС образцов, с увеличением содержания чугуна в сплавах от 10 до 20 %, говорит о достаточно полном распределении чугуна между частицами основного материала и, как следствие, о разуплотняющем его эффекте. Дальнейшее же увеличение содержания чугуна, с одной стороны, ослабляет «действительное» сечение образцов, а с другой – за счет большего образования жидкой фазы в какой-то степени компенсирует этот пробел, вследствие чего интенсивность снижения КС несколько тормозится.

Графики на рисунках 3, 4, 5, характеризующие прочностные свойства рассматриваемых материалов, имеют одинаковый характер и почти не отличаются друг от друга. Поэтому механизм изменения одной характеристики прочности сплавов в зависимости от увеличения содержания чугуна аналогичен и для других.

Рис. 3. Зависимость σ_{δ} (а) и (б) образцов от содержания чугуна в сплавах и температуры спекания

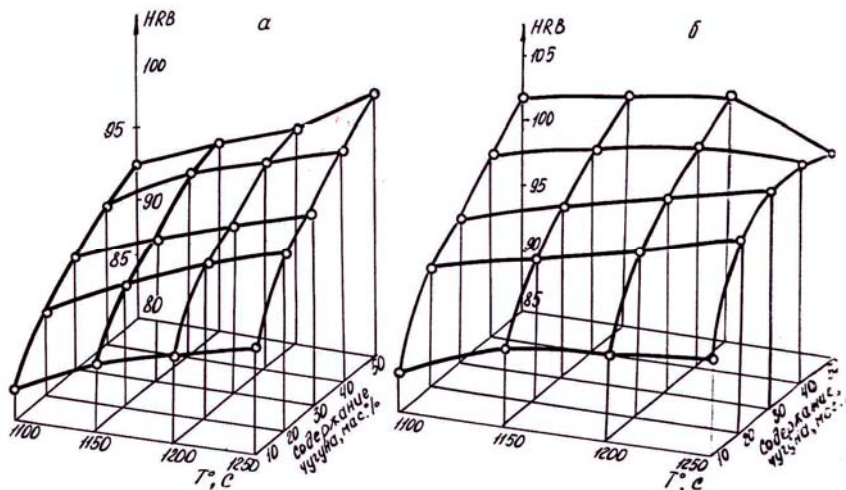


Рис. 4. Зависимость твердости (а) и внутренних (б) слоев образцов от содержания чугуна в сплавах и температуры их спекания

Иными словами, чем больше чугуна в сплавах, тем грубее в их структуре сетка цементита, вследствие которой снижаются σ_b , δ , σ_n , КС и повышается HRB.

Выводы. 1. Установлено, что увеличение содержания чугуна в шихте снижает ее прессуемость, однако повышение температуры спекания приводит к увеличению плотности, а следовательно и механических свойств всех композиций.

2. Повышение содержания чугуна в композициях приводит к образованию в структуре структурно-свободного цементита, а наличие в составе Ni и Cu – включений светлой фазы. Это свидетельствует о грубой гетерогенности структуры железочугунных композиций. Чем больше чугуна в сплавах, тем грубее в их структуре сетка цементита, которая приводит к снижению механических свойств композиций.

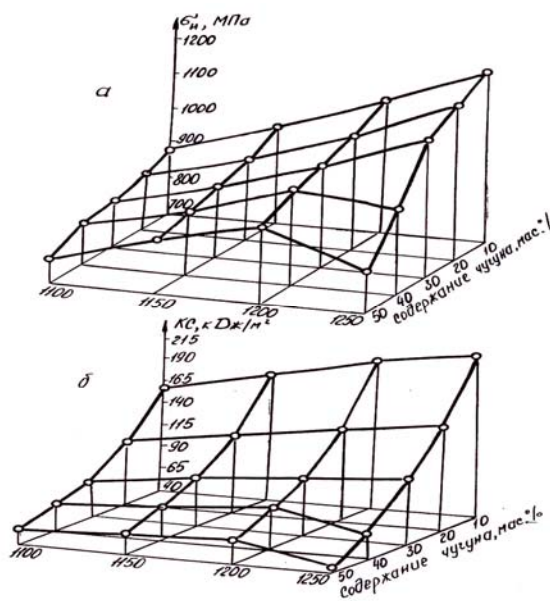


Рис. 5. Зависимость σ_n (а) и КС (б) от содержания чугуна в сплавах и температуры спекания

Литература

1. Мамедов А.Т. Восстановительный отжиг чугунного порошка и его влияние на антифрикционные свойства материала / А.Т. Мамедов, В.А. Мамедов, А.Г. Алиев // Порошковая металлургия. – 2003. – № 3/4 (430). – С. 110–115.
2. Мамедов А.Т. Свойства чугунного порошка, полученного из стружковых отходов ВЧ40 / А.Т. Мамедов, Ф.Т. Гулиев // Ученые записки АзГУ. – 2004. – № 3. – С. 31–33.
3. Кипарисов С.С. Порошковая металлургия / Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. – М. : Металлургия, 1980. – 495 с.
4. Карташов Л.И. Влияние технологических параметров на качество деталей при серийном производстве методом горячей штамповки пористых заготовок / Л.И. Карташов, А.Т. Цыркин, М.М. Львовский // Порошковая металлургия. – 1996. – № 11/12. – С. 86–89.
5. Мамедов А.Т., Гулиев А.А. Металлические порошки из чугунной стружки и особенности получения из них порошковых изделий (сообщение 2) / А.Т. Мамедов, А.А. Гулиев // Порошковая металлургия. – 1989. – № 10. – С. 4–10.

Рецензия/Peer review : 8.8.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : д. т. н., проф. Любчик В.Р.

ТЕПЛООБМЕН ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ВНУТРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГЛАДКОЙ ТРУБЫ. РАСЧЕТ ТЕПЛООТДАЧИ

В работе представлен обзор работ по конденсации пара внутри гладких горизонтальных труб, расчет теплоотдачи, модели расчета и алгоритм определения режимов течения внутри трубы, основанных на внутритрубной конденсационной модели теплоотдачи.

Ключевые слова: конденсация внутри горизонтальных труб, теплообмен при конденсации внутри гладких горизонтальных труб, режимы течения внутри труб, модели расчета.

V.V. GORIN

Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

RESULTS OF RESEARCH OF HYDRODYNAMICS AND HEAT EXCHANGE CONDENSATION INSIDE A HORIZONTAL SMOOTH PIPES

This paper presents an overview of works on the condensation of steam inside the smooth horizontal work, heat transfer calculation model and calculation algorithm for determining flow patterns inside the pipe, based on in-tube condensation heat transfer model. Techniques transfer coefficients of heat transfer from the annular flow to the stratified-wavy or stratified flow regimes.

Keywords: condensation inside horizontal tubes, the heat transfer during condensation inside horizontal smooth tubes, flow conditions inside the pipes, calculation model.

Вступление

Конденсация внутри горизонтальных труб может включать в себя частичную или полную конденсацию пара. В зависимости от условий пар на входе может быть перегретым, равный 1.0 или ниже 1.0. Следовательно, процесс конденсации может начинаться с зоны потери перегрева при сухой стенке, после чего следует зона потери перегрева при мокрой стенке, затем зона конденсации насыщенного пара и в конце зона переохладения конденсата. Коэффициент теплоотдачи при конденсации сильно зависит от локальных значений паросодержания, и увеличивается при его увеличении. Коэффициент теплоотдачи при конденсации также сильно зависит от массовой скорости, и увеличивается при увеличении массовой скорости.

Режимы течения при конденсации внутри горизонтальных труб. На рис. 1 показаны типичные формы течения двухфазного потока при конденсации в горизонтальной трубе, предложенные в работе [1]. На нижней диаграмме рисунка 1 при малых расходах, на входном участке имеет место кольцевое течение, но оно быстро переходит в волновое течение с большой амплитудой волн, которое омывают верхнюю часть трубы, или же в стратифицировано-волновое с малой амплитудой волн. Если жидкость не заполняет поперечное сечение трубы, то пар может достигать конца трубы, не сконденсировавшись. На верхней диаграмме, согласно рис. 1, при больших массовых расходах, поток имеет кольцевой режим течения, при котором конденсатная пленка течет по периметру стенок, пар – по центру ядра потока, кроме того в паре имеются частички жидкости захваченные паром из краев волн поверхности пленки. Поскольку процесс конденсации протекает вдоль трубы, то скорость пара уменьшается и, следовательно, соответствующее уменьшается размер парового сечения, пленка конденсата становится в нижней части трубы толще, чем на верхней. Новообразованный конденсат увеличивает толщину конденсатной пленки. Поскольку количество жидкости вдоль трубы возрастает, происходит образование паровых пробок, которые продолжают движение вдоль трубы до тех пор, пока весь пар не превратится в жидкость.

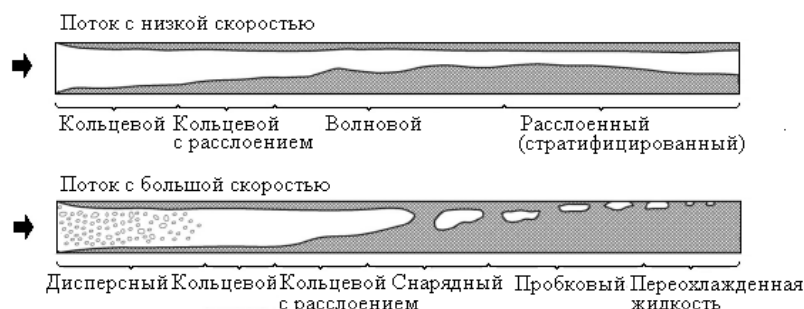


Рис. 1. Типичные формы течения, встречающиеся при конденсации внутри горизонтальных труб

Имеется много схожего между этими режимами течения и адиабатными двухфазными режимами, при которых конденсат образовывается по всему периметру трубы, даже при стратифицированном течении. На рис. 2 показан полностью стратифицированный режим течения, при котором вся жидкость обычно

находится в нижней части трубы для адиабатного течения, будет иметь тонкий слой конденсата вокруг верхней части периметра.

Теплообмен при конденсации чистого пара внутри горизонтальной трубы

Как показано на рисунке 2 при малых расходах течение является стратифицированным. Конденсатная пленка, образованная в результате пленочной конденсации, стекает с верхней части трубы в нижнюю под действием силы тяжести. При низкой скорости пара в ядре потока течение пленки является ламинарным и в основном направленно вниз. Если паровое сечение является достаточным и граница турбулентности была перейдена, то формируется турбулентная пленка, доминирующим направлением течением которой является осевое.

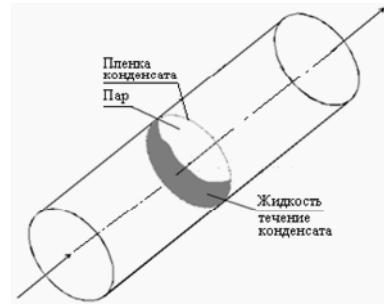


Рис. 2. Полностью стратифицированный режим течения

Для низких значений параметров пара, процесс конденсации в верхней части трубы и по бокам очень похож на процесс конденсации на поверхности горизонтальной трубы. Таким образом, нуссельтовский анализ стекающей пленки может быть применен для верхней зоны трубы, что было сделано авторами работы [2] и затем [3] Стратифицированный слой жидкости в нижней части поперечного сечения жидкости может быть учтен при помощи безразмерного коэффициента ε . Затем, стратифицированный угол смачивания может быть определен геометрически. Локальный коэффициент теплоотдачи для этого случая, для пара с паросодержанием x , получен путем распределения соответственных коэффициентов теплоотдачи по отношению к частям периметра, которые они занимают, и записывается как

$$\alpha(x) = \frac{\theta_{страт}}{\pi} \alpha_{\varphi} + \frac{\pi - \theta_{страт}}{\pi} \alpha_{страт}$$

$\theta_{страт}$ является углом между верхом трубы и стратифицированным слоем. $\theta_{страт}$ равняется π , если стратифицированный слой отсутствует и измеряется в радианах. Коэффициентом теплоотдачи стратифицированного течения в нижней части трубы является $\alpha_{страт}$. Допуская, что значение $\alpha_{страт}$ есть незначительным по сравнению с α_{φ} , вторым слагаемым можно пренебречь, и тогда α_{φ} определяется по зависимости

$$\alpha_{\varphi} = \Omega \left[\frac{\rho_{ж} (\rho_{ж} - \rho_{п}) g \lambda_{ж} r}{\mu_{ж} d \cdot (T_{н} - T_{в})} \right]^{1/4}$$

Величина Ω является геометрической функцией от $\theta_{страт}$, где $\Omega = \beta \cdot \theta_{страт} / \pi$, $\lambda_{ж}$ – удельная теплопроводность жидкости. Авторы работы [4] показали, что значение Ω зависит от парового коэффициента пропорциональности ε , т.е. $\Omega = 0,728\varepsilon$. Они использовали для коэффициента пропорциональности уравнение из работы [5], в котором ε является функцией от объемного паросодержания ε , а также плотностей пара и жидкости

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + [(1-x)/x] \cdot (\rho_{п}/\rho_{ж})^{2/3}}$$

Для больших расходов, когда условия турбулентного кольцевого течения противоречивы, было получено большое количество соотношений. Авторы работы [6] предложили зависимость для определения локального коэффициента теплоотдачи при конденсации для случая однофазного турбулентного течения в трубах, выведенную на основании базы данных для нескольких хладонов и органических веществ.

$$\frac{\alpha(x) d_i}{\lambda_m} = C Re_{\Sigma}^n Pr_{\Sigma}^{1/3} \tag{1}$$

Эквивалентное число Рейнольдса для двухфазного потока получено на основании эквивалентной массовой скорости, которая в свою очередь получена на основании полной массовой скорости, умноженной на коэффициент:

$$(\rho w)_{\Sigma} = (\rho w) \left[(1-x) + x \left(\frac{\rho_{п}}{\rho_{ж}} \right)^{1/2} \right]$$

Для нахождения общей массовой скорости используется сумма полного массового расхода жидкости и пара. Эмпирические параметры C и n , использованные в (1) определяются:

$$C = 0,0265 \text{ и } n = 0,8 \text{ при } Re_{\Sigma} > 50000,$$

$$C = 5,03 \text{ и } n = 1/3 \text{ при } Re_{\Sigma} < 50000.$$

Автор работы [7] предложил модифицировать формулу (1) в следующем виде

$$\frac{\alpha(x) d_i}{\lambda_m} = C Re_{\Sigma}^{0,8} Pr_{\Sigma}^{0,4} \left[(1-x)^{0,8} + \frac{3,8x^{0,75}(1-x)^{0,4}}{Pr_{\Sigma}^{0,25}} \right] \tag{2}$$

Автор использовал отношение давлений P_r (где P_H – давление насыщения, а P_c – критическое давление вещества), что лучше чем отношение плотностей, и базы данных по конденсации водяного пара, хладонов и органических веществ. В (2) $Re_{жк}$ – трубное число Рейнольдса, определяемое по общему массовому расходу жидкости и пара.

На основании экспериментальных данных, имеющих в литературе для хладонов R134, R22 и др., в работе [8] рекомендовано использовать зависимость (2), когда массовая скорость потока \dot{m}'' больше 200 кг/(м²·с) и для низких значений отношения (1).

В [9] предложили усовершенствованную методику из [3] для случая стратифицировано-волнового течения конденсатной пленки, расположенной от верхней образующей трубы до нижней, и для кольцевого течения. Представленная зависимость для кольцевого течения имеет вид

$$Nu(x) = 0,023 Re_{жк}^{0,8} Re_{жк}^{0,4} \left[1 + \frac{2,22}{X_{гг}^{0,289}} \right]$$

где $Nu(x)$ - локальное число Нуссельта $Nu(x) = (\alpha d_t) / \lambda_{жк}$, число Рейнольдса для поверхности жидкости, а параметр Мартинелли для турбулентного течения для обеих фаз $X_{гг}$ имеет вид

$$X_{гг} = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left(\frac{\rho_H}{\rho_{жк}} \right)^{0,8} \left(\frac{\mu_{жк}}{\mu_H} \right)^{0,1}$$

Для реализации методики для стратифицировано-волнового течения сначала вычисляется коэффициент пропорциональности F , используя коэффициент пропорциональности из работы [5]. Допуская, что вся жидкость в нижней части трубы стратифицирована (пренебрегаем конденсатом, образованным на стенках), угол между верхней точкой трубы и слоем стратифицированной жидкости внизу трубы будет определяться по зависимости

$$1 - \frac{F_{страт}}{\pi} = \frac{\arccos(\cos(\pi x))}{\pi} \tag{3}$$

Коэффициент теплопередачи для стратифицировано-волнового течения получен благодаря совместному пропорциональному представлению коэффициента конденсации для верхней части периметра трубы (левое выражение), и коэффициента теплопередачи при вынужденной конвекции для стратифицированного периметра (правое выражение)

$$Nu(x) = \frac{0,023 Re_{жк}^{0,8} F_{жк}^{0,4}}{1 + 1,11 X_{гг}^{0,289}} \left[\frac{G_{жк} F_{жк}}{J_{жк}} \right]^{0,28} + \left(1 - \frac{F_{страт}}{\pi} \right) Nu_{вынужд} G_{жк} \tag{4}$$

Вынужденная конвекция стратифицированной жидкости при конденсации описывается отношением

$$Nu_{вынужд} = 0,0195 Re_{жк}^{0,8} F_{жк}^{0,4} \left(1,376 + \frac{c_1}{X_{гг}} \right)^{1/2} \tag{5}$$

В (5) постоянная 1,376 делает это выражение равное зависимости Диттуса-Болтера из [19] при $x = 0$.

В выражении (4) число Галилея для жидкости $G_{жк}$, для трубы имеет вид $G_{жк} = g \rho_{жк} (\rho_{жк} - \rho_H) d_t^3 / \mu_{жк}^2$, число Рейнольдса для пара, число Якоба для жидкости, $J_{жк} = c_{p,жк} (T_H - T_c) / \rho_{жк}$, число Фруда жидкости $F_{жк} = (g \mu_{жк})^2 / \rho_{жк}^2 g d_t$.

Эмпирические константы C_1 и C_2 получают в зависимости от $F_{жк}$ следующим образом:

- при $0 < F_{жк} < 0,7$ $c_1 = 4,172 + 5,48 F_{жк} - 1,504 F_{жк}^2$, $c_2 = 1,173 - 0,109 F_{жк}$;
- при $F_{жк} > 0,7$ $c_1 = 7,242$, $c_2 = 1,655$.

Условие перехода из работы [10], определяющее переход от кольцевого течения к стратифицировано-волновому, было использовано для определения, позволяющего рассчитать теплоперенос. Этот метод базируется на использовании числа Фруда для определения перехода:

для $Re_{жк,сп} \leq 1250$

$$F_{жк,сп} = 0,025 Re_{жк,сп}^{1,89} \left(\frac{1 + 1,09 X_{гг}^{0,289}}{X_{гг}} \right)^{1,8} \frac{1}{G_{жк}^{0,8}}$$

для $Re_{жк,сп} > 1250$ имеет вид

$$F_{жк,сп} = 1,26 Re_{жк,сп}^{1,04} \left(\frac{1 + 1,09 X_{гг}^{0,289}}{X_{гг}} \right)^{1,8} \frac{1}{G_{жк}^{0,8}}$$

В работе [10] установлено, что переход от кольцевого течения к волновому, происходит при $F_{жк,сп} = 20$.

Однако авторы работы [9] считают, что значение перехода, равное , лучше согласуется с их данными по теплообмену, и в дальнейшем использовали это значение.

По их теории:

- для массовой скорости $\dot{m}'' > 500$ кг/(м²·с), всегда используется зависимость для кольцевого течения;

- для массовой скорости $\rho w < 500 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$, используется зависимость для кольцевого течения, если ;
- для массовой скорости $\rho w < 500 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$ и $Fr_{грязь} < 20$ используется зависимость для стратифицировано-волнового течения.

Данная методика не предусматривает плавного перехода коэффициентов теплоотдачи от кольцевого течения к стратифицировано-волновому; вместо этого она дает ступенчатое изменение в значениях, чего не наблюдается экспериментально. За исключением этого недостатка, их методика согласно, авторам работы [11], которые сравнили ее с независимыми опытными данными, является наиболее точной методикой имеющейся на данное время. Скачок в значениях коэффициентов теплоотдачи может быть устранен путем применения для прямой пропорции между соответственно вычисленными коэффициентами теплоотдачи, предположим для по стратифицировано-волновой зависимости и для по зависимости для кольцевого течения.

В работе [12] также предложена простая зависимость, охватывающая диапазон приведенного давления $p_r = 0,2 + 0,53$ и массовой скорости . Зависимость применима только для кольцевого режима течения и имеет вид

$$\frac{\alpha(x)d_t}{\lambda_{ж}} = 0,023 Re_{ж}^{0,2} Pr_{ж}^{0,4} \left[1 + 4,863 \left(\frac{-x \ln p_r}{1-x} \right)^{0,238} \right]$$

Последние опытные данные по конденсации в трубе диаметром $d = 8 \text{ мм}$ и широкого диапазона давлений $P = 0,246 + 3,15 \text{ Мпа}$ были получены в работе [13] для пяти веществ R134a, R125, R32, R410 и R236ea. Они охватывают диапазон массовых скоростей и паросодержаний $x = 0,15 + 0,05$ в опытах с квазилокальным определением α .

Авторы работы [14] предложили феноменологическую модель конденсации, основанную на локальных характеристиках течения и межфазном волновом эффекте, для случая конденсации внутри гладких труб в очень широком диапазоне параметров массовой скорости , внутренних диаметров $d = 3,14 + 21,4 \text{ мм}$, приведенного давления $p_r = 0,02 + 0,8$ и массового паросодержания $x = 0,03 + 0,97$. Они воспользовались разработанной характеристической картой течения при конденсации для предсказания локальных параметров.

Метод был сопоставлен с опытными данными, полученными для двадцати разных веществ - аммония, R11, R12, R22, R32, R113, R123, R125, R134a, R236ea, R32/R125 близкий к азеотропному, R402A, R404A, R407C, R410A, R502, пропана, *n*-бутана, изобутана и пропилена. Сопоставление показали, что теплообменная модель дает точность со статистикой до 85 % для одиннадцати хладонов при обработке, в общей сложности, 1850 опытных точек с заданной точностью $\pm 20\%$. Это позволило также определить степень достоверности баз данных, касательно массового паросодержания, диаметра, массовой скорости, приведенного давления, объемного паросодержания и т.д.

Упрощенная структура течения при конденсации в горизонтальных трубах

Подобные упрощенные структуры течения созданные для процесса испарения внутри горизонтальных труб авторами работы [15]. были использованы для процесса конденсации, отличие состоит лишь в том, что верхний периметр трубы при стратифицированной форме течения конденсата, смоченный конденсатной пленкой в большей степени, чем высушенный в процессе испарения.

Модель конденсации [14] предусматривает три упрощенные геометрические формы для описания кольцевого, стратифицировано-волнового и полностью стратифицированного течения.

Для кольцевого течения предполагается наличие сплошной пленки жидкости толщиной δ , вследствие чего воздействие сил тяжести не учитывается.

Для полностью стратифицированного течения, геометрическая форма стратификации преобразована в эквивалентную геометрическую форму с неким углом стратификации и площадью поперечного сечения, занимаемой жидкостью, но эта жидкость расположена как часть усеченного кольца постоянной толщины δ .

При стратифицировано-волновом течении межфазные волны являются маленькими и не достигают верхней части трубы, поэтому если на верхней части периметра не образуется конденсат, то эта часть будет называться сухой.

Также предполагается, что стратифицированная жидкость образует кольцеобразную усеченную окружность. Таким образом, угол θ варьируется между максимальным значением на пороге полностью стратифицированного течения, и минимальным значением, равным нулю на пороге кольцевого течения. Важно, что эти три геометрические формы обеспечили плавный геометрический переход от одной структуры течения к другой.

Расчет теплоотдачи. Модели расчета

Согласно рис. 3 модель теплоотдачи для стратифицированных форм течения содержит конвективный теплоперенос, применяемый для стратифицированного периметра, заключенного между $(2\pi - \theta)$, в то время как пленочная конденсация происходит в верхней части периметра, заключенного углом θ , а конденсат стекает вниз, внутрь стратифицированной жидкости.

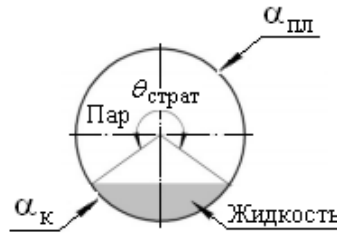


Рис. 3. Модель теплопередачи при конденсации, включающая осевую конвективную теплоотдачу и теплоотдачу стекающей по периметру трубы пленке конденсата.

Для кольцевого течения конвективный конденсационный теплоперенос имеет место по всему периметру без какой-либо пленочной конденсации. Также было установлено, что кольцевая модель течения хорошо работает для наплывного режима течения, а также, что в определенной степени данные пригодны для дисперсного потока. Следовательно, модель теплоотдачи при кольцевом режиме применяется для обоих случаев, сохраняется простота модели. Единственно, что в литературе не было найдено данных про теплоперенос в аэрированном потоке, потому и модель теплоотдачи при аэрированном потоке не была предложена (что нигде не сказывается в пределах изученных условий). Оба этих механизма содержатся в различных, ранее предложенных моделях, точно также как для модели в работе [9], в свое время, была применена нуссельтовская модель пленочной конденсации для верхнего периметра горизонтальной трубы при стратифицированном течении, что было впервые предложено автором работы [3]. В модели конденсации [14], два выше упомянутых механизма теплопереноса применяются в соответствии с их площадями теплообменной поверхности, как показано на рис.3. Конвективный конденсационный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{ж}$ применяется для смоченного периметра кольцевым потоком жидкостной пленки, что относится ко всему периметру кольцевого, наплывного и дисперсного течений, и только для нижней части периметра - стратифицировано-волнового и полностью стратифицированного течения. Допускается, что осевое пленочное течение может быть турбулентным. Коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации $\alpha_{пл}$ применяется для нижней части трубы, что является противоположающей сухой части, для стратифицировано-волнового и полностью стратифицированного течения. В нуссельтовской теории стекания конденсата, что используется для получения $\alpha_{пл}$, предполагается, что процесс стекания пленки является ламинарным (что, по существу, для всех случаев трубных диаметров вызывает сомнение). Эффект парового срыва для этого стекания пленки не учитывается. Экспериментально известно, что коэффициенты теплоотдачи при стратифицированной форме течения зависят от пристенной разности температур, чего не наблюдается для кольцевого течения. Этот эффект также здесь учтен благодаря нуссельтовскому выражению для стекания пленки. Основным выражением для локального, среднего по периметру, конденсационного коэффициента теплоотдачи $\alpha(x)$ является

$$\alpha(x) = \frac{\alpha_{пл}\theta + (2\pi - \theta)\alpha_{ж}}{2\pi} \quad (6)$$

В этом выражении θ является углом стекания пленки вокруг верхней части периметра. Поэтому, $\alpha(x)$ равняется $\alpha_{ж}$, для кольцевого, наплывного и дисперсного течения, поскольку $\theta = 0$. Угол стратификации вычисляется по исключительно геометрическому выражению

$$F_{ж} = \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon} [(2\pi - \theta_{страт}) - \sin(2\pi - \theta_{страт})] \quad (7)$$

Площадь поперечного сечения, занимаемая жидкой фазой, равна $F_{ж} = (1 - \varepsilon)F_{сеч}$, а площадь поперечного сечения, занимаемая паром, равна $F_{п} = \varepsilon F_{сеч} = 1 - F_{ж}$, где $F_{сеч}$ - общая площадь поперечного сечения, а ε - локальный по поперечному сечению безразмерный коэффициент, который определяется при помощи среднелогарифмического значения безразмерного коэффициента приведенной скорости торможения.

Авторы работы [14], с целью упрощения построения карты режимов течения, при конденсации внутри труб, ввели в расчет режимов объемное паросодержание ε , которое определяется при помощи среднелогарифмического значения (8) между объемными паросодержаниями для гомогенной модели (9) и формулой Роухани-Ахелссона (10) из работы [17]

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{гет} - \varepsilon_{гет}}{\ln(\varepsilon_{гет}/\varepsilon_{гет})} \quad (8)$$

где $\varepsilon_{гет}$ - объемное паросодержание для гомогенной модели

$$\varepsilon_{гет} = 1 / \left(1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \frac{\rho_{п}}{\rho_{ж}} \right) \quad (9)$$

- объемное паросодержание предложенное в работе [17] для горизонтальной трубы

$$\varepsilon_{гет} = \frac{x}{\rho_{ж}} \left([1 + 0.12(1-x)] \left[\frac{x}{\rho_{п}} + \frac{1-x}{\rho_{ж}} \right] + \frac{1.48(1-x)(\rho_{п}/\rho_{ж} - \rho_{ж})^{0.75}}{(\rho_{п}\rho_{ж})^{0.25}} \right)^{-1} \quad (10)$$

Для кольцевого течения, наплывного течения и дисперсного потока $\theta = 0$. Для полностью стратифицированного течения. Для стратифицировано-волнового течения угол стратификации получают

путем двойной интерполяции между максимальным значением θ , при переходе от стратифицировано-волнового течения к полностью стратифицированному течению, и 0 при переходе от стратифицировано-волнового к кольцевому или наплывному течению, как показано в (3)

$$\theta = \theta_{\text{страт}} \left[\frac{(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}})x}{(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}})x + \rho_{\text{п}}} \right]^{0.5} \quad (11)$$

Переходные величины при неизвестном паросодержании x определяются по соответственным переходным уравнениям из конденсационной карты форм течения [14]. Чтобы избежать итеративных вычислений в выражении (7) при нахождении можно считать по приближенному эквивалентному выражению в явном виде из работы [18], используя при этом значение θ полученное из (8):

$$\theta_{\text{страт}} = 2\pi - 2 \left\{ \frac{\pi(1-x) + \left(\frac{2\pi}{3}\right)^{4/3} [1 - 2(1-x) + (1-x)^{4/3} - x^{4/3}]}{-\frac{1}{210}(1-x)^2 [1 - 2(1-x)] [1 + 4(1-x) + x^2]} \right\} \quad (12)$$

Конвективный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{ж}}$ для кольцевой жидкостной пленки получен из следующего выражения для турбулентной жидкостной пленки

$$\alpha_{\text{ж}} = c R_{\text{ж}}^{0.8} Pr_{\text{ж}}^{0.4} \frac{\lambda_{\text{ж}}}{\delta} f_1 \quad (13)$$

где число Рейнольдса пленки $R_{\text{ж}}$ содержит среднюю скорость жидкости для жидкостного потока, проходящего через сечение $F_{\text{ж}}$ и имеет вид

$$R_{\text{ж}} = \frac{4(\rho_w)(1-x)\delta}{(1-x)\mu_{\text{ж}}}$$

$$Pr_{\text{ж}} = \frac{c_{\text{пж}} \mu_{\text{ж}}}{\lambda_{\text{ж}}}$$

а число Прандтля жидкости определяется как

Значение эмпирических констант c и n определяется по теплообменным базам данных, принимая во внимание то, что δ является толщиной жидкостной пленки. Наиболее точно значение m определено, как $m = 0.5$, такое значение было найдено Лабунцовом для турбулентного стекания конденсатной пленки на вертикальной пластине, что больше чем значение 0,4 в зависимости из работы [19] для однофазного течения в трубах. Наиболее удачное значение констант сип было найдено статистически, как $c = 0,003$, а $n = 0,74$ по базам данных для кольцевого течения конденсата.

В вышеприведенных выражениях величина жидкостной пленки δ получена путем решения следующего геометрического выражения

$$F_{\text{ж}} = \frac{(2\pi - \theta)}{8} [d_i^2 - (d_i^2 - 2\delta)^2] \quad (14)$$

где d_i является внутренним диаметром трубы.

В случае если жидкость занимает больше половины поперечного сечения трубы для стратифицировано-волнового или полностью стратифицированного течения при низких значениях паросодержания x , то есть при $x < 0.5$, выражение дает результат $\delta > d_i/2$, что геометрически невозможно. Поэтому, согласно методике, всякий раз, когда $\delta > d_i/2$, значению δ присваивают значение $d_i/2$.

Межфазное поверхностное трение потока жидкостной пленки, было признано новым параметром, имеющим значительное влияние на теплоперенос в модели внутритрубной конденсации по следующим причинам. Первая - сдвиг высокоскоростного парового ядра передается жидкостной пленке через поверхность раздела фаз и, по этому, увеличивается размер и количество волн, образующихся на поверхности раздела, что приводит к увеличению полезной площади конденсации, способствует увеличению теплопереноса. Вторая причина - поскольку межфазные волны являются не синусоидальными, то это способствует уменьшению средней толщины пленки, что опять же увеличивает теплоперенос.

Эти два аспекта являются аналогами уточняющей поправки Кутателадзе для межфазного волнового движения при нуссельтовской пленочной конденсации на поверхности вертикальной пластины. Межфазное трение и волнообразование также напрямую связано с уносом капель жидкости паровым ядром, который уменьшает толщину конденсатной пленки и увеличивает теплоперенос. Кроме того, межфазный сдвиг способствует образованию завихрений в конденсатной пленке, что также увеличивает теплоперенос.

Межфазное трение является пропорциональным межфазному сдвигу τ_{fi} , тогда как τ_{fi} зависит от разности скоростей двух фаз $(u_{\text{п}} - u_{\text{ж}})$, где $u_{\text{п}}$ и $u_{\text{ж}}$ являются скоростями паровой и жидкостной фазы, в соответствующих им площадях поперечного сечения $F_{\text{п}}$ и $F_{\text{ж}}$, определенные с использованием безразмерного коэффициента

$$u_{\text{ж}} = \frac{(\rho_w)(1-x)}{\rho_{\text{ж}}(1-x)}$$

$$u_{\text{п}} = \frac{(\rho_w)x}{\rho_{\text{п}}x}$$

Обычно $u_{\text{п}} \gg u_{\text{ж}}$, потому $(u_{\text{п}} - u_{\text{ж}}) \approx u_{\text{п}}$. Нормализуя скорость пара согласно этому факту,

получают коэффициент скольжения, и таким образом типичная модель безразмерного коэффициента и межфазного сдвига являются пропорциональными $(w_{пн}/w_{жк})^2$. Следовательно межфазное трение пропорционально $(w_{пн}/w_{жк})^2$. Длина волны межфазных волн должна быть определена как, линейная тейлоровская неустойчивая длина волны λ_T для неподдерживаемой конденсатной пенки в верхней части трубы, которая в свою очередь определяется следующим выражением

$$\lambda_T \left[\frac{(\rho_{жк} - \rho_{пн})g}{\sigma} \right] = 2\pi\sqrt{3}$$

Допускается, что межфазные волны имеют характеристические длины волн, для которых можно вычислить связь с толщиной пленки, тогда заменяя δ значением λ_T , межфазное трение $\Delta\delta$ описывается следующей зависимостью

$$\Delta\delta \propto \left[\frac{(\rho_{жк} - \rho_{пн})g\delta^2}{\sigma} \right]^{\gamma}$$

где выражение в скобках является безразмерным, а γ неизвестной степенью.

Поправочный коэффициент межфазного трения f_i в формуле (12) учитывает влияние парового сдвига и межфазной неустойчивости на волнообразование. Поправочный коэффициент межфазного трения f_i определяется для всех форм течения, кроме полностью стратифицированного течения, как:

$$f_i = 1 + \left(\frac{w_{пн}}{w_{жк}} \right)^{1/2} \left(\frac{(\rho_{жк} - \rho_{пн})g\delta^2}{\sigma} \right)^{1/4} \quad (15)$$

Поправочный коэффициент межфазного трения f_i стремится к единице, когда пленка становится очень тонкой (физически, трение должно быть пропорционально толщине пленки), так как f_i возрастает

вместе с коэффициентом скольжения $w_{пн}$. Кроме того f_i уменьшается с увеличением σ , поскольку поверхностное натяжение способствует разглаживанию волн. У полностью стратифицированного течения межфазные волны постепенно демпфируются, и следовательно, выше приведенное выражение записывается

$$f_i = 1 + \left(\frac{w_{пн}}{w_{жк}} \right)^{1/2} \left(\frac{(\rho_{жк} - \rho_{пн})g\delta^2}{\sigma} \right)^{1/4} \left(\frac{(\sigma w)}{(\sigma w)_{\text{крит}}} \right) \text{ для } (\sigma w) < (\sigma w)_{\text{крит}}$$

Это к тому же создает плавные вариации $\alpha(x)$ по ширине границы перехода стратифицированного потока, точно также как и для других переходных границ. Коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации α_f получают из теории конденсации Нуссельта для ламинарного течения стекающей пленки, используя при этом внутренний периметр трубы. Вместо того чтобы интегрировать его метод от верхней части трубы до слоя стратифицированной жидкости, что было бы теоретически более правильно, было найдено достаточным использовать среднее значение, для конденсации по периметру, от верха до низа при его аналитическом значении 0,728. Следовательно, α_f равняется:

$$\alpha_f = 0.728 \left[\frac{(\rho_{жк} - \rho_{пн})g\delta^2}{\mu_{жк} \Delta T} \right]^{1/4} \quad (16)$$

Альтернативная версия вышеприведенного выражения через тепловой поток будет иметь следующий вид

$$\alpha_f = 0.655 \left[\frac{(\rho_{жк} - \rho_{пн})g\delta^2}{\mu_{жк} \Delta T} \right]^{1/4} \quad (17)$$

где константа **0.655** получена из **0.728**^{4/3}.

Приведенная выше модель теплоотдачи не может быть использована при $x = 1.0$, потому что возникает деление на ноль. Поэтому когда паросодержание $x > 0.99$, то x оставляют равным **0.99**. Нижней границей применения является $x > 0.01$, однако, при этом диапазон опытных данных составляет **0.97 > x > 0.03** 0.97.

Определение режимов течения

Режимы течения, основанные на внутритрубной конденсационной модели теплоотдачи, определяются следующим образом:

1. Определяется объемное паросодержание x , используя зависимость (8).
2. Определяется локальная форма течения, при помощи карты форм течения, и необходимые скорости перехода для соответственных значений x .
3. Выясняется тип режима течения (кольцевой, наплывной, дисперсный, стратифицировано-волновой или стратифицированный):

- если течение кольцевое или наплывное, или дисперсное, тогда $\theta = 0$, α_f определяется по (13), а $\alpha(x) = \alpha_{жк}$ по (6), где δ получено путем решения (14), а f_i из (15);

- если течение стратифицировано-волновое, то θ и вычисляются, используя зависимости (12) и (11),

после чего α_k и α_f вычисляются по зависимостям (13) и (16), или (17), и в конце определяется $\alpha_{(6)}$ по (6), где δ получено путем решения (14), а f_i из (15);

- если течение полностью стратифицированное, то $\theta = \theta_{\text{strat}}$ и определяется по (12), после чего α_k и α_f вычисляются по (13) и (16), или (17), и в конце определяется $\alpha_{(6)}$ по (6), где δ получено путем решения (14), а f_i из (15).

Выводы

1. Анализ режимов течения разных авторов показал, что существует несогласованность между ними, влияющая на определение значения коэффициента теплоотдачи при разных режимах течения и приводящая к погрешности при сравнении расчетных зависимостей по теплообмену.

2. Предложен механизм определения режимов течения, основанных на внутритрубной конденсационной модели теплоотдачи.

3. Представленный анализ свидетельствует о необходимости дальнейшего проведения исследований процессов гидродинамики и конденсации внутри труб, и разработки методики расчета теплоотдачи, корректно учитывающей влияние режимов течения потока на процессы передачи теплоты.

Литература

1. Palen J.W., Breber G. and Taborek K.. Prediction of Flow Regimes in Horizontal Tube-Side Condensation. Heat Transfer Engineering. – 1979. – Vol. 1. – 2. – P. 47–57.
2. Chaddock J.B. Film Condensation of Vapors in Horizontal Tubes. Refrig. Engng. 1957. – 65. – P. 36–95.
3. Chato J.C. Laminar Condensation inside Horizontal and Inclined Tubes. ASHRAE J. – 1962. – 4. – P. 52–60.
4. Jaster H., Kosky P.G. Condensation Heat Transfer in a Mixed Flow Regime. Int. J. Heat Mass Transfer. – 1976. – 19. – P. 95–99.
5. Zivi S.M. Estimation of Steady-State Steam Void-Fraction by Means of the Principle of Minimum Entropy Generation. J. Heat Transfer. – 1964. – 86. – P. 247–252.
6. Akers W.W., Deans H.A., Crosser O.K. Condensation Heat Transfer within Horizontal Tubes. Chem. Eng. Prog. Symp. Ser. – 1959. – 55. – P. 171–176.
7. Shah M.M. A General Correlation for Heat Transfer during Film Condensation inside of Pipes. Int. J. Heat Mass Transfer. – 1979. – 22. – P. 547–556.
8. Thome J.R. Condensation, Boiling and Evaporation of Fluorocarbon and Other Refrigerants: A State-of-the-Art Review, ARI Technical Report, Air-Conditioning and Refrigeration Institute, Arlington, VA 22203-1627. – 1998.
9. Dobson M.K., Chato J.C. Condensation in Smooth Horizontal Tubes. – J. Heat Transfer. – 1998 – 120. – 1. – P. 193–213.
10. Soliman H.M. On the Annular-to-Wavy Flow Pattern Transition during Condensation inside Horizontal Tubes. – The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 1982 – 60. – P. 475–481.
11. Cavallini A., Doretti L., Klammsteiner N., Longo G.A., Rossetto L. Condensation of New Refrigerants inside Smooth and Enhanced Tubes. – Proc. 19 international Congress of Refrigeration. – 1995. – 1. – P. 105–114.
12. Tang. Empirical Study of New Refrigerant Flow Condensation inside Horizontal Smooth and Micro-Fin Tubes. – Ph.D. Thesis University of Maryland. – 1997.
13. Cavallini A., Censi G., Del Gol D., Doretti L., Longo G.A., Rossetto L. Experimental Investigation on Condensation Heat Transfer and Pressure Drop of New HFC Refrigerants (R134a, R125, R32, R410A, R236ea). – Int. J. Refrig. – 2001 – 24. – P. 73–87.
14. El Hajal J., Thome J.R., Cavallini A. Condensation in Horizontal Tubes. – Part 1: Two-Phase Flow Pattern Map, Int. J. Heat Mass Transfer. – 2003. – 46. – P. 3349–3363.
15. Kattan N., Thome J.R., Favrat, D. Flow Boiling in Horizontal Tubes. – Part 3: Development of a New Heat Transfer Model Based on Flow Patterns. Heat Transfer. – 1998. – 120. – 1. – P. 156–165.
16. Rouhani S.Z., Axelson E. Calculation of Void Volume Fraction in the Subcooled and Quality Boiling Regions, International Journal of Heat Mass Transfer. – 1970. – 13. – P. 383–393.
17. Biberg D. An explicit approximation for the wetted angle in two-phase stratified pipe flow. – Canadian J. Chemical Engineering. – 1999 – 77. – P. 1221–1224.
18. Dittus E.J., Boelter L.M.K. Publications on Engineering. – Univ. California. – 1930 – 2. – P. 443.

Рецензія/Peer review : 27.9.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : д.т.н. проф.. Троцишин І.В.

УДК 541.64.539.3

А.В. ВОЗНЯК, А.О. ВОЗНЯК

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, Кривий Ріг

КРИХКО-ПЛАСТИЧНИЙ ПЕРЕХІД В ПОЛІЛАКТИДІ, ОБУМОВЛЕНИЙ ДЕФОРМАЦІЄЮ ЗСУВУ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ, ВИЩИХ ЗА ТЕМПЕРАТУРУ СКЛУВАННЯ

На прикладі полілактиду (ПЛА) досліджено можливості формування крихко-пластичного переходу в аморфних стеклах при їх механічному омолодженні методом екструзії в умовах високих температур (вище за температуру склування) і деформації зсуву. Встановлено, що пластичність механічно омолодженого ПЛА обумовлена формуванням в його структурі смуг зсуву, які сприяють процесу генерування крейзів, гальмують, блокують і змінюють напрям їх розвитку. Роль смуг зсуву в розвитку крейзів, а також їх взаємодія при деформації вивчена за допомогою *in-situ* випробувань на розтягуванні в СЕМ камері. Показано, що деформація при розриві збільшується з 5,2 % до 17,2 %, модуль пружності підвищується з 1,95 ГПа до 2,11 ГПа, а напруження при розриві зменшується з 43 МПа до 38 МПа.

Ключові слова: смуга зсуву, крейзинг, *in-situ* випробування на розтягуванні в СЕМ експериментах, полілактид, механічне омолодження.

A.V. VOZNYAK, A.O. WOZNIAK

Donetsk National University of Economics and Trade named M. Tugan-Baranovsky, Krivoy Rog, Ukraine

THE BRITTLE-DUCTILE TRANSITION IN POLY LACTIDE CAUSED BY THE SHEAR DEFORMATION AT TEMPERATURES ABOVE THE GLASS TRANSITION TEMPERATURE

By the example of polylactide (PLA), the possibility of the formation of brittle-ductile transition in amorphous glasses at mechanical rejuvenation by extrusion at high temperatures (above the glass transition temperature) and shear deformation has been investigated. It has been established that the ductility of the mechanically rejuvenated PLA caused by the shear bands formation that contribute to the ductility by blocking, initiating and diffusing typical craze growth. The role of shear bands in crazing development and their mutual interaction under uniaxial tension for PLA was investigated by *in-situ* tensile experiments in SEM chamber. It was shown that the strain at break increased from 5,2% to 17,2%, Young modulus increased from 1,95 GPa to 2,11 GPa, and the stress at break decreased from 43 MPa to 38 MPa.

Keywords: shear band, crazing, *in-situ* tensile testing in the SEM experiments, polylactide, mechanical rejuvenation

Вступ

Останнім часом значна увага приділяється склоподібним полімерам, які виробляються на основі відновлюваних природних ресурсів. Серед них полілактид (ПЛА), що має високу жорсткість і міцність, є одним з найбільш перспективних кандидатів для заміщення полімерів, отриманих з нафтохімічної сировини, в різних галузях таких, як упаковка [1], текстиль [2], автомобільна промисловість [3] і т. ін. Крім того, внаслідок своєї нетоксичності, біодеградуванню і біосумісності ПЛА може розглядатися як перспективний матеріал для біомедичних застосувань [4].

Проте, основним недоліком ПЛА є його крихкість при кімнатній температурі, яка пов'язана з активацією механізму крейзинга [5]. Останнє обмежує масштабне застосування, а також є предметом численних наукових досліджень.

Вирішення проблеми крихкості склоподібних полімерів досягається шляхом зміни параметрів молекулярної сітки, зокрема, підвищенням молекулярної маси [6], зшиванням макромолекул [7, 8], створенням розгалуженої структури і зменшенням полідисперсності [9, 10].

Збільшення пластичності полімерів може також досягатися за рахунок зміни характеру розподілу внутрішніх напружень. Для цих цілей використовують введення гумових наповнювачів або здійснюють пластифікацію полімерів шляхом утворення пор [11, 12]. В результаті, збільшення змісту наповнювача і, отже, скорочення товщини шару полімерної матриці між частками наповнювача призводить до зміни механізму деформації від крейзинга до зсуву.

Процес механічного омолодження полімерних стеклок шляхом кручення або прокатки також сприяє зростанню пластичності за рахунок ускладнення процесу локалізації деформації при подальших механічних і ударних випробуваннях [13–15]. Проте, внаслідок релаксації вільного об'єму, ефект механічного омолодження носить тимчасовий характер.

Слід відмітити, що основною стратегією, що лежить в основі усіх вище згаданих підходів, є реалізація вимоги, щоб границя плинності при зсуві була менше, ніж напруження, при якому починається розвиток крейзів. У випадках, коли цього неможливо досягти, напруження, при якому починається розвиток крейзів, має бути збільшено якомога більше. Це призводить до того, що застосування таких підходів викликає покращення пластичності і ударної в'язкості, але значно знижує міцність і жорсткість в порівнянні з чистим гомополімером.

У представленій роботі розглядається можливість механічного омолодження ПЛА при екструзії в умовах високих температур (вище температури склування) і деформації зсуву. Крім того, робота спрямована на вивчення механізмів пластичної деформації, що беруть участь у процесі пластичної деформації ПЛА. З цією метою були виконані *in-situ* випробування на розтягування усередині СЕМ камери вихідного і

підданого екструзії ПЛА.

Експериментальна частина

2.1. Матеріали

В якості матеріалу для досліджень використали полілактид PLA 4060d NatureWorks LLC (Minnetonka, MN), густиною $1,24 \text{ г/см}^3$, середньою молярною масою M_w 120 кг/моль і полідисперсністю $M_w/M_n = 1,4$. Вміст D-лактиду і вміст L-лактиду були 18 і 82 мол.% відповідно. Наявність 18 мол.% D-лактиду запобігало кристалізації ПЛА в процесі термічної обробки.

2.2. Виготовлення зразків

Перед екструзією, гранули ПЛА піддавали вакуумній сушці впродовж 24 годин при $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Використовували також 0,2 мас.% Irganox 1010 для запобігання термоокислювальної деструкції і 0,2 мас.% металодеактиватора Irganox MD 1024u для додаткової дезактивації каталізаторів. Для екструзії використали одношнековий екструдер (Plasti Corder PLV151, Vrabender; $D = 19,5 \text{ мм}$, $L/D = 25$, 20 обертів за хвилину), який був забезпечений щільною філь'єрою (ширина – 12 мм, товщина – 0,8 мм, довжина – 100 мм). Температури в зонах були 170, 150 і $135 \text{ }^\circ\text{C}$ відповідно при переміщенні матеріалу з секції подання до філь'єри. Параметри процесу екструзії через щільну філь'єру склали: температура – $130 \text{ }^\circ\text{C}$, тиск – 65,0 МПа. Для вивчення властивостей вихідного ПЛА, гранули піддавали прямому пресуванню при $170 \text{ }^\circ\text{C}$ впродовж 3 хвилин, і подальшому охолодженню між товстими металевими блоками до кімнатної температури.

2.3. Механічні випробування на розтягування

Міцнісні іспити проводилися відповідно до ISO 527-2 стандарту. Зразки з розрахунковою довжиною 25 мм і шириною 5 мм (ISO 527-2, тип 1ba) вирізували з вихідного і екструдованого ПЛА. Випробування проводилися при кімнатній температурі ($T_d = 22 \text{ }^\circ\text{C}$) з використанням універсальної випробувальної машини Instron, модель 5582. Для виміру деформації використовувався екстензометр. Швидкість траверси була постійною і складала $1,25 \text{ мм/хв.}$, тобто швидкість деформації була $5\%/хв.$

2.4. Диференційна скануюча калориметрія

Термічну поведінку зразків визначали за допомогою диференціального скануючого калориметра DSC 2920 (TA Instruments). Швидкість нагріву складала 10°C/хв. Зразки масою 7-8 мг вирізували з вихідного і екструдованого ПЛА.

2.5. Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ)

Зразки для СЕМ досліджень покривали шаром вуглецю шляхом іонного розпилення (JEOLJFC - 1200), а потім досліджували за допомогою скануючого електронного мікроскопа JEOL JSM – 5500 LV. Зразки для in-situ СЕМ спостереження були підготовлені відповідно до стандарту ASTM D638. Веслоподібні зразки з розрахунковою довжиною 9,53 мм і шириною 3,18 мм, вирізували з вихідного і екструдованого ПЛА. In-situ спостереження іспитів на розтягування були проведені в JEOL JSM-5500 LV, який містив мікроприставку для проведення механічних випробувань Gatan MT200 з максимальним навантаженням 200 Н при кімнатній температурі. Прискорююча напруга була 15 кВ. Швидкість деформації складала $0,2 \text{ мм/хв.}$ Під час розтягування, на певних стадіях деформації, процес розтягування призупинявся і виконувалось СЕМ фотографування. Слід зазначити, що під час таких пауз мала місце невелика релаксація напружень.

Результати і обговорення

На рис.1 показані типові приклади відповідних залежностей напруження-деформація, визначених при випробуваннях на одновісне розтягування ПЛА до і після екструзії. У разі вихідного ПЛА крихке руйнування спостерігається вже в пружній області, нижче макроскопічної границі плинності. Для екструдованого ПЛА спостерігається поява шийки після досягнення границі плинності. Екструзія обумовлює збільшення деформації при розриві з 5,2 % до 17,2 %. Крім того, екструзія викликає невелике зростання модуля пружності з 1,95 ГПа до 2,11 ГПа. Проте, напруження при розриві у разі екструдованого ПЛА (38,0 МПа) дещо зменшується в порівнянні з вихідним ПЛА (43,0 МПа).

Як видно має місце два різні варіанти механічної поведінки ПЛА. З одного боку, при $T_d = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ вихідний ПЛА проявляє крихке руйнування. З іншого боку, при $T_d = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, екструдований ПЛА демонструє пластичне руйнування. Таким чином, екструзія обумовлює перехід від крихкого до пластичного руйнування. Такий перехід також спостерігався для ПЛА при підвищенні температури деформації (трохи нижче або близько до температури склування T_g) при випробуваннях на розтягування [16].

Відомо, що у разі склоподібних полімерів [17] крихке руйнування пов'язане з розвитком тріщиноподібних дефектів, так званих крейзів (мікротріщин). На відміну від тріщин (макротріщин), крейзи здатні нести навантаження, тому що їх дві поверхні з'єднуються багаточисельними невеликими фібрилами (рис. 2). Тріщини формуються, коли руйнуються фібрили у середині крейзів. Руйнування фібрил обумовлене високим локальним напруженням, а розвиток тріщин призводить до подальшого макроскопічного руйнування матеріалу. Крейзинг, проте, за певних умов може являти собою процес пластичної деформації.

Це відбувається, наприклад, при зародженні і розвитку великої кількості крейзів, які сприяють досягненню значної величини пластичної деформації [17]. Інтенсивне крейзоутворення також сприяє поліпшенню ударної міцності склоподібних полімерів [17].

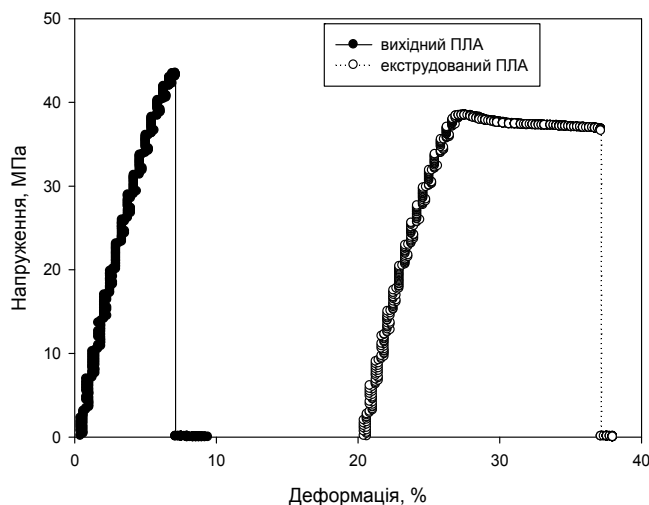


Рис. 1. Криві напруження-деформація, визначені при випробуваннях на одніє розтягування ПЛА до і після екструзії

Слід зазначити, що в однорідних склоподібних полімерах крейзи, як правило, зароджуються в невеликій кількості на поверхні матеріалу, а потім трансформуються в тріщини, викликаючи подальше макроскопічне руйнування. Деякі аморфні, а також кристалічні полімери [18] можуть демонструвати перехід від крихкого до пластичного руйнування, який обумовлений можливістю заміни механізму деформації, пов'язаного з крейзингом, на механізм формування смуг зсуву.

In-situ випробування на розтягування в СЕМ проводилися з метою вивчення еволюції процесу крейзоутворення, а також взаємодії двох механізмів деформації: крейзинга і формування смуг зсуву у разі вихідного і екструдованого ПЛА.

Вихідний ПЛА демонструє досить крихке руйнування з вузькою локалізацією деформації при розтягуванні до границі плинності (рис.3). Видно, що формується один крейз, який перетворюється в тріщину, після чого зразок руйнується. Утворення крейза ще в пружній області (до моменту пластичної течії

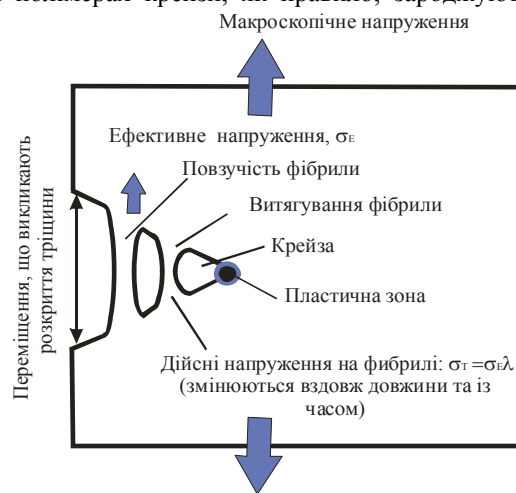


Рис. 2. Схема поширення крейзів та переходу креса-тріщина. Поширення йде зліва направо

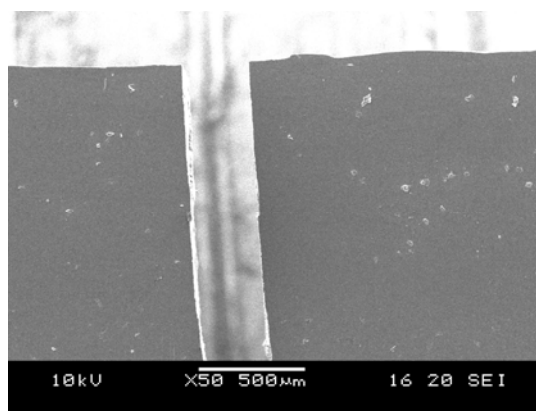
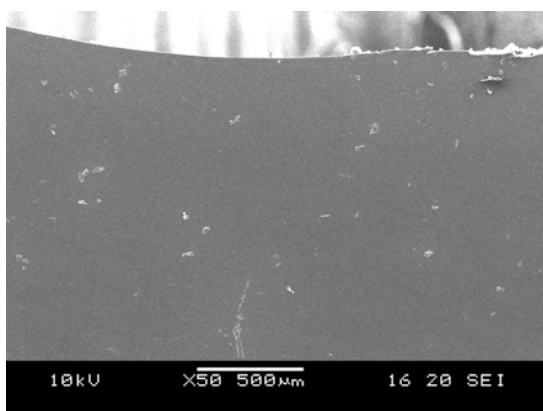


Рис. 3. In-situ SEM спостереження утворення тріщини в ПЛА внаслідок розвитку крейзи, яка знаходиться на краю зразка (в нижній частині лівого зображення)

матеріалу) обумовлено швидким переходом крейза в тріщину. Відомо, що у разі формування невеликої кількості крейзів, фібрили не обумовлюють ефективну здатність полімеру до перенесення навантажень. Зразок руйнується, як тільки фібрили досягають свого критичного подовження, тобто, коли

границя плинності виявляється вища за критичне напруження руйнування фібрил. Той факт, що крейзи у вихідному ПЛА при кімнатній температурі зароджуються до моменту досягнення граници плинності, відзначався раніше Stoclet та ін. [17] і використовувався для пояснення, чому не спостерігається границя плинності.

Механічна поведінка матеріалу змінюється, якщо матеріал піддається механічному омолодженню шляхом екструзії в умовах деформації зсуву і високих температур (вище T_c). Припущення про використання високої (вище T_c) температури при екструзії через філь'єру ґрунтувалось на концепції Крамега, згідно з якою склоподібні полімери потенційно мають два переходи крейзинг-зсув [19]. Оскільки крейзинг пов'язаний з крихким руйнуванням, а зсув – з пластичним руйнуванням, ці переходи були позначені, як переходи від крихкого руйнування до пластичного (КП). Нижній КП-перехід реалізується при низьких температурах/високих швидкостях деформації і супроводжується розривом ланцюгів з подальшою трансформацією крейзів в тріщини. Верхній КП-перехід відбувається при високих температурах/низьких швидкостях деформації і керується процесом розплування ланцюгів. Існування двох КП-переходів і проміжного плато, де домінуючим механізмом деформації є зсув, було експериментально виявлено Donald та ін. [20].

Головна відмінність між нижнім і верхнім КП-переходами полягає в різній реакції макромолекул на створення внутрішньої поверхні за певних умов деформації. У разі нижнього КП-переходу деформація зсуву неможлива, тому що границя плинності при низьких температурах перевищує напруження, при якому ініціюється розвиток крейзів. З іншого боку, відсутність термоактивованої рептації запобігає макромолекули від розплування, отже, внутрішня поверхня створюється тільки шляхом розриву ланцюгів. При верхньому КП-переході, здатність макромолекул до рептації дозволяє створювати внутрішню поверхню. Оскільки розплування вимагає рухливості сегментів молекулярного ланцюга між зачепленнями, верхній КП-перехід реалізовуватиметься при температурах вище T_c .

Характерною особливістю структури ПЛА після екструзії є формування смуг зсуву. Сліди смуг зсуву добре помітні на СЕМ зображеннях поверхні екструдату, як показано на рис.4. Видно, що смуги зсуву рівномірно розподілені по об'єму зразка і орієнтуються переважно під кутами $\pm 30^\circ$ по відношенню до напрямку екструзії.

Мікрофотографії, які представлені на рис. 5, демонструють еволюцію структури екструдованого ПЛА, підданого іспитам на розтягування. Як згадувалося вище, вихідна мікроструктура складається з

Зі збільшенням деформації крейзи стають усе більш чисельними. Вони мають тенденцію з'єднуватися і утворювати широкі деформаційні зони. Крейзи після формування зберігають свою товщину. При подальшій деформації формуються нові крейзи, які розширюють зону локалізації деформації. В результаті більший об'єм полімеру бере участь у деформації.

Смуги зсуву не активні аж до руйнування (до деформації 0,17). Їх ефект полягає в гальмуванні або ініціюванні нових крейзів. Як видно на рис.6, смуги зсуву в основному затуплюють кінці крейзів, змінюють напрям, блокують і гальмують розвиток крейзів, а також сприяють ініціюванню нових крейзів. Смуги зсуву можуть також зупинити поширення крейзів і стабілізувати їх. Крім того, смуги зсуву можуть виступати центрами нуклеації нових крейзів. Присутність смуг зсуву сприяє більш легкому зсуву між крейзами, що може бути відповідальним за спостережувані ефекти пластифікації, а також незначного зменшення ПЛА, як показано на рис. 1. Підвищення жорсткості може бути пов'язане з орієнтацією ПЛА в процесі екструзії. Слід зазначити, що смуги зсуву не зникають і не змінюють напрям орієнтації при тривалій дії (зразки зберігалися більше 5-и місяців) при стандартних температурах і тиску довкілля.

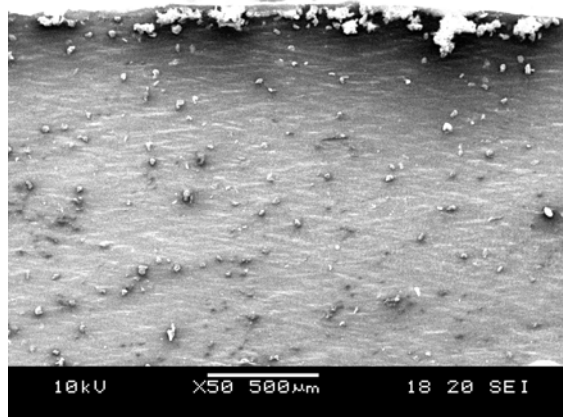


Рис. 4. СЕМ-зображення поверхні екструдованого ПЛА. Напрямок екструзія горизонтальний. Смуги зсуву орієнтуються під кутами $\pm 30^\circ$ по відношенню до напрямку екструзії

Склування екструдованого ПЛА, як і у разі вихідного ПЛА, відбувається при температурі, близькій до 60°C . При цьому, проте, спостерігається різкий сигнал релаксації ентальпії, викликаний орієнтацією і індукованими смугами зсуву. При цьому ПЛА залишається аморфним і не кристалізується після екструзії.

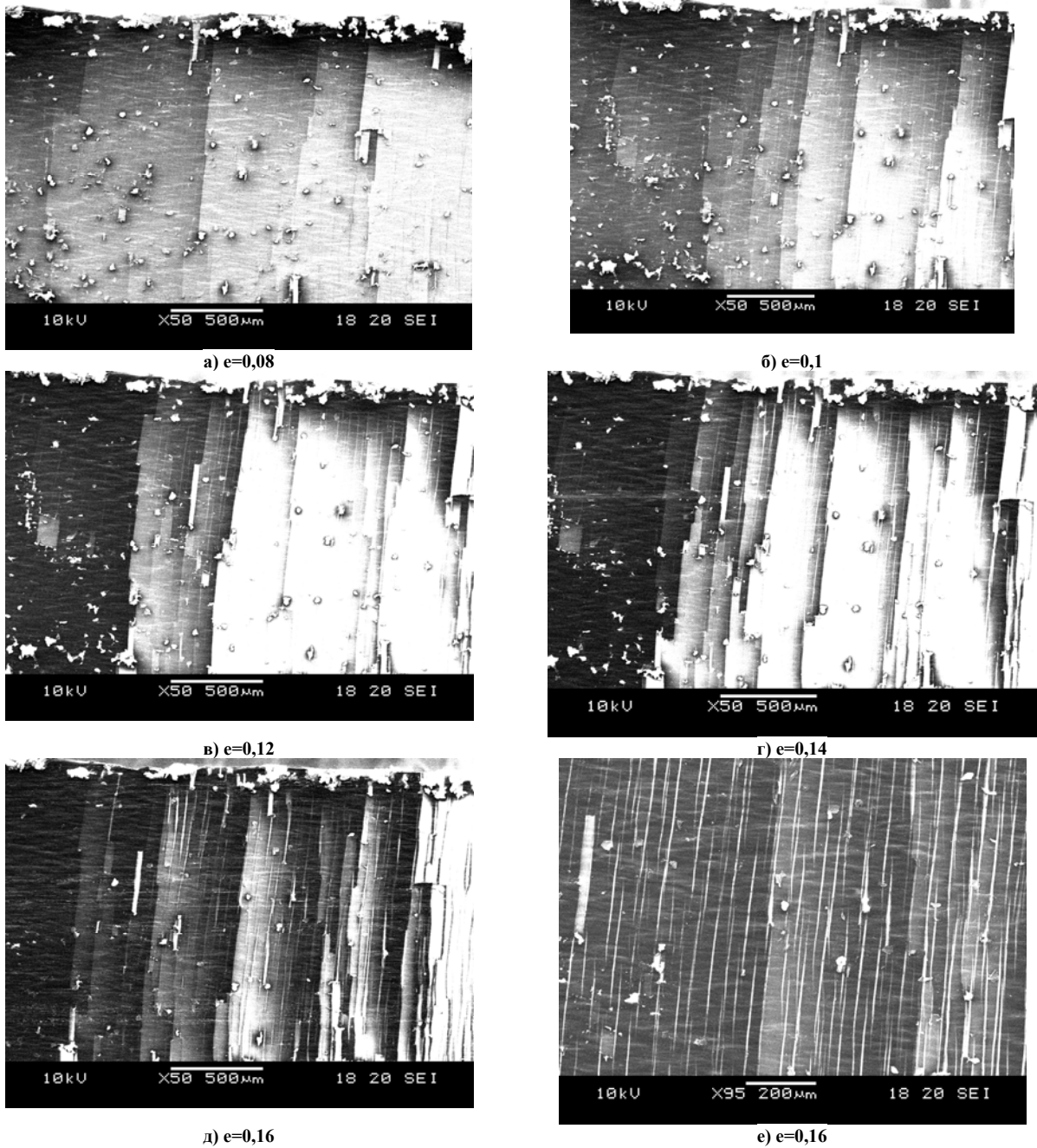


Рис. 5. In-situ СЕМ мікрофотографії структурної еволюції екструдованого PLA під час випробування на розтяг. Відповідні деформації: а) 0,08, б) 0,1, в) 0,12, г) 0,14, д, е) 0,16

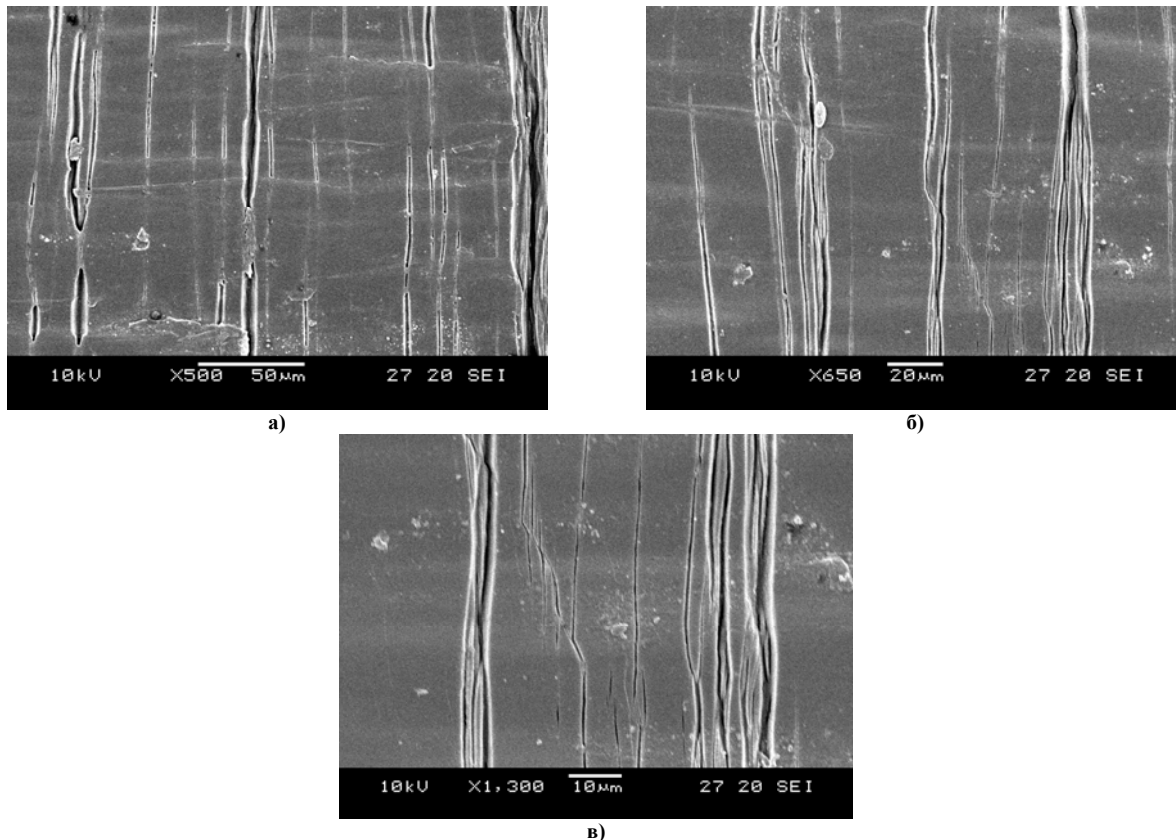


Рис. 6. Приклади, як смуги зсуву гальмують, блокують і змінюють напрям розвитку крейзів в ПЛА екструдатах

Висновки

Таким чином, на прикладі ПЛА показано можливість механічного омолодження полімерних стекол в умовах високих температур і деформації зсуву, коли реалізується верхній КП-перехід. Встановлено, що пластифікація в умовах механічного омолодження пов'язана з формуванням в структурі ПЛА смуг зсуву. Виявлено механізми взаємодії смуг зсуву і крейзів в структурі склоподібного ПЛА в процесі його деформації. Показано, що смуги зсуву обумовлюють нуклеацію великої кількості крейзів, а також сприяють гальмуванню їх подальшого розвитку, шляхом затуплення кінців крейзів, зміни напрямку, блокування і гальмування їх розвитку. Як результат, спостерігається зсувний характер пластичної течії ПЛА (спостерігається формування шийки), деформація при розриві збільшується в 3,3 рази при цьому міцність і жорсткість ПЛА практично не змінюються в порівнянні з вихідним ПЛА.

Подяка (Acknowledgement)

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф71/20997.

Література

1. Lagarón J.M., López-Rubio A., Fabra M.J. Bio-based Packaging. *J Appl Polym Sci* 2015; 133(2): 42971
2. Mukopadhyay S. Biodegradable textile yarns. In: Alagirusamy R, Das A, editors. *Technical textile yarns: industrial and medical applications*. Cambridge: Woodhead Publ Ltd, 2010. p. 534–67.
3. Notta-Cuvier D., Murariu M., Odent J., Delille R., Bouzouita A., Raquez J.M., Lauro F., Dubois P. Tailoring Polylactide Properties for Automotive Applications: Effects of Co-Addition of Halloysite Nanotubes and Selected plasticizer. *Macromol Mater Eng* 2015; 300(7): 684–98.
4. Gupta B., Revagade N., Hilborn J. Poly(lactic acid) fiber: An overview. *Prog Polym Sci* 2007; 32(4): 455–82.
5. Kulinski Z., Piorkowska E. Crystallization, structure and properties of plasticized poly(L-lactide). *Polymer* 2005; 46(23): 10290–300.
6. Renouf-Glauser A.C., Rose J., Farrar D.F., Cameron R.E. The effect of crystallinity on the deformation mechanism and bulk mechanical properties of PLLA. *Biomaterials* 2005; 26(29): 5771–82.
7. Rahmat M., Ghasemi I., Karrabi M., Azizi H., Zandi M., Riahinezhad M. Silane crosslinking of poly(lactic acid): The effect of simultaneous hydrolytic degradation. *eXPRESS Polym Lett* 2015; 9(12): 1133–41.
8. Yang S., Wu Z., Yang W., Yang M. Thermal and mechanical properties of chemical crosslinked polylactide (PLA). *Polym Testing* 2008; 27(8): 957–63.

9. Nouri S., Dubois C., Lafleur P.G. Effect of chemical and physical branching on rheological behavior of polylactide. *J Rheol* 2015; 59(4): 1045–64.
10. Bhardwaj R., Mohanty A.K. Modification of brittle polylactide by novel hyperbranched polymer-based nanostructures. *Biomacromolecules* 2007; 8(8): 2476–84.
11. Rasal R.M., Janorkar A.V., Hir D.E. Poly(lactic acid) modifications. *Prog Polym Sci* 2010; 35(3): 338–56.
12. Petchwattana N., Covavisaruch S., Euapanthasate N. Mechanical and thermal behaviors of the acrylic based core-shell rubber modified poly(lactic acid). *Adv Mater Res* 2011; 306-307: 340-43.
13. Struik L.C.E. On the rejuvenation of physically aged polymers by mechanical deformation. *Polymer* 1997; 38 (16): 4053-57.
14. Van Melick H.G.H, Govaert L.E., Raas B., Nauta W.J., Meijer H.E.H. Kinetics of ageing and embrittlement of mechanically rejuvenated polystyrene. *Polymer* 2003; 44(4): 1171-79.
15. Van Melick H.G.H., Govaert L.E., Meijer H.E.H. Localisation phenomena in glassy polymers: influence of thermal and mechanical history. *Polymer* 2003; 44 (12): 3579-91.
16. Stoclet G., Lefebvre J.M., Séguéla R., Vanmansart C. In-situ SAXS study of the plastic deformation behavior of polylactide upon cold-drawing. *Polymer* 2014; 55(7): 1817-28.
17. Deblieck R.A.C, Van Beek D.J.M, Remerie K., Ward I.M. Failure mechanisms in polyolefines: the role of crazing, shear yielding and the entanglement network. *Polymer* 2011; 52(14): 2979-90.
18. Petchwattana N., Covavisaruch S., Euapanthasate N. Mechanical and thermal behaviors of the acrylic based core-shell rubber modified poly(lactic acid). *Adv Mater Res* 2011; 306-307: 340-43.
19. Kramer E., Berger L. Fundamental processes of craze growth and fracture. *Adv Polym Sci*; 1990:91-2.
20. Donald A.M. The effect of temperature on crazing mechanisms in polystyrene. *J Mater Sci* 1985;20:2630-8.

Рецензія/Peer review : 12.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф.. Хорольський В.П.

УДК 677.047

Д.С. МАТВЕЙЦОВА, С.А. КАРВАН, О.А. ПАРАСКА
Хмельницький національний університет**ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА АГРЕГАТИВНУ СТІЙКІСТЬ СУСПЕНЗІЇ НА ОСНОВІ НАНОЧАСТИНОК СИЛІЦІЙ ДІОКСИДУ**

У дослідженні виконано оцінку агрегативної стійкості суспензій силіцій діоксиду та концентрації дисперсної фази у водних розчинах під впливом поверхнево-активних речовин різної природи. Наведено пояснення схильності системи до агрегації та деагрегації під час використання колоїдно-хімічного підходу і наведено імовірні механізми стабілізації за рахунок адсорбції поверхнево-активних речовин на поверхні наночастинок. У висновках дано рекомендації щодо кількості поверхнево-активних речовин у суспензії для мінімізації агрегації наночастинок силіцій діоксиду.

Ключові слова: наносуспензія, нанотехнології, агрегація, деагрегація, наночастинки, поверхнево-активні речовини.

D.S. MATVEITSOVA, S.A. KARVAN, O.A. PARASKA
Khmelnitskyi National University**STUDY OF INFLUENCE OF SURFACTANTS ON STABILITY AGGREGATION SUSPENSION BASED NANOPARTICLES SILICON DIOXIDE**

In research assessed the aggregative stability of suspensions silicon dioxide and the concentration of the dispersed phase in aqueous solutions of surfactants of different nature. Explains how the propensity of the system to the aggregation and unaggregation while used colloid-chemical approach and showed the main mechanisms of stabilization by adsorption of surfactants on the surface of nanoparticles. In the conclusions are given recommendations about the number of surfactants in suspension to minimize aggregation of nanoparticles of silicon dioxide.

Keywords: nanosuspension, nanotechnology, aggregation, unaggregation, nanoparticles, surfactants.

Вступ

Наносуспензії – колоїдні розчини, як правило, на основі наночастинок оксидів у водному або органічному розчинниках [1].

Дослідження властивостей систем, які містять наночастинки становить інтерес як з точки зору фундаментальної науки, так і практичного їх застосування у багатьох технологічних процесах. Технологія отримання нанокомпозитів та дослідження їх властивостей є актуальними задачами та викликають підвищений інтерес дослідників до наноматеріалів. Отримання та дослідження наносуспензій являються важливим етапом в створенні композитних матеріалів та наносуспензій, які придатні для використання в текстильній промисловості у вигляді препаратів для кінцевої обробки текстильних матеріалів.

Під час отримання наносуспензій їх стабільність досягається за умови, що дисперсна фаза складається переважно з індивідуальних первинних частинок; як правило, це досягається шляхом використання висококонцентрованих суспензій. У суспензіях, де дисперсною фазою виступає SiO₂, а дисперсним середовищем – вода, можливі зміни на усіх рівнях структурної ієрархії внаслідок декількох процесів [2]: незначного і достатньо повільного розчинення поверхневого шару силіцій діоксиду; швидкої дисоціації гідроксильних груп при рН вище точки нульового заряду, що обумовлює електростатичне відштовхування; утворення подвійного електричного шару; структурування граничного шару води; формулювання сітки водородних зв'язків між частинками з участю молекул води; броунівського руху частинок; кінетичної та седиментаційної агрегації.

Згідно з вихідними характеристиками розмірів порошку SiO₂ [3], незалежно від способу та умов отримання нанодисперсної суспензії розміри колоїдних частинок будуть відрізнятися, тобто суспензія розглядається як полідисперсна система.

Постановка проблеми

Основною проблемою використання наносуспензій з метою генерації нанопокриттів на поверхні текстильних матеріалів, яка постає перед дослідниками, є рівномірне розподілення наночастинок по об'єму, їх редиспергування та запобігання їх повторній агрегації.

Агрегативна стійкість дисперсних систем, яка визначається їх здатністю до збереження ступеню дисперсності вихідних частинок у часі, а також її втрата (коагуляція) є одною з фундаментальних проблем у колоїдній хімії. Основні результати досягнуті у вирішенні цієї проблеми пов'язані з розвитком теорії агрегативної стійкості ліофобних колоїдів Дерягіна-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО) [4]. Згідно з цією теорією, ліофобні дисперсні системи, незважаючи на їх термодинамічну нестійкість, можуть бути стійкими кінетично, тобто знаходитися у метастабільному стані з виключно низькою (майже нульовою) швидкістю коагуляції. Така стійкість у кінетичному сенсі забезпечується за рахунок переваги далекодіючих

поверхневих сил відштовхування дисперсних частинок у дисперсному середовищі над молекулярними силами їх протягування.

Необхідно звернути увагу на складність отримання стабільних рівномірно-розподілених наночастинок по об'єму суспензій. Основною проблемою є явище агрегації наночастинок, що є закономірним, адже при цьому зменшується поверхня розділу фаз і відповідно знижується поверхнева вільна енергія частинок дисперсної фази. З метою запобігання агрегації та зменшення розмірів агрегатів наночастинок використовують спеціальні добавки – диспергатори. Одними із самих ефективних диспергаторів є поверхнево-активні речовини (ПАР). Адсорбуючись на межі розподілу «рідина – тверда поверхня», ПАР знижують поверхневу енергію диспергованих в рідкому середовищі наночастинок, чим запобігають їх агрегації. Адсорбція ПАР на поверхні наночастинок призводить до стабілізації суспензій, спричиняючи збільшення агрегативної та седиментаційної стійкості [5, 2]. Стабілізація може проходити за рахунок самоорганізації ПАР на поверхні наночастинок при низьких концентраціях ПАР. Адсорбція ПАР на поверхні наночастинок призводить до стабілізації суспензій, спричиняючи збільшення агрегативної та седиментаційної стійкості [6, 7], за рахунок самоорганізації ПАР на поверхні наночастинок.

Метою досліджень ставимо експериментально визначити вплив ПАР різної природи на агрегативну стійкість суспензії на основі наночастинок силіцій діоксиду, оцінити розміри агрегатів та механізми їх формування.

Експериментальна частина

Для оцінки характерних властивостей водної суспензії SiO_2 проведено дослідження її седиментаційної та агрегативної стійкості та дисперсійний аналіз, тобто визначення розмірів частинок та їх розподіл по визначених розмірах [8].

При виконанні досліджень використано наступні речовини:

Силіцій діоксид – високодисперсний, високоактивний, аморфний, пірогенний, отриманий полум'ямним гідролізом чотири хлористого силіцію високої чистоти торгової марки Орісіл 380 (ТУ У 24.1-31695418-002:2008). Виробником нанорозмірного порошку SiO_2 надаються дані діаметрів частинок у межах від 5 нм до 40 нм [3], приймаємо їх за первинні розміри.

Катіонна ПАР – оцтовокисла сіль продукту взаємодії β -осксіетилетилендіаміну та вищих жирних кислот кокосової олії торгова назва Барвамід 2К (ТУ У 24.1-32257423-118-2005);

Аніонна ПАР – натрій додецилбензенсульфонат представляє собою суміш ізомерів натрієвих солей алкілбензенсульфонокислот торгової марки Сульфонол НП-3 (ТУ У 24.6-20257936-022:2006);

Неіоногенна ПАР – суміш складних естерів лауринової кислоти, торгова назва Твін-80 (ТУ У 24.5-25066661-004:2008);

Амфолітна ПАР – кокамідопропілбетаїн, похідне кокамиду (аміду жирних кислот кокосової олії) і бетаїнового гліцину торгової марки Бетаїн 40 (CAS: 61789-40-0, ES:263-058-8).

Для приготування суспензій спочатку готували розчини ПАР з відповідними концентраціями, а потім додавали наважку нанорозмірного порошку силіцій діоксиду. Концентрація твердої фази в усіх досліджуваних суспензіях дорівнювала 1 г/л. З метою досягнення рівноваги згідно попередньо-проведених досліджень [8], отримані суспензії перемішували з використанням електромішалки протягом 10 хвилин при швидкості перемішування 120 об/хв, після чого витримували у статичних умовах протягом 24 годин.

Агрегативну стійкість оцінювали за наступними показниками: концентрація дисперсної фази визначена з використанням фотоелектроколориметра КФК-2 за довжини хвилі 364 нм. Похибка експериментальних даних не перевищувала 9 %; середньозважений радіус частинок r , який визначався згідно методики визначення розмірів частинок, що не підлягають рівнянню Релея.

Оскільки при додаванні диспергаторів у суспензію відбувається два основних процеси: диспергування та повторна агрегація, то оцінку впливу ПАР на суспензію виконано відштовхуючись від агрегативної стійкості дисперсної фази у бікомпонентній суспензії.

Для визначення впливу кількості ПАР на агрегативну стійкість суспензії проведено дослідження у діапазоні концентрацій, які для кожної з ПАР вибиралися з урахуванням значень критичної концентрації міцелоутворення (ККМ). Значення ККМ катіонної ПАР (Барвамід 2К) відповідає концентрації 0.152 г/л [9], аніонної Сульфонол НП-3 – 0.3 г/л [10], неіоногенної Твін 80 – 0.1 г/л [11], амфолітної Бетаїн 40 – 1.06 г/л [12].

Згідно з даними, відображеними на графіку (рис. 1), концентрація наночастинок у суспензії із катіонною ПАР при концентрації 0.08 г/л призводить до зменшення концентрації наночастинок у суспензії, а подальше підвищення концентрації ПАР спричиняє прямопропорційний вплив на збільшення концентрації наночастинок у розчині. Згідно з перерахунком максимальна маса наночастинок, які залишаються у дисперсному середовищі становить 0.2294 г при концентрації стабілізатора 2 г/л, що становить 91.96 % від загального вмісту SiO_2 та більше від вмісту SiO_2 у системі $\text{SiO}_2 / \text{H}_2\text{O}$ на 75.57 %, а мінімальна – 0.0228 г/л (9.14 % від загального вмісту SiO_2) при концентрації 0.08 г/л, що на 7.25 % менше вмісту у системі $\text{SiO}_2 / \text{H}_2\text{O}$. При введенні у суспензію аніонної ПАР, усі точки лежать нижче значення концентрації SiO_2 у системі $\text{SiO}_2 / \text{H}_2\text{O}$, що свідчить про утворення агрегатів та збільшення швидкості їх осідання, отже і зменшення концентрації наночастинок у суспензії. Найнижча кількість вмісту SiO_2 спостерігається при додаванні аніонної ПАР у кількості 0.08 г/л, а маса наночастинок, які залишаються у дисперсійному середовищі в

середньому на 8 % менша у порівнянні з системою SiO₂ / H₂O. Із графіку (рис.1) видно, що введення у суспензію неіоногенної ПАР спричиняє зменшення концентрації наночастинок у розчині по відношенню до системи SiO₂ / H₂O у діапазоні концентрації ПАР від 0.08 г/л до 0.2 г/л до мінімальної маси наночастинок, які залишаються у розчині 0.0262 г. У діапазоні концентрацій від 0.4 г/л до 2 г/л неіоногенної ПАР спостерігається збільшення маси наночастинок у суспензії до 0.1229 г. Додавання амфолітної ПАР у систему свідчить про аналогічні ефекти, як при додаванні аніонної ПАР.

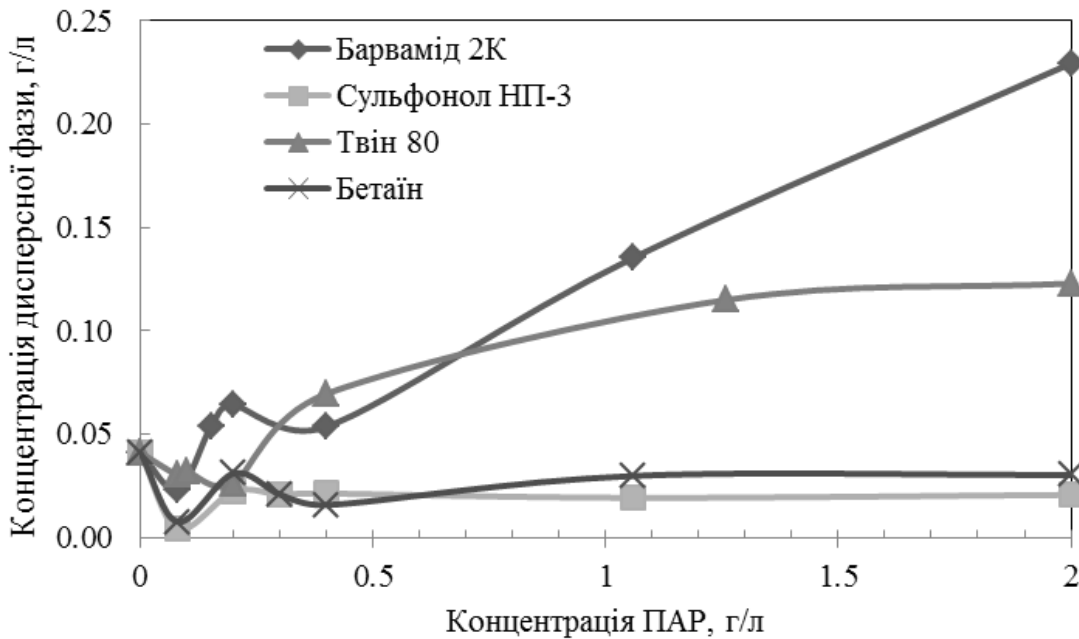


Рис. 1. Графіки залежності концентрацій дисперсної фази від концентрації ПАР

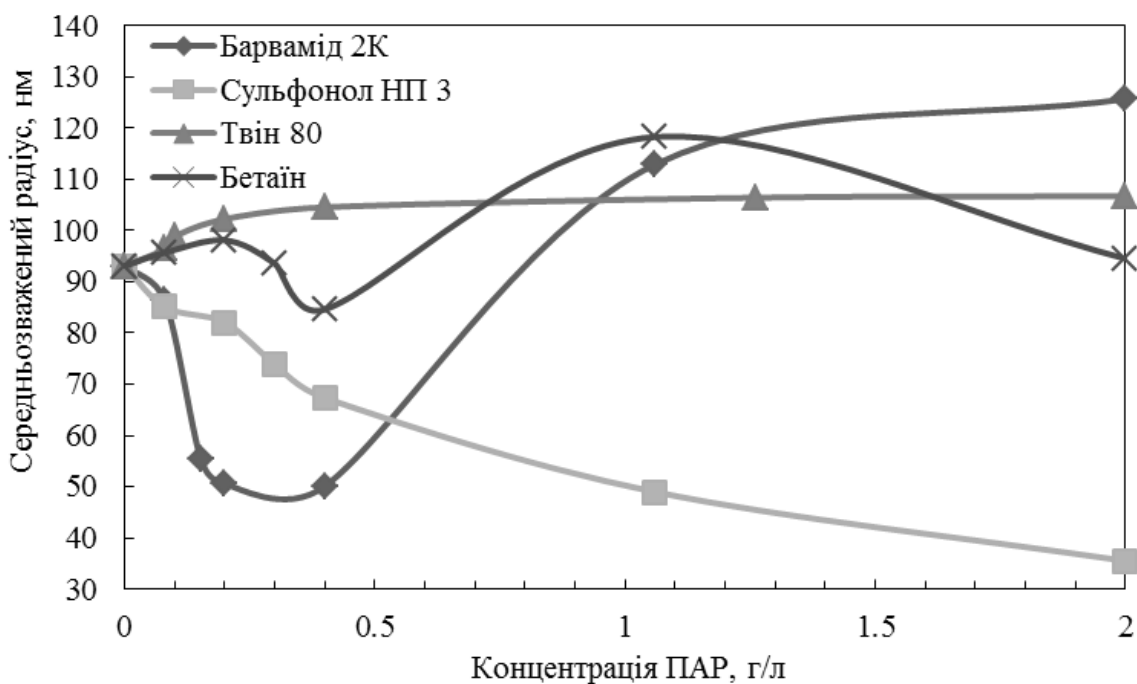


Рис. 2. Графіки залежності середньозважених радіусів агрегатів наночастинок від концентрації ПАР

Виходячи з даних наведених на графіку (рис. 2), Барвамід 2К у діапазоні концентрацій від 0.08 г/л до 0.4 г/л зі збільшенням концентрації призводить до збільшення ступеню редиспергування, а при збільшенні концентрації більше 1 г/л – до повторної агрегації. Сульфонол НП3, у свою чергу, викликає редиспергування у досліджуваному діапазоні концентрацій ПАР. Збільшення концентрації аніонної ПАР призводить до руйнування агрегатів частинок до розмірів близьких розмірам первинних наночастинок. При використанні у якості диспергатора ПАР Твін 80 відбувається агрегація наночастинок у розчині. Введення у суспензію Бетаїну 40 призводить до агрегації частинок при ККМ та неоднозначно впливає на стабільність системи при інших концентраціях.

Результати впливу аніонної ПАР Сульфонол НП-3 наведені на рис. 1 та рис. 2 пояснюються адсорбцією за рахунок самоорганізації аніонної ПАР на поверхні наночастинки. Таким чином наночастинки дисперговані в мицелярному, а не в молекулярному розчині, що узгоджується з результатами досліджень суспензій на основі наночастинки наведених у літературних даних [2, 13]. Введення у бікомпонентну суспензію ПАР катіонної та неіоногенної природи спричиняє поведінку системи за моделлю оберненої орієнтації [14, 15], яка для широкого ряду експериментів узгоджується з чотирьох етапною ізотермою адсорбції, етапи якої схематично відображено на рис. 3.

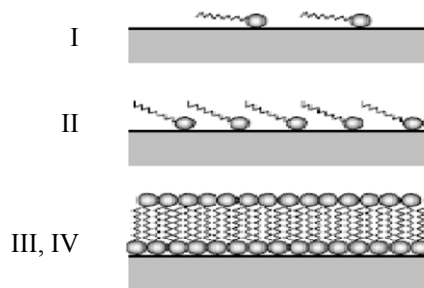


Рис. 3. Механізм адсорбції ПАР на поверхні наночастинок силіцій діоксиду

В області концентрацій, де поверхня мало охоплена, взаємодією адсорбат-адсорбат можна знехтувати та вважати адсорбцію ідеальною. Зі збільшенням охоплення поверхні молекулами ПАР взаємодія між останніми становиться суттєвою, що співпадає з початком області II. Охоплення поверхні збільшується швидкими темпами і продовжується до зникнення пустих ділянок, після чого швидкість адсорбції зменшується (область III) та залишається незмінною з підвищенням концентрації ПАР (область IV). Такий механізм адсорбції пояснює агрегативну поведінку суспензії при додаванні неіоногенної ПАР.

Проте при введенні катіонної ПАР спостерігається збільшення середньозваженого радіусу агрегатів зі збільшенням концентрації ПАР. Таку поведінку можна пояснити моделлю двох ступеневої адсорбції [16], де у першій області (рис. 3) також проходить адсорбція окремих молекул ПАР, а у другій, при концентрації ПАР вище ККМ відбувається утворення сферичних мицел в результаті взаємодії між сусідніми адсорбованими молекулами.

Агрегування наночастинок силіцій діоксиду у суспензії з присутністю амфолітної ПАР пояснюється феноменом під назвою «диспергування-флокуляція-редиспергування». Зі збільшенням концентрації ПАР до значення ККМ спостерігається збільшення агрегатів до 115 нм у радіусі, а потім їх зменшення, це пояснюється тим, що при низькій концентрації ПАР основною рушійною силою являється електростатичне притягування між молекулами ПАР і зарядженою поверхнею наночастинок силіцій діоксиду. Проте, у концентрованих розчинах заряджена поверхня спричиняє виникнення міжмолекулярних взаємодій між молекулами ПАР на межі вода-наночастинка, реверсія заряду поверхні спричиняє диспергування частинок.

Висновки

Для поверхневої модифікації текстильних матеріалів з використанням нанотехнологій необхідною умовою є збереження розмірів силіцій діоксиду у наномасштабі, тобто від 10 нм до 100 нм. Проведені дослідження показали, що з метою стабілізації наносуспензії доцільно використовувати аніонну ПАР – Сульфонол НП-3, введення якої у суспензію спричиняє руйнування агрегатів у водному розчині до розмірів близьких розмірам первинних наночастинок, рекомендована концентрація ПАР становить 2 г/л.

Використання катіонної ПАР Барвамід 2К, неіоногенної ПАР Твін 80, та амфолітної ПАР Бетаїн 40 з метою стабілізації наносуспензій силіцій діоксиду на даному етапі не знайшло практичного використання, оскільки отримані агрегати за розмірами перевищують вимоги нанорозмірності та вимагає подальшого дослідження і коригування методики приготування.

Література

1. Russell E. Nanotechnologies and the shrinking world of textiles // *Textile Horiz.* – 2002. – V.9. – No. 10. – P. 7–9.
2. Gao G.-M. Influence of surfactant surface coverage and aging time on physical properties of silica nanoparticles / G.-M. Gao, H.-F. Zou, D.-R. Lui, L.-N. Miao, G.-J. Ji, S.-C. Gan // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.* – 2009. – V. 350. – P. 33–37.
3. Діоксид кремнію – кремнезем (Орісіл) Технічні умови. ТУ У 24.1-31695418-002:2008. – [Effective as of 2010-09-02]. – (Last updated date or date visite 29.09.2016) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.orisil.ua/supload/cms/documents/tu_2008_ua.pdf
4. Гельфман М.И. Коллоидная химия : учебник для вузов / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.И. Юстратов. – СПб : Изд-во «Лань», 2003. – 336 с.
5. Praus P. Precipitation, stabilization and molecular modeling of ZnS nanoparticles in the presence of cetyltrimethylammonium bromide / P. Praus, R. Dvorský, P. Horínková, M. Pospíšil, P. Kovář // *Journal of Colloid*

and Interface Science. – 2012. – V. 377. – P. 58–63.

6. Russel W. B. Colloidal Dispersion / W. B. Russel, D. A. Saville. – Cambridge : Cambridge university Press, 1989. – 270 p.

7. Holmberg K. Eds. Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry / K. Holmberg, D. O. Shah, M. J. Schwuger // New York: John Wiley, 2002. – 430 p.

8. Karvan Svitlana. Aggregative and sedimentation stabilization of aqueous nanodispersions / Svitlana Karvan, Dariia Matveitsova, Olga Paraska // Innovations in Clothing Design, Materials, Technology and Measurement Methods : Monograph, Ed. By Iwona Frydrych, Grazina Bartkowiak, & Maria Pavlowa. – Lodz, 2015. – P. 253 – 259.

9. Параска О. А. Застосування термодинамічного підходу для дослідження механізму міцелоутворення поверхнево-активних речовин / О. А. Параска, С.А. Карван // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2.– С. 262–266.

10. Матвейцова, Д. С. Суміш катіонної ті аніонної поверхнево-активних речовин: дослідження колоїдно-хімічних і технологічних властивостей / Д. С. Матвейцова, С. А. Карван, О. А. Параска // Вісник ХНУ. – 2012. – № 5. – С. 120 – 125.

11. Параска О. А. Дослідження властивостей екологічно безпечних ПАВ / О. А. Параска, Т. С. Рак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3. – С. 107 – 111.

12. Матвейцова Д. С. Дослідження міцелоутворення в розчинах бінарної суміші поверхнево-активних речовин / Д. С. Матвейцова, С. А. Карван, О. А. Параска // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 2. – С. 78 – 82.

13. Ma X. Surface modification and characterization of highly dispersed silica nanoparticles by a cationic surfactant / X. Ma, N. Lee, H.-J. Oh, J.-W. Kim // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. – 2010. – V. 358. – P. 172–176.

14. Fan A. Adsorption of alkyltrimethylammonium bromides on negatively charged alumina / A. Fan, P. Somasundaran, N. J. Turro // Langmuir. – 1997. – V. 13 (3). – P. 506–510.

15. Somasundaran P. Mechanisms of alkyl sulfonate adsorption at the alumina-water interface / P. Somasundaran, D. W. Fuerstenau // J. Phys. Chem. – V. 70 (1). – P. 90–96.

16. Harvell J. H. Pseudophase separation model for surfactant adsorption: isomerically pure surfactants / J. H. Harvell, J. C. Hoskins, R. S. Schechter, W. H. Wade // Langmuir. – 1985. – V. 1. – P. 251–257.

Рецензія/Peer review : 6.9.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н. проф. Мандзюк І. А.

УДК 677.057.63:66.03

О.А. ПАРАСКА, В.О. КОВАЛЬСЬКА, Е.В. БАЗИЛЮК
Хмельницький національний університет

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ОСНОВНИХ МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ТРИКОТАЖНИХ ПОЛОТЕН

В роботі описано основні види заключної обробки трикотажних полотен. Визначено найбільш поширені методи нанесення апретів у процесах опорядження. Розглянуто механізм просочення текстильних матеріалів, визначено переваги та недоліки методів в реальних умовах виробництва. Показано, що світові лідери виробництва трикотажу переходять до впровадження екологічно-безпечних та економічно вигідних методів обробки з метою забезпечення високих показників якості виробництва та конкурентоспроможності трикотажних виробів на міжнародному ринку.

Ключові слова: опорядження, опоряджувальні речовини, трикотажне полотно, просочення, розпилення, пінна технологія, плазмова обробка.

O.A. PARASKA, V.O. KOVALSKA, E.V. BAZYLUYK
Khmelnytskyi National University, Ukraine

COMPLEX ASSESSMENT OF THE BASIC METHODS OF COATING FINISHING SUBSTANCES FOR STOCKINET LINENS

The basic types of final treatment of stockinet linens are described in this analytical paper. The most widespread methods of coating finishing substances in the finishing are defined. The mechanism of impregnation of textile materials is considered. The advantages and disadvantages of the methods in real conditions are determined. It is shown that the world's leaders in the production of knitwear are moving towards to the introduction of ecologically safe and cost effective finishing methods to ensure high quality of production and competitiveness of knitwear on the international market.

Keywords: finishing, finishing substances, stockinet linen, impregnation, spraying, form technology, plasma treatment.

Вступ

Трикотажна промисловість є однією з найбільших галузей текстильного виробництва. Причинами її динамічного розвитку є цінні споживчі властивості продукції, що виготовляється та високі техніко-економічні показники виробництва. Технологічний процес виробництва трикотажних виробів коротший, ніж процес отримання виробів з тканини, а продуктивність трикотажних машин в декілька разів вища продуктивності ткацьких станків [1]. Одним із важливих технологічних процесів обробки трикотажу є заключна обробка.

Заключна обробка – це сукупність технологічних процесів опорядження текстильних матеріалів, які покращують якість і зовнішній вигляд, підвищують довговічність і зносостійкість виробів, полегшують експлуатацію виробів.

Розрізняють заключну обробку загального і спеціального призначення. Основною метою обробки загального призначення є покращення зовнішнього вигляду тканини, надання їй блиску, певного грифу (жорсткості, м'якості, наповненості, драпірування); підвищення зносостійкості, надання малозминальності і малоусадковості.

Метою заключної обробки спеціального призначення є надання гідро- і олеофобних властивостей, стійкості до дії мікроорганізмів, вогнестійкості, антисептичних, антистатичних, брудовідштовхувальних властивостей. Вид обробки визначається асортиментом і призначенням певного виду трикотажного матеріалу [2].

Постановка проблеми

Сьогодні, в процесі розширення асортименту трикотажних виробів, особливо верхнього трикотажу, з'явилися нові види волокнистих матеріалів, переплетень, а головне підвищилися вимоги до якості готових виробів, тому різноманітні види апретів набули широкого застосування. Крім того, спостерігається збільшення об'ємів виробництва трикотажних полотен технічного призначення, які потребують спеціальних видів обробки. Також у текстильній промисловості актуальним є екологічно безпечні та альтернативні технології використання ресурсів (води, електроенергії, хімічних препаратів), приділяється велика увага зменшенню кількості викидів та скидів, що сприяє меншому навантаженню на екосистему. У зв'язку з цим виникає необхідність впровадження нових технологій обробки текстилю з метою забезпечення високих економічних та експлуатаційних показників виробництва. Тому комплексний аналіз основних технологій нанесення апретуючих речовин на трикотажні полотна є необхідною умовою при створенні якісних трикотажних полотен з урахуванням ринкових вимог і потреб споживачів.

Виклад основного матеріалу

Відповідно до світової практики, у 80% випадків на підприємствах трикотажної промисловості на етапі кінцевої обробки полотен використовуються методи просочення. Сушу тканину пропускають через обробку ванну, яка містить необхідні компоненти та віджимають між валками, щоб максимально

підготувати її перед операцію сушіння. Найбільш поширеними є такі методи нанесення апретів [3]: занурення; розпилення; пінна технологія.

Апрети на трикотажні полотна можна наносити безперервним та періодичним способами. В останньому випадку апрети наносять на тому ж устаткуванні, в якому здійснюються попередні операції (відпарювання, відбілювання, фарбування), тобто у джгутових машинах, ежекторних фарбувальних машинах та машинах навійного типу, або для штучних виробів в апаратах барабанного типу. У цьому випадку апрети вводять в останню промивну ванну і проводять обробку від 15 до 20 хв. Потім полотно вивантажують з машини, віджимають і піддають обробці відповідно до технологічної послідовності, заданої для даного виду полотен або виробів. Зазвичай це процеси сушіння, каландрування, а для синтетичних волокон – термостабілізація.

Недоліком періодичного способу є велика витрата хімічних матеріалів, оскільки місткість ванн навіть за умови малої модульної обробки досягає декількох сотень літрів. Другим істотним недоліком є недостатньо рівномірна обробка при обробці в джгуті. Раціональнішим та економічно вигідним є нанесення апретів безперервним способом в плюсовках, які встановлюються перед сушильно-ширильно-стабілізаційними машинами. Апретування в плюсовочних машинах проводиться для основов'язаних або круглов'язаних полотен, розрізаних уздовж. Круглов'язальні не розрізані полотна піддаються апретуванню в джгутових машинах.

У трикотажній промисловості застосовують двохвальні плюсування. Полотно, огинаючи направляючі валки, розташовані у ванні, просочується апретуючою речовиною і віджимається між двома віджимними валами. Кількість апрету, що наноситься, регулюється силою притискання віджимних валів. Поверхня віджимних валів покрита гумою, що створює необхідну еластичність їх поверхні. Покриття на валах має бути стійким до дії реагентів і мати рівну, без дефектів, поверхню, щоб забезпечити рівномірне віджимання та рівномірне нанесення хімічних препаратів. Недоліком даного методу є необхідність постійного вирівнювання кромки, які закручуються та усунення перекосів полотна, що призводить до його деформації.

Трикотажні полотна дуже чутливі до різного роду деформацій, тому для них більше підходить одно стадійний спосіб обробки, так званий «шоковий», при якому процес сушіння поєднується з термообробкою. В даному випадку просочування відбувається в плюсовці в присутності композиції, що містить зшиваючий агент, каталізатор та пом'якшувач, а сушіння і термофіксація – в сушильно-ширильній машині при температурі від 160 до 170 °С, загальною тривалістю 60 с [1].

Також апрети можуть наноситись методом розприскування. У цьому випадку перед віджимними валами встановлюються спеціальні розприскувачі, через які на полотно подається розчин. Апретуючі речовини, що мають високу в'язкість, наприклад латекси, що використовуються при проклеюванні трикотажної основи штучного хутра, можуть наноситися за допомогою раклі.

Нанесення полімерних плівок на текстильні матеріали можна здійснювати за допомогою обладнання, що працює за рахунок розпилення: пневматичного, безповітряного, комбінованого і електростатичного. Розпилювання полімеру, що витікає з деякого отвору в простір, заповнений газом, є результатом взаємодії потоку рідини і навколишнього газового середовища. З метою економії доцільно використовувати пневматичні розпилювачі, що здатні розпилювати полімери (рис. 1). Також великий економічний ефект можливо досягнути за рахунок використання пневматичних розпилювачів з здатністю зміни розпилюючих насадок, що дозволяє змінювати дисперсність крапель, форму і розміри факелу для нанесення покриття на різні за формою деталі з мінімальними витратами матеріалів і часу [4, 5].

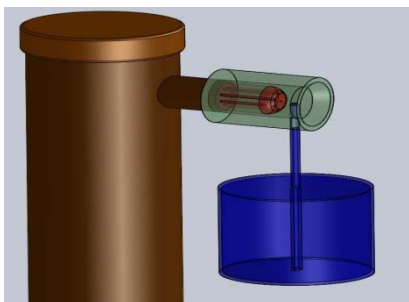


Рис. 1. Схема пневматичного розпилювача

На сьогоднішній день у процесах заключної обробки тканин в галузі текстильної промисловості широкого застосування набули системи ультразвукового розпилення WideTrack [6].

Дана система обладнання використовується в процесах нанесення вогнезахисних покриттів, водо- і масло відштовхувальної обробки, антимікробної та брудовідштовхувальної обробки [7]. Уніфіковані тонкі плівки наносують або розчини розпилюють на широкі полотна тканини для медичного текстилю, підлогових покриттів, килимових покриттів, автомобільних та інших видів промислового текстилю. Системи апретування WideTrack в процесах

опорядження текстильних матеріалів дозволяють різко скоротити використання води, хімічних речовин та енергії. Ультразвукове розпилення замінює процес занурення полотна та може призначатися для повної інтеграції з існуючими виробничими лініями, що було доведено в усьому світі у виробництві текстильних виробів у великих обсягах (рис. 2).

Перевагами ультразвукової системи опорядження текстильних матеріалів є:

- легка модернізація в існуючих системах опорядження;
- точне та контрольоване осадження покриття;
- дуже маленькі краплі з однаковими розмірами частинок створюють рівномірний шар плівки;
- ультразвукові насадки, що не закупорюються скорочують час простою обладнання в процесі

виробництва;

- економія води, енергії та речовин, що розпилюються;
- м'який, мілко крапельний розпил забезпечує ефективний та рівномірний процес покриття на відміну від розпилення під тиском або методу просочення.

Унікальна будова ультразвукового розпилення дозволяє формувати краплі в точні візерунки. Системи текстильного покриття налаштовуються за допомогою впливу удару розпилювальних головок, залежно від параметрів програми.

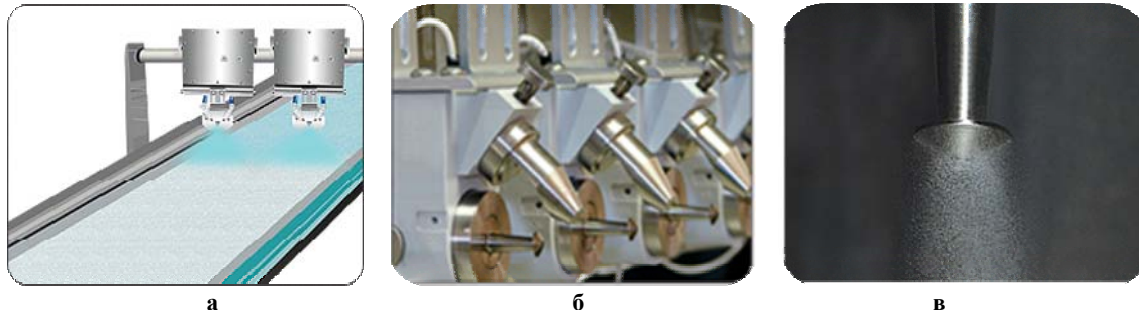


Рис. 2. Ультразвукове розпилення опоряджувальних речовин на поверхню трикотажу: а – процес нанесення опорядження на полотно; б – система ультразвукових сопел; в – механізм розпилення речовини

Системи сопел ультразвукового розпилення замінили сопла тиску в широкому діапазоні опорядження текстилю у провідних країнах світу. Компанії, які прагнуть досягти сталого, екологічно-відповідального виробництва та зменшити кількість відходів використовують ультразвукове розпилення як технологію, яка є більш прогнозованою та екологічно чистою, ніж інші методи заключної обробки.

Ультразвукова система розпилення має велике значення при нанесенні антимікробного покриття в процесі виробництва текстильних матеріалів медичного призначення (хірургічні маски, рукавички, бинти, перев'язувальні матеріали, медичні тканини, а також килимові покриття та засоби гігієни). Обробка даних поверхонь відбувається в процесі рівномірного розпилення наночарів антимікробних розчинів і суспензій. Протимікробні розчини пригнічують ріст бактерій, забезпечуючи надійний захист від різного роду інфекцій [6].

Проте в даний час на вітчизняних підприємствах трикотажної промисловості дана технологія не набула широкого застосування у зв'язку з дороговартісним переобладнанням існуючих технологій опорядження, які є більш універсальними та доступними.

Ефективним методом обробки трикотажних полотен є використання пінної технології для нанесення на полотно опоряджувальних речовин. Нанесення опоряджувальних речовин у стані піни забезпечує їх рівномірний розподіл по усій ширині полотна, дозволяє регулювати глибину їх проникнення у структуру полотна, здійснювати як одностороннє так і двостороннє нанесення аперету. Пінна технологія може бути використана практично для усіх видів обробок: надання малозминальності і м'якості, для антистатичної обробки і т.д.

Застосування пінної технології дозволяє знизити енергоємність процесів, витрати води та хімічних матеріалів, а також зменшити скиди забруднених стічних вод. Це пояснюється тим, що при пінній технології маса полотна після просочування підвищується від 30 до 35%, а при просочуванні і плюсуванні на 60%. Таким чином, вміст води на полотні зменшується вдвічі, що дозволяє збільшити швидкість роботи сушильних машин до 60 м/хв. При традиційних плюсовочних методах нанесення препаратів ця швидкість складає від 20 до 30 м/хв [1].

Обробка трикотажних полотен пінною технологією відбувається у кілька етапів. Спочатку на поверхню полотна наноситься шар піни, потім за допомогою двох методів відбувається процес її стабілізації. Перший метод передбачає використання негелевих стабілізаторів, в якості яких виступають поверхнево-активні речовини та гелевих, таких як амонію ацетат та кремнію фторид. Після просочування полотно висушують. Схема процесу опорядження пінною технологією представлена на рисунку 3 [3].



Рис. 3. Схема процесу опорядження за пінною технологією

Останнім часом відбувається розробка нових, екологічно чистих матеріалів і технологій обробки текстильних матеріалів. Великий інтерес викликає вивчення нових методів опорядження текстильних матеріалів, оскільки старі способи обробки не відповідають сучасним виробничим вимогам. Наприклад, протягом декількох років для модифікації текстильних матеріалів використовується низькотемпературна плазма. Обробка плазмою дозволяє отримувати матеріали з принципово новими фізико-хімічними та фізико-механічними характеристиками.

Найбільш привабливі аспекти її застосування пов'язані з тим, що в порівнянні з традиційними хіміко-технологічними процесами плазмові процеси не потребують використання будь-яких рідких розчинів (тобто потенційно є екологічно чистими та менш енергоємні). На сьогоднішній день плазмові технології широко використовуються в текстильному виробництві в Італії, США, Японії, Китаї, Німеччині, Англії, Південній Кореї [8]. Незважаючи на переваги та перспективи даного методу обробки трикотажних полотен, в умовах сьогодні він є досить дорогим для впровадження на вітчизняних підприємствах легкої промисловості.

Висновки

Відповідно до обсягів виробництва та асортименту продукції, що виробляється кожне підприємство трикотажної промисловості використовує різні методи опорядження текстильних полотен.

Перевагами традиційних методів обробки, таких як просочення тканини в плюсовках та занурення полотна в обробну ванну з подальшим віджиманням є доступність, висока продуктивність та рівномірність нанесення опоряджувальних речовин. На деяких підприємствах трикотажної промисловості процеси антимікробної обробки вовняних та бавовняних тканин поєднують з процесом фарбування, додаючи бактерицидні засоби у фарбувальну ванну. Це дозволяє зменшити тривалість обробки сировини та зменшити витрати на додаткові операції.

Такі технології опорядження трикотажних полотен як ультразвукове розпилення та плазмова обробка поки що не набули широкого застосування на вітчизняних підприємствах текстильної промисловості. Проте якість вітчизняних трикотажних виробів зростає і в майбутньому є перспективи впровадження високотехнологічного обладнання з метою надання виробам нових властивостей відповідно до потреб споживачів.

Література

1. Чешкова А.В. Химические технологии и оборудование трикотажного отделочного производства : учеб. пособие / А.В. Чешкова ; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2008. – 113 с.
2. Тебляшкіна Л.І. Хімічна технологія текстильних матеріалів: навч. посібник / Л.І. Тебляшкіна, В.П. Нездоровін. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – 323 с.
3. Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry, July 2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/txt_bref_0703.pdf
4. Karvan S. Development of equipment and technology for spray coating and functionalization of textile materials / Svitlana Karvan, Serhiy Horyashchenko, Olga Paraska // V International R&D brokerage event in textiles and clothing, Bursa, Turkey, 4-5 April 2013. – P. 324–326.
5. Горященко С.Л. Моделирование процесса нанесения покрытия на поверхность материалов легкой промышленности методом распыления / С.Л. Горященко // Вісник ХНУ. – 2014. – № 5. – С. 90–94.
6. Ultrasonic Spray Equipment for Applying Performance Textile Coatings [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.sono-tek.com/textiles/>
7. Ibrahim Dalia F. Clean Trends in Textile Wet Processing [Електронний ресурс] / Dalia F. Ibrahim // Textile Science & Engineering. – 2012. – 2:5. – Режим доступу : <https://www.omicsgroup.org/journals/clean-trends-in-textile-wet-processing-2165-8064.1000e106.pdf>
8. Абдуллин И.Ш. Плазменная обработка в процессах отделки трикотажных полотен [Електронний ресурс] / Абдуллин И.Ш., Азанова А.А., Семенова Е.Н., Ившин Я.В. – Режим доступу : [file:///D:/%D0%97%D0%B0%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%B7%D0%BA%D0%B8/plazmennaya-obrabotka-v-protsessah-otdelki-trikotazhnyh-poloten%20\(3\).pdf](file:///D:/%D0%97%D0%B0%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%B7%D0%BA%D0%B8/plazmennaya-obrabotka-v-protsessah-otdelki-trikotazhnyh-poloten%20(3).pdf)

Рецензія/Peer review : 15.9.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф.. Карван С.А.

М.О. МАРУХЛЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

В.А. ПАЛАМАР, О. Р. МОКРОУСОВА

Київський національний торговельно-економічний університет

ІЧ-СПЕКТРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ МОДИФІКОВАНИХ ДИСПЕРСІЙ МОНТМОРИЛОНІТУ З КОЛАГЕНОМ ДЕРМИ

Стаття присвячена вивченню взаємодії модифікованих дисперсій монтморилоніту з колагеном дерми, що оцінювали за допомогою ІЧ-спектроскопічних досліджень на желатині, як моделі колагену. Для структурування желатину використано основний сульфат хрому та хром-модифіковану дисперсію монтморилоніту. Встановлено хімічну взаємодію хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту з реакційно здатними групами білка дерми. ІЧ-спектроскопічний аналіз виявив ефективну фізико-хімічну взаємодію між колагеном та хром-модифікованою дисперсією монтморилоніту, яка підтверджується утворенням чисельних водневих і координаційних зв'язків за участю іонізованих карбоксильних, аміно-ефірних і пептидних груп желатину та активними центрами мінералу.

Ключові слова: хімічна взаємодія, дисперсія, модифікація, монтморилоніт, хромовий дубитель, виробництво шкір.

M.O. MARUKHLENKO

Kiev National University of Technologies and Design

V.A. PALAMAR, O. R. MOKROUSOVA

Kiev National University of Trade and Economics

INFRARED SPECTROSCOPIC RESEARCHES OF THE INTERACTION OF MODIFIED DISPERSIONS OF MONTMORILLONITE WITH COLLAGEN OF THE DERMIS

This article is dedicated to the study of interactions between modified montmorillonite dispersions with collagen dermis, using infrared spectroscopic investigation on gelatine as a model of collagen. The basic sulphate chromium and chromium-modified dispersion of montmorillonite were used for the structuring of gelatine. It has been found that chromium complex displaces water from interlayer space of montmorillonite to form hydro-complex ions, which have high polarization and adsorption capacity for interaction with collagen dermis. The IR spectroscopic investigation revealed that treatment of gelatine with a chromium-modified dispersion of montmorillonite promotes the efficient physical-chemical interaction, which is characterized by the formation of multiple hydrogen and coordination bonds involving ionized carboxyl, amino, ether and peptide groups of gelatine with the active mineral groups. The formation of hydrogen bonds O-C-O and CH₂-protein groups with surface hydroxyl groups of montmorillonite type Si-O ... H-C and Si-O -H...O-C as well as Si-O...HN with NH-protein groups is characteristic of interactions between native gelatine functional groups and active centers of chromium-modified montmorillonite.

Keywords: chemical interaction, dispersion, modification, montmorillonite, chrome tanning agents, production of leather.

Вступ

Основним білком дерми шкір тварин є колаген, який характеризується багаторівневою, ієрархічною структурою і, як пористий матеріал, містить пори різних розмірів, що варіюються в діапазоні від 1 нм до 200 мкм та утворюють мікро ($r_{\text{пори}} \leq 1$ нм), мезо- (1 нм $\leq r_{\text{пори}} \leq 200$ нм) та макропористу ($r_{\text{пори}} \geq 200$ нм) структуру [1].

Під час виробництва натуральної шкіри відбувається руйнування зв'язків в структурних елементах колагену та утворення нових в результаті реакції з хімічними речовинами. Для ефективного формування структури дерми необхідно забезпечити структурування її елементів, тому доцільно використовувати матеріали з відповідними функціональними групами та співрозмірними частинками.

Традиційно для структурування колагену дерми використовують мінеральні та органічні дубителі. У виробництві 80 % шкір для дублення застосовують основний сульфату хрому, який являє собою комплексну сполуку і ефективно формує структуру дерми на різних рівнях її будови шляхом утворення координаційних зв'язків з карбоксильними групами колагену. Основним недоліком хромового способу дублення є неефективне використання сполук хрому, тому що майже 40 % дубильних сполук залишається у відпрацьованому розчині [2]. Для подальшої і повної фіксації структури дерми використовують органічні дубителі, полімерні сполуки та мінеральні наповнювачі (каолін, монтморилоніт тощо) [3].

Практичний інтерес у виробництві шкіри під час дублення представляє використання дисперсій монтморилоніту (ММТ), враховуючи, що після модифікації мінеральні частинки дисперсій можуть змінювати розмір та заряд поверхні [4]. Доведено, що цілеспрямована модифікація монтморилоніту основним сульфатом хрому дозволяє ефективно формувати колагенову структуру дерми. При цьому використання хром-модифікованої дисперсії монтморилоніту (Cr-ММТ) на стадії дублення сприяє раціональному використанню сполук хрому через утворення зв'язків з функціональними групами колагену та активними центрами монтморилоніту [4, 5].

Постановка завдання дослідження

Враховуючи сучасний напрям наукових досліджень, які передбачають створення екологічно безпечного виробництва шкіри [6], доцільними є дослідження, що спрямовані на застосування модифікованих дисперсій монтморилоніту для ефективного структурування колагену дерми.

Попередніми дослідженнями встановлено [5, 7], що застосування Cr-ММТ дисперсій сприяє високому рівню поглинання сполук хрому та зменшенню їх кількості у відпрацьованій рідині на 30 %. Застосування вказаних дисперсій сприяє покращенню показників формування структури дерми та фізико-механічних властивостей при зменшенні на 16 % витратах хромового дубителя [5]. Також відомо, що модифікація мінеральних дисперсій сприяє отриманню максимально розріджених дисперсій монтморилоніту (за рахунок пептизації мінеральних дисперсій) зі стабільним рівнем рН в межах 3-4 при витратах Cr_2O_3 на рівні 7,5–10 % від маси мінералу [4], що обумовлює можливість взаємодій мінеральних частинок з різними функціональними групами колагену та відповідними структурними елементами дерми.

Аналіз літературних джерел [8, 9] вказує, що розроблена хромзбережна технологія дублення шкір шляхом застосування хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту забезпечує отримання м'якої шкіри з покращенням фізико-механічних показників, зменшеною жорсткістю, підвищеною стійкістю до намокання та гідротермічною стійкістю шкір на рівні 103-104 °С.

Однак недостатньо вивченим є питання щодо ефективності взаємодій модифікованих дисперсій монтморилоніту з колагеном дерми. В зв'язку з цим є актуальним встановлення хімічних взаємодій між групами колагену дерми та модифікованими дисперсіями монтморилоніту.

Об'єкти та методи дослідження

Мета даної роботи полягає у вивченні взаємодії модифікованих дисперсій монтморилоніту з колагеном дерми методом ІЧ-спектроскопічних досліджень.

Об'єктом дослідження роботи є ІЧ-спектроскопічні дослідження взаємодій модифікованих дисперсій монтморилоніту з колагеном дерми. Предметом дослідження є хімічні зв'язки між модифікованими дисперсіями монтморилоніту (ММТ) та функціональними групами колагену дерми.

Для досліджень використано технічний швидкорозчинний желатин кислотного способу отримання («Лисичанський желатиновий завод», Україна), амінокислотний склад якого близький до колагену. Використання такої моделі дозволяє досліджувати зміни й взаємодії, що відбуваються в білку на молекулярному рівні, без впливу на них надмолекулярної структури колагену. Властивості желатину (ГОСТ 11293-89): розмір часток < 5 мкм; рН в розчинному стані в кількості 1,0 % – $5,6 \pm 0,1$ %, вміст колагену – $83,32 \pm 0,03$ %; зола – $1,38 \pm 0,01$ %; вміст вологи – $15,3 \pm 0,1$ %.

В якості хромового дубителя використано основний сульфат хрому $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_{6-2n}$, (Казахстан, «Актюбінський завод хромових сполук») з основністю $\text{OH}/\text{Cr} = 1,5$, вміст Cr_2O_3 – 25,6 %.

Бентонітові глини Дашуківського родовища (Україна) використано для встановлення взаємодій зі структурою дерми. Вміст монтморилоніту в бентонітових глинах склав 85 %. Дисперсію монтморилоніту модифікували поетапно карбонатом натрію та основним сульфатом хрому. Карбонат натрію в кількості 6,0 % від маси сухого мінералу в розчиненому стані додавали до водної дисперсії монтморилоніту концентрацією 100 г/л. Отриману дисперсію натрій-монтморилоніту (Na-ММТ) перемішували протягом 120 хв, а потім до дисперсії Na-ММТ додавали розчин основного сульфату хрому в кількості 10,0 % Cr_2O_3 від маси сухого мінералу.

Для визначення характеру взаємодії ММТ з колагеном дерми готували желатинові плівки товщиною 10–15 мкм та концентрацією білкової складової 1 %. Дослідні плівки оброблялись 5 % дубильних сполук хрому у перерахунку на оксид хрому (Ж_{Cr}) та модифікованими дисперсіями Cr-ММТ у кількості 6 % мінеральної частини від білкової складової ($\text{Ж}_{\text{Cr-ММТ}}$). Висушування досліджуваних плівок проводили на тефлоновій підкладці при температурі 18-20 °С протягом 96 год та при 35 °С протягом 6 годин.

ІЧ-спектроскопічні дослідження проводили на сучасному універсальному Фур'є – ІЧ-спектрометрі TENSOR-37 (BRUKER, Німеччина) в межах 4000 - 400 cm^{-1} . Характер і ефективність взаємодій функціональних груп монтморилоніту з активними групами желатину оцінювали за зміною інтенсивності оптичної густини відповідних характеристичних смуг поглинання. Згідно літературних джерел [10–12] виконували аналіз смуг поглинання в ІЧ-спектрах вихідних речовин і продуктів їх взаємодії відповідно до частот коливань характеристичних груп атомів.

Результати та їх обговорення

В результаті ІЧ-спектроскопічних досліджень монтморилоніту (рис. 1) встановлено, що спектр мінералу характеризується інтенсивною смугою 1168-1046 cm^{-1} , яка притаманна для кремнійкисневих структур, менш інтенсивною – в області 788 cm^{-1} та сильними смугами поглинання в області 529-461 cm^{-1} .

Згідно з літературними даними [12, 13] спектр монтморилоніту характеризується основними смугами, які відносяться до валентних зв'язків кремнію та водню з киснем. Широка смуга (рис. 1) при 1042 cm^{-1} відповідає валентним коливанням асиметричних і симетричних Si-O-Si тетрадрів кремнійкисневого каркасу та вказує на наявність вільних поверхневих гідроксильних груп. Інтенсивний дуплет при 463 cm^{-1} і 529 cm^{-1} характерний для діоктаедричних мінералів типу монтморилоніт і вказує на деформаційні коливання зв'язків Me-O та (O-Si-O). Смуга в інтервалі 788 cm^{-1} відповідає (O-Si-O), коливанням кілець з AlO_4 – тетрадрів. Смуга в області 694 cm^{-1} характерна для деформаційних коливань структурних гідроксильних груп мінералу, що зв'язані з октаедричними Al^{3+} катіонами. Смуги валентних OH-коливань, які характерні для структурних гідроксильних груп шаруватих силікатів, спостерігаються в області 3500-3200 cm^{-1} . Слабка смуга з частотою коливання 1637 cm^{-1} ймовірно характеризує деформаційні коливання Н-О-Н груп.

В області валентних коливань ОН зв'язку кількість смуг, а також співвідношення між їх інтенсивностями залежать від ступеня гідратації Cr^{3+} ММТ (рис. 3).

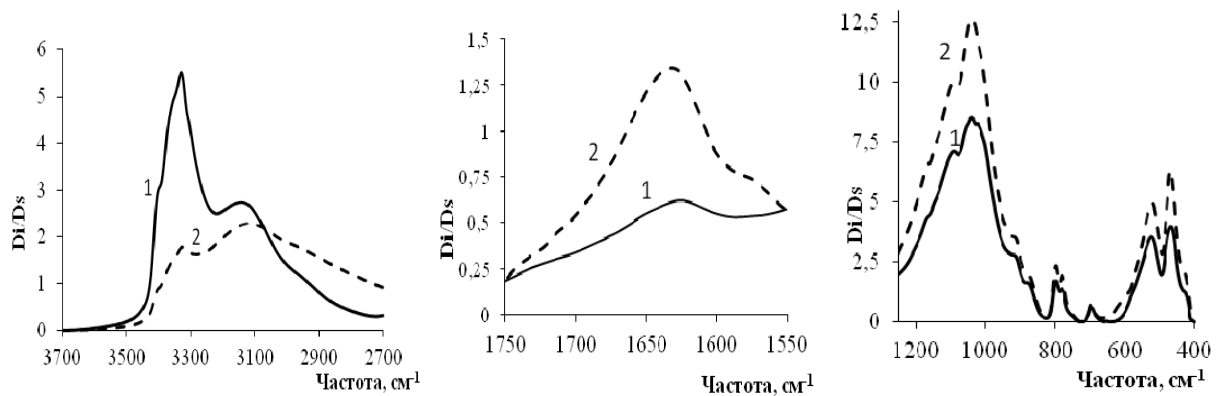


Рис. 1. Характеристичні смуги поглинання монтморилоніту (1) до та після модифікації (2) основним сульфатом хрому

Хромові солі в дисперсії ММТ гідролізуються з утворенням олігомерних комплексів, які входять в міжшаровий простір глини і після термічної обробки перетворюються на відповідні оксиди. Як олігомерні комплекси, так і утворені оксиди, виконують роль «стовпчиків», що утримують шари мінералу на певній відстані один від одного. Основні параметри таких структур – розміри пор, їх форма і розподіл – можуть задаватися в процесі модифікації ММТ і змінюватися в широких межах [14, 15].

В результаті ІЧ-спектроскопічних досліджень показано, що для Cr -ММТ смуга зв'язаної абсорбованої води при 3454 cm^{-1} зміщена в область більш низьких частот (3428 cm^{-1}). Також відбулось зменшення її інтенсивності внаслідок витягування ОН-груп.

Показники площі піків відносної густини поглинання (табл. 1) визначені за рівнянням Гауса [16]. Зміни конфігурації смуг поглинання та їх зсув дає можливість зробити висновок про природу міжмолекулярної взаємодії при дубленні колагену хромовим дубителем.

Деформаційні коливання H_2O в Cr -ММТ спостерігаються в області більш високих частот (1642 cm^{-1}), та характеризуються в 7 разів більшою інтенсивністю порівняно з ММТ в області смуги 3192 cm^{-1} , яка зміщена на 260 cm^{-1} в більш височастотну область, ймовірно, за рахунок водневих зв'язків. Можна передбачити, що хромовий комплекс витісняє воду з міжшарового простору ММТ з утворенням гідроксокомплексних іонів, які володіють високою поляризованістю та адсорбційною здатністю.

Як показано в ряді робіт [13–15], окрім гідролізу в розчинах солей Cr^{+3} відбуваються процеси – комплексоутворення, конденсації та полімеризації (оліфікації та старіння), які призводять до утворення багатоядерних хромових сполук. Ці процеси супроводжуються не тільки зміною заряду гідроксокомплексних іонів і зафарбовуванням розчину, але й збільшенням їх молекулярної маси. Зміцнення структури ММТ зі збільшенням силосанових груп в області 1046 cm^{-1} внаслідок стиснення ОН-груп, а також збільшення площі під їх піками майже вдвічі, зумовлено такими гідроксокомплексними іонами Cr^{+3} , які знаходяться між силікатними шарами монтморилоніту.

Піки 529 і 461 cm^{-1} , що відповідають валентним коливанням зв'язку Cr-O в ІЧ-області, мають дещо більшу площу під піками в порівнянні зі спектром ММТ, що говорить про більш упорядковану кристалічну структуру Cr_2O_3 на поверхні ММТ.

Таблиця 1

Характеристичні смуги модифікованого монтморилоніту та зміна їх оптичної густини

Смуга, cm^{-1}	Група	Оптична густина, D/D_0 (за площами піків)	
		ММТ	Cr -ММТ
3640-3641	-ОН вільні	457,8	113,0
3454-3428	-ОН зв'язані	980,0	754,9
2932-3192	-ОН	91,3	169,1
2854-2980	H_2O , -ОН	6,7	295,1
1637-1642	-(H-O-H)	12,8	91,4
1168-1270	Si-O	207,0	413,3
1131-1189	Si-O	537,5	307,6
1042-1046	n (Si-O-Si), AlO_4 – тетраедри	1225,5	2028,7
788	-(O-Si-O), AlO_4	36,0	76,9
694	-(Al-OH)	14,6	12,0
529	-(O-Si-O), Me-O	205,2	357,8
463-461	-(O-Si-O), Me-O	158,2	218,4

Для спектру желатину спостерігається найбільш характерне поглинання в інтервалах частот 3300-3100 cm^{-1} та 1650-1245 cm^{-1} (табл. 2, рис. 2). Перша область відповідає валентним коливанням асоційованих NH_2 , NH та OH -груп. Смуга при 3330 cm^{-1} , обумовлена зв'язаними групами NH (Амід А), які приймають участь у створенні внутрішньомолекулярних водневих зв'язків. Смуги при 2954 cm^{-1} , 2834 cm^{-1} відносяться до асиметричних та симетричних валентних коливань CH_2 груп.

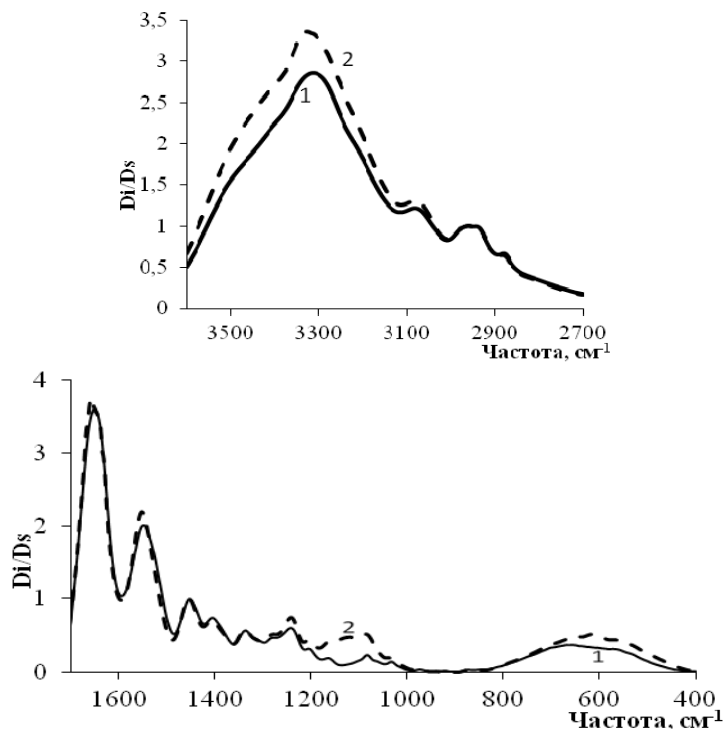


Рис. 2. Характеристичні смуги поглинання желатину до (1) та після модифікації (2) сполуками хрому

Для желатину в області 1650–1245 cm^{-1} (табл. 2) спостерігаються смуги поглинання Амиду I, Амиду II та Амиду III. Ця область пов'язана з поглинанням карбонільних груп $\text{C}=\text{O}$ і деформаційними коливаннями NH -груп, зокрема аміно-, іміногруп та гуанідинових угруповань. Так, інтенсивна смуга при частоті 1650-1660 cm^{-1} обумовлена валентними коливаннями асоційованих карбонільних груп $\text{C}=\text{O}$ (Амід I), а смуга 1540-1550 cm^{-1} характеризує деформаційні коливання NH -груп (Амід II) і меншою мірою CN -груп. Смуга Амід II дещо слабша від смуг карбонільного поглинання.

Інтервал 1160- 941 cm^{-1} поєднує набір смуг. Смуга 1163 cm^{-1} вказує на маятникові коливання груп NH_3^+ , смуги 1082 cm^{-1} та 1031 cm^{-1} характерні для валентних груп $-\text{CN}$, $\text{C}-\text{O}$ і $\text{C}=\text{C}$, а смуга 972 cm^{-1} відповідає зв'язаним NH - групам. В області 840-400 cm^{-1} характерні деформаційні коливання зв'язаних NH -груп з піками 672 cm^{-1} (Амід V) та 549 cm^{-1} (Амід VI). Ця смуга широка та менш інтенсивна.

Смуги в області частот 3330 cm^{-1} Амиду А симетричної зв'язаної NH - групи та 3071 cm^{-1} деформаційних $\text{N}-\text{H}^+$ коливань желатину приймають участь в утворенні внутрішньомолекулярних водневих зв'язків.

Обробка желатину основним сульфатом хрому сприяє деяким змінам характеристичних смуг поглинання, що обумовлено хімічною взаємодією функціональних груп желатину з комплексними сполуками основного сульфату хрому. Характеристичні смуги поглинання хромованого желатину представлено в рис.2 і табл. 2.

Аналіз одержаних результатів (табл. 2) показує, що в спектрах хромованого желатину Ж_{Cr} найбільш істотні зміни спостерігаються в областях, характерних для поглинання карбоксильних, аміних та OH -груп. Слід вказати на зменшення площі під піками при 3333 cm^{-1} , 3072 cm^{-1} , 1081 cm^{-1} та збільшення такої площі під піками 1654 cm^{-1} , 1547 cm^{-1} , 1398 cm^{-1} , 1337 cm^{-1} , 1245 cm^{-1} в спектрах Ж_{Cr} (табл. 3). Утворення поперечних зв'язків та формування структури колагену при дубленні відбувається за рахунок участі кінцевих карбоксильних і аміних груп, тому з'являється інтенсивна смуга поглинання при 1122 cm^{-1} за рахунок утворення зв'язків в структурі желатину з активними карбонільними та карбоксильними групами. При цьому утворюються додаткові зв'язки в результаті взаємодії з іоном металу-комплексоутворювача та витіснення із внутрішньої координаційної сфери сульфат-іону.

В результаті обробки желатину хром-модифікованою дисперсією монтморилоніту спостерігаються деякі відмінності у характері та інтенсивності смуг поглинання для $\text{Ж}_{\text{Cr-ММТ}}$ (рис. 3, табл. 3).

Для спектрів $\text{Ж}_{\text{Cr-ММТ}}$ цікавим є низькочастотна область (рис. 3) зі смугами, що містять валентні $\text{Cr}-\text{O}$ – групи та групи Амиду V і Амиду VI. Виходячи з аналізу відносних густин спектрів поглинання $\text{Ж}_{\text{Cr-ММТ}}$ в області 2824 cm^{-1} та 680-466 cm^{-1} найбільш вірогідним є утворення водневих зв'язків між функціональними

групами желатину та монтморилоніту типу Si-O...H-N з CH-групами білка та Si-O...H-N з NH-групами білка. Збільшення оптичної густини смуг поглинання при 529-561 cm^{-1} частково підтверджує утворення таких зв'язків.

Таблиця 2

Характеристичні смуги желатину та хромованого желатину

Желатин		Хромований желатин	
Смуга, cm^{-1}	Група	Смуга, cm^{-1}	Група
3330, 3200–3500	-NH зв., -OH	3337, 3200–3500	-NH зв., -OH
3071	-NH зв.	3072	-NH зв.
2955	-CH ₂ ас.	2954	-CH ₂ ас.
2834	-CH ₂ сим.	2813	-CH ₂ сим.
1654	Амід I, -C=O	1654	Амід I, -C=O
1543	Амід II, -NH, -CN	1547	Амід II, -NH, -CN
1454	CH ₂ нож.	1454	CH ₂ нож.
1398	-C=O, (COO ⁻)	1398	C=O вал. (COO ⁻)
1335	Амід III, -CN+-NH	1337	Амід III, -CN+-NH
1245	-CN, -NH	1245	-CN, -NH
1162	NH ₃ ⁺	1160	NH ₃ ⁺
–	–	1122	S=O, NH ₃ ⁺ , SO ₄ ²⁻
1082	-CN	1081	-CN, SO ₄ ²⁻
1031	-C-O, -C=C	1034	-C-O, -C=C
972	NH зв.	973	C-O вал., C=C вал.
672	-NH зв., Амід V,	685	NH -, Амід V, Cr ⁺³
–	–	604	Амід V, -NH, Cr ⁺³
549	Амід VI, -NH, -C=O	537	Амід V, -NH

В спектрах Ж_{Cr-ММТ} у високочастотній області виявлено незначне зменшення площі під піками смуг поглинання 3341 cm^{-1} (табл. 3) та зсув цих смуг в більш високочастотну область порівняно із зразком Ж_{Cr}. Ця особливість свідчить про утворення та перерозподіл водневих зв'язків в системі «Ж – Cr-ММТ».

Ймовірність міжмолекулярної взаємодії з колагеном підтверджується більшою оптичною густиною смуги 3330-3342 cm^{-1} у спектрах Ж_{Cr-ММТ} порівняно з Ж_{Cr}, а також помітним зменшенням значень оптичної густини смуг, що відповідають за коливання C=O та OH-груп (табл. 3).

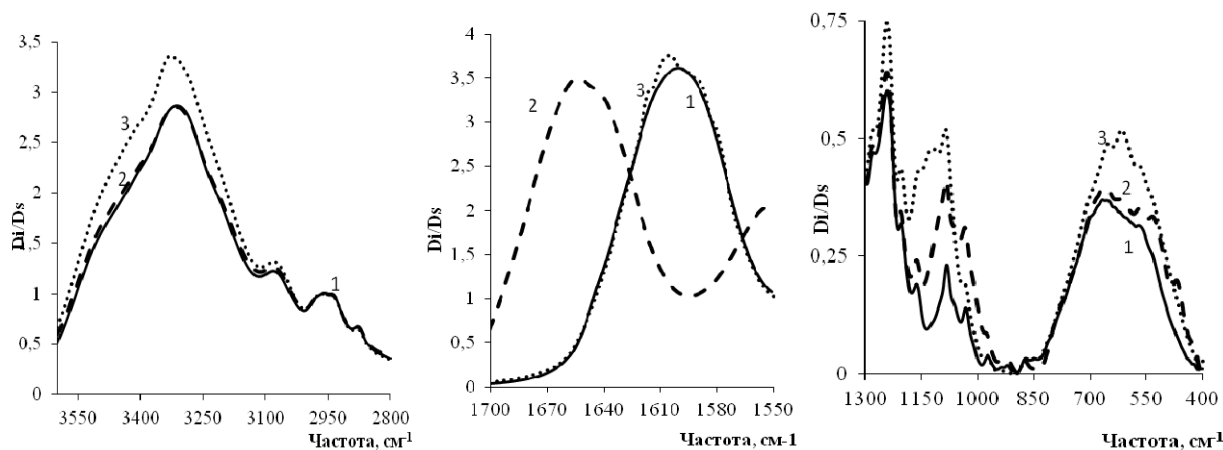


Рис. 3. Порівняння характеристичних смуг поглинання Ж (1), після модифікації хром-модифікованою дисперсією монтморилоніту Ж_{Cr-ММТ} (2) та основним сульфатом хрому Ж_{Cr} (3)

Як видно з табл. 3, площі піків 529 та 561 cm^{-1} для Ж_{Cr-ММТ} значно більші від площ піків хромованого желатину і зміщені в більш низькочастотну область. В таких системах можливе утворення координаційних зв'язків між карбоксилат-іонами структури желатину та солями хрому, а також електровалентних зв'язків за участю заряджених центрів Cr-ММТ та заряджених активних груп желатину. В області спектру 1246-918 cm^{-1} для Ж_{Cr-ММТ} виявлено суттєві відмінності площ піків, які відповідають коливанням карбонільної, амонійної, ефірної та сульфогруп желатину, а також вільних поверхневих гідроксильних груп Si-O-коливань. Можна передбачити, що відбувається значний перерозподіл інтенсивностей коливань для вищезазначених груп. Для Ж_{Cr-ММТ} вказані зміни обумовлені участю іонізованих карбоксильних, аміно-, ефірних і сульфогруп желатину та гідроксильних, валентних, деформаційних O-Si-O та Si-O-Si груп тетрадрів кремнійкисневого каркасу. Наразі порівняно з даними спектру Ж_{Cr} (табл. 3), для Ж_{Cr-ММТ} площа піку 1145 cm^{-1} збільшується майже у 8 разів та зміщується в більш

низькочастотну область (рис. 3), площа піку 1036 cm^{-1} збільшується в 28,5 разів та зміщується в більш високочастотну область, а площа піку 1100 cm^{-1} зменшується вдвічі та зміщується в високочастотну область, що свідчить про можливе утворення донорно-акцепторних координаційних зв'язків.

Таблиця 3

Зміна оптичних густин у спектрах модифікованого желатину

Смуга, cm^{-1}	Група	Оптична густина, D/D_0 (за площами піків)		
		Ж	Ж _{Cr}	Ж _{Cr-ММТ}
3330-3337-3341-3342	-NH, -OH	986,7	1198,9	1139,5
3072	NH ₂ -NH	34,7	30,9	27,2
2834-2813-2824-2824	-CH ₂ сим., -OH	78,1	89,3	81,1
1654	-C=O, -(H-O-H)	180,1	184,4	174
1545	-NH ₂	67,5	70,8	66,6
1398	-C=O, (COO ⁻)	6,8	7,5	5,4
1336	-CN ⁺ -NH	5,7	6,4	5,2
1246	-CN, -NH	15,5	17,1	24,9
1162-1160-1145-1150	NH ₃ ⁺	1,0	2,2	17,9
1122	S=O, -CN, C-O, SO ₄ ²⁻	-	12,7	-
1082-1081-1100-1103	C-O, -CN, SO ₄ ²⁻	16,7	10,8	4,7
1021-1034-1036-1036	C-O, n (Si-O-Si), AlO ₄ – тетраедри	2,9	3,1	88,5
972-973	-C-H, NH зв.	0,4	0,3	-
918	Si-O, -OH	-	-	2,1
873	CO ₃ ²⁻ , AlO ₄ – тетраедрів	-	-	1,2
786	- (O-Si-O), AlO ₄	-	-	5,9
672-685-680-691	NH зв., Амід V, (Si-O) ₄ , Cr ⁺³ , Al ³⁺	57,9	43,4	39,1
604	Амід V, -NH, Cr ⁺³	-	22,8	-
549-537-529-561	Cr-O, Амід V, -NH	23,1	42,9	105,9
524	- (O-Si-O), Me-O	-	-	14,3
466	- (O-Si-O), Me-O	-	-	14,2

Можна передбачити, що в процесі обробки желатину відбувається хімічна та фізико-хімічна взаємодія між функціональними групами желатину та активними групами дубителя, в результаті чого виникають координаційні та водневі зв'язки типу «Ж–Cr–ММТ». Слід вказати на зменшення площі піків із максимумами поглинання при 1654 cm^{-1} , 1545 cm^{-1} , 1398 cm^{-1} , 1336 cm^{-1} для Ж_{Cr-ММТ} порівняно з спектрами Ж та Ж_{Cr}. Спектральні зміни подібного типу обумовлені міжмолекулярними взаємодіями, в яких карбоксильна група виступає в ролі електрондонора. Менша величина площі піку цих смуг поглинання для Ж_{Cr-ММТ} свідчить про те, що в результаті обробки желатину дисперсією Cr-ММТ збільшується енергія зв'язку, тобто він утворює міцніший зв'язок із карбоксильною групою, ніж хромсульфатний комплекс.

Отже, наявність зменшення площі піків в ІЧ-спектрах при взаємодії комплексу Cr-ММТ з желатином свідчить про утворення більш міцних зв'язків з білком, ніж для хромсульфатного комплексу.

При утворенні координаційного зв'язку карбоксильних груп желатину з іоном хрому, в першу чергу, буде відбуватися заміщення гідроксильних груп ММТ, потім карбоксильних, а вже потім аміногруп білка. Такий порядок заміщення найбільш вірогідний, враховуючи координаційну спорідненість карбоксильних груп колагену до іону хрому, яка значно вище, ніж для валентних коливань структурних гідроксильних груп Al³⁺-OH, тому ці групи найбільш лабільні в комплексі Cr-ММТ, і це означає, що їх заміщення буде відбуватися першочергово. При цьому, як видно з аналізу ІЧ-спектрів, при взаємодії модифікованої дисперсії з карбоксильною групою буде утворюватися більш міцний зв'язок, що можна пояснити транс впливом інших лігандів, присутніх у комплексі хрому. Крім того, гідроксильні групи комплексу можуть утворювати водневий зв'язок з колагеном, виступаючи у ролі протондонора своїми гідроксильними групами. Тобто ММТ, з більшою долею вірогідності буде приймати участь в утворенні міжмолекулярних водневих зв'язків. Такого типу взаємодія достатньо чітко підтверджується зсувом піків смуг поглинання ІЧ-спектрів в області, що відповідає коливанням OH-груп. Як видно з аналізу експериментальних даних, комплекс Cr-ММТ має переваги перед хромсульфатним комплексом в тому, що при взаємодії з колагеном він утворює більшу кількість водневих зв'язків і утворює більш міцний зв'язок з карбоксильною групою білка. Можна спрогнозувати, що вище виявлені взаємодії сприятимуть кращому формуванню структури дерми, ефективнішому вибиранню солей хрому з робочого розчину та підвищенню температури зварювання колагену.

Висновок

В результаті ІЧ-спектроскопічних досліджень встановлено, що найбільш характерні смуги

поглинання желатину, як моделі колагену дерми, відповідають карбоксильним, аміно-, іміно-, гідроксильним групам тощо. Модифікація монтморилоніту основним сульфатом хрому сприяє змінам в високочастотній та низькочастотній області спектру мінералу. Встановлено, що хромовий комплекс витісняє воду із міжшарового простору монтморилоніту з утворенням гідросококомплексних іонів, які мають високу поляризованість та адсорбційну здатність до взаємодії з колагеном дерми. ІЧ-спектроскопічний аналіз виявив, що обробка желатину дисперсією хром-модифікованого монтморилоніту сприяє ефективній фізико-хімічній взаємодії, яка характеризується утворенням численних водневих і координаційних зв'язків за участю іонізованих карбоксильних, аміно-, ефірних і пептидних груп желатину та активних груп мінералу. Для взаємодії функціональних груп нативного желатину з активними центрами хром-модифікованого монтморилоніту характерним є утворення водневих зв'язків O-C-O та CH₂-груп білка з поверхневими гідроксильними групами монтморилоніту типу Si-O...H-C та Si-O-H...O-C. Зроблено припущення, що відбуваються утворення водневих зв'язків між атомами азоту аміногруп желатину з протоном води в міжшаровому просторі монтморилоніту з катіонами в обмінному комплексі. Показано, що деяка частина молекул желатину вступає в специфічну взаємодію з обмінними катіонами мінералу, одночасно утворює водневі зв'язки з поверхневими атомами кисню або сусідніми атомами силкату та ефективно структурує колаген. В низькочастотній області спектру найбільш вірогідним є утворення водневих зв'язків типу Si-O...H-C між функціональними групами хром-модифікованого монтморилоніту з NH-групами білка, а також Si-O...H-N з NH-групами білка. Представлені структурні перетворення супроводжуються змінами площі піків характеристичних смуг поглинання желатину та їх зсувом.

Література

1. Mokrousova O. Hide and Skin of Mammals / O. Mokrousova, Yu. Volfkovich // *Structural Properties of Porous Materials and Powders Used in Different Fields of Science and Technology*. – Springer London Ltd, 2014. – Part III/Chapter 12. – P. 251–266.
2. Журавський В. А. Технологія шкіри та хутра : підручник / В. А. Журавський, Е. Є. Касьян, А. Г. Данилкович. – К. : ДАЛПУ, 1996. – 744 с.
3. Данилкович А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри : [навчальний посібник]. – 1-е видання / А. Г. Данилкович, О. Р. Мокроусова, О. А. Охмат. – К. : Фенікс, 2009. – 580 с.
4. Марухленко М. О. Колоїдно-хімічні властивості модифікованих дисперсій монтморилоніту для дублення шкір / М. О. Марухленко, О. Р. Мокроусова // *Вісник КНУТД*. – 2015. – № 5(90). – С. 211–220.
5. Паламар В. А. Застосування хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту для стабілізації колагенової структури дерми / В. А. Паламар, М. О. Марухленко, О. Р. Мокроусова // *Східно-європейський журнал передових технологій*. – 2015. – № 3. – С. 36–42.
6. Грищенко І. М. Поліфункціональні шкіряні матеріали : монографія / Грищенко І. М., Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р. – К. : Фенікс, 2013. – 295 с.
7. Mokrousova O. Resources-saving Chromium Tanning of Leather with the Use of Modified Montmorillonite / Mokrousova O., Palamar V., Danylkovych A. // *Romania, Revista de Chimie*. – Vol. 66. – № 3. – P. 353–357.
8. Патент України на корисну модель UA 105519 U, C14C 3/06. Спосіб виробництва шкір / М. О. Марухленко, О. Р. Мокроусова, В. А. Паламар. – № u201508734 ; заявл. 10.09.2015 ; опубл. 25.03.2016. – Бюл. № 6/2016.
9. Марухленко М. О. Розробка технологічних параметрів хромзбережної технології дублення шкір / М. О. Марухленко, О. Р. Мокроусова, О. А. Охмат // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2016. – № 2. – С. 258–262
10. Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул / Беллами Л. – М. : Мир, 1974. – 444 с.
11. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений / Наканиси К. – М. : Мир, 1965. – 216 с.
12. Лазарев А.Н. Колебательные спектры и строение силикатов / Лазарев А.Н. – Л. : Наука, 1968. – 345 с.
13. Ogawa, M. Preparation of inorganic-organic nanocomposites through intercalation of organoammonium ions into layered silicates / M. Ogawa, K. Kuroda // *Bull. Chem. Soc. Jpn.* – 1997. – № 70. – P. 2593–2618.
14. Earley J. E. Aqueous chemistry of chromium (III): in *Transition Metal Chemistry* / J. E. Earley, R. D. Cannon. Vol. 1, R. L. Carlin, ed. – New York : Marcel Dekker, 1965. – P. 34–109.
15. Baes C. F. The Hydrolysis of Cations / C. F. Baes, R. E. Mesmer. – New York : Wiley-Interscience, 1976. – P. 211–215.
16. Исакова О.П. Обработка и визуализация данных физических экспериментов с помощью пакета Origin : учебно-методическое пособие / Исакова О.П., Тарасевич Ю.Ю. – Астрахань, 2007. – 67 с.

Рецензія/Peer review : 4.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 28.10.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Андреева О. А.

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ВЗУТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННОГО НАПОВНЮВАЧА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСТАНЬОГО

В статті представлений новий асортимент профілактичного взуття, конструктивні особливості якого дозволяють певним чином розмістити рослинний наповнювач, чим забезпечується підвищення масажного ефекту, профілактичних та лікувальних дій у відповідності з біологічно-активними точками ноги без додаткових затрат часу. Визначені фізико-механічні властивості наповнювачів показали, що кісточки достатньо міцні та не руйнуються під час активного використання, тому їх можна використовувати в якості наповнювачів для профілактичних устілок та взуття.

Ключові слова: профілактичне взуття, акупресурна дія, біологічно-активні точки, природний наповнювач.

N.D. PRUDNIKOVA

Kiev National University of Technologies and Design

FEATURES OF A DESIGN PROPHYLACTIC FOOTWEAR USING FILLER PLANTS AND DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE LAST

The article introduces a new range of prophylactic footwear design features which allow a certain way to place vegetable filler, which ensures increase massage effect, preventive and therapeutic actions in accordance with the biologically-active points of feet without the additional expenses of time. Determination of physical and mechanical properties of the fillers showed that bones strong enough and don't destroy during active use, so they can be used as fillers for prophylactic insoles and shoes.

Keywords: prophylactic shoes, acupressure action, biologically active points, natural filler.

Вступ

Еволюція людської фізіології не встигає за змінами соціальної активності. Навантаження на людський організм значно змінюється з часом, тоді як скелет практично залишається без змін протягом тисячі років. На ряду з іншими необхідними заходами піклування за здоров'ям далеко не на останньому місці стоїть турбота про свої ноги. Адже від ніг залежить дуже багато в правильному функціонуванні нашого фізичного тіла. Як міцно ми будемо стояти на ногах завтра – ось дуже важливе питання. Масаж ніг є обов'язковою для здоров'я сучасної людини процедурою.

На жаль, багато хто з нас не з чуток знають про проблему «тяжкості» в ногах. Масаж ніг покращує кровообіг, запобігає утворенню набряків і варикозних вузлів на ногах, за його допомогою знімають з ніг м'язову втому після фізичних навантажень, постійну тяжкість і судоми в області гомілки. Такий вид масажу істотно відрізняється від інших, наприклад, спini. Основна різниця в тому, що при масажі ніг або ступень стимулюються не тільки м'язи, але й відбувається благотворний вплив на весь організм в цілому. Це пов'язано з тим, що на ногах знаходиться величезна кількість рефлекторних точок, що відповідають за стан організму. На ногах знаходяться точки, що відповідають внутрішнім органам, самопочуттю людини і навіть настрою. Вплив на такі точки сприяє поліпшенню самопочуття і позбавленню від різних болів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день для проведення самомасажу запропоновані такі засоби, як пневмомасажер AEROBIX МК-203 (виробник Південна Корея) (рис. 1, а) [2], що складається з роз'ємних надувних панчів, блоку керування з насосом, силіконових повітряних шлангів з штекером для приєднання пончо до блоку керування, надувні панчохи складаються з нижньої секції (стопа і низ гомілки, гомілка) та верхньої секції – повітряний пояс для стегна; масажер HOMEWARM 2 (виробництво Німеччини) (рис. 1, б) [3], що містить чохол з антибактеріальним покриттям, виконаний у вигляді панчохи збільшеного розміру суцільної для обох ніг, два потужні мотора, що забезпечують три різні за інтенсивністю масажі, вбудовану систему підігріву; масажер САПОЖКИ RESTART S-11 (виробництво Німеччини) (рис. 1, в) [4], що містить чотири особливих диска, які забезпечують три програми розминаючого вібраційного масажу та оснащений автоматичним пристроєм відключення.

Однак, представлені вище масажери для ніг мають досить складний масажний механізм, що потребує своєчасної заміни живлення. При проведенні масажу такими засобами одночасно охоплюється значна частина поверхні ноги, завдяки чому не забезпечується ефект масажу руками, що як відомо, є найкращим варіантом проведення масажу, при якому відбувається точковий масаж кожної з біологічно-активних точок, розміщених на нозі, що обмежує профілактику захворювань внутрішніх органів людини та не забезпечує достатнього лікувально-профілактичного ефекту. Крім того, робота вібраційного масажного механізму створює електромагнітне поле, дія якого на людину небезпечно та призводить до появи відхилень в психічному і фізичному стані організму. Застосування відомих масажерів потребує виділення спеціального часу.



Рис. 1. Засоби для масажу ніг

Основна частина

За останні сто років буквально в кожній галузі медицини було зроблено значний крок вперед щодо запобігання або виліковуванню хвороб людини. Передові методи лікування порушень стопи винайдені, але нових профілактичних заходів з'явилося недостатньо і навіть дуже мало.

В питанні здоров'я ніг проблема очевидна, рішення потрібне просте і практичне, таке, яке зробить значний благотворний вплив на ноги як дітей, так і дорослих.

Таким рішенням стало створення профілактичного взуття, яке, за рахунок форми та розташування рослинного наповнювача і його власного електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону, забезпечує підвищення масажного ефекту, профілактичну та лікувальну дію на організм людини у відповідності з біологічно-активними точками ноги (рис. 2).

На рис. 3 та рис. 4 представлений загальний вигляд запропонованого профілактичного взуття.

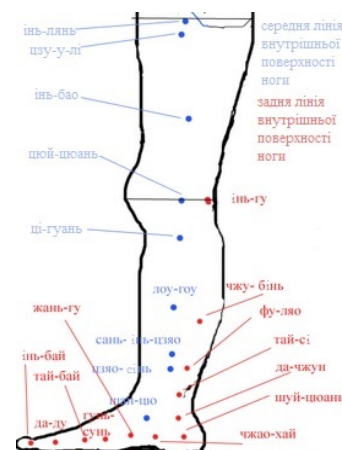


Рис. 2. Рефлекторні зони ноги

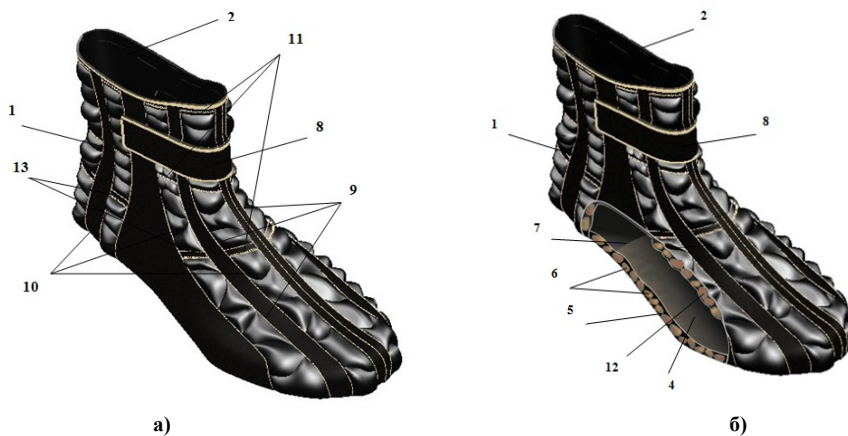


Рис. 3. Профілактичні черевики: а) загальний вигляд; б) розріз взуття з наповнювачами



Рис. 4. Профілактичні чоботи зі шнурівкою

Профілактичне взуття (рис. 3, а) містить верх 1, підкладку 2, з'єднану з ними підошву 3 з всточною устілкою 4, між якими розташована вкладна масажна устілка 5 з наповнювачем 6, кишеня 7 для розміщення вкладної масажної устілки 5 розташована на підошві 3 або на всточної устілці 4, засоби для фіксації 8, що виконані, наприклад, у вигляді ременя або шнурівки тощо (рис. 4), з'єднані з верхом 1, перемички 9, розташовані між верхом 1 та підкладкою 2, в місця, що відповідають рефлекторним зонам (біологічно-активним точкам) ноги, при цьому перемички 9 утворюють порожнини 10 з отворами 11, в яких розташований додатковий наповнювач 12 (рис. 3, б) [5].

Кожна порожнина 10 може бути цільною, а може бути розділена на декілька частин додатковими перемичками 13, кожна з цих частин має отвір 11.

Профілактичне взуття одягається на ногу, при цьому верх 1 взуття охоплює голіностоп людини, а підкладка 2 безпосередньо контактує з ногою людини. Для щільного прилягання профілактичного взуття на голіностоп людини, затягують верх 1 засобами для фіксації 9, виконані, наприклад, у вигляді ременя, або шнурівки тощо. На підошві 3 або на всточної устілці 4 розташована кишеня 7, через яку вставлена вкладна масажна устілка 5.

При носінні взуття наповнювач 6, розташований у вкладній масажній устілці 5, що розташована між підошвою 3 та всточною устілкою 4, забезпечує масаж біологічно-активних точок підошовної зони ступень, а додатковий наповнювач 12 розташовується крізь отвори 11 у порожнинах 10 та виконує масаж біологічно-активних точок, розташованих на стопі та голіностопі людини, що сприяє покращенню кровообігу.

При розділенні порожнин 10 на декілька частин додатковими перемичками 13, крізь отвір 11 в кожному з цих частин вставляється наповнювач 12, як масажний елемент, що забезпечує зручність вкладання, наприклад, каштанів або жолудів.

В якості наповнювача краще обирати кісточки плодових рослин, або плодів (наприклад, кісточки кизилу і вишні, жолуді, каштани, горіхи тощо), що робить взуття відносно легким, природним, з можливостями швидкого накопичення тепла та забезпечення вентиляції при використанні людиною, що також підвищує масажний ефект, профілактичні та лікувальні дії у відповідності з біологічно-активними точками ноги.

При створенні профілактичних виробів найчастіше використовують антибактеріальні властивості природних об'єктів рослинного походження. Разом з тим, поза увагою лишається можливість використовувати їх як джерело природної енергії та механічного масажу.

Механічні властивості матеріалів – це комплекс властивостей, які визначають поведінку матеріалів під дією на них зовнішніх сил. Під дією механічних сил всі матеріали деформуються, а при достатньо сильних або тривалих діях – руйнуються.

Вивчення механічних властивостей і визначення механічних характеристик матеріалів проводиться за стандартними методиками механічних випробувань. Вибір метода випробування визначається як його метою, так і видом матеріалу, що досліджується.

Серед методів механічних випробувань матеріалів легкої промисловості таких, як натуральна, штучна та синтетична шкіри, гум, текстильних матеріалів, картону та інших, чільне місце займають фізико-механічні методи.

Нами використано руйнівний механічний метод визначення міцності кісточок так як він дає точну інформацію про міцність досліджуваного об'єкта.

В результаті аналізу відомих пристроїв для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів не вдалося виявити пристрій для визначення міцності кісточок плодових рослин. В зв'язку з цим і потребою дослідження міцності кісточок нами розроблений і виготовлений пристрій (рис. 5).



Рис. 5. Пристрій для визначення міцності кісточок плодових рослин, підготовлений до роботи

Пристрій розроблений для визначення міцності кісточок плодових рослин, який включає корпус 1, приймальну чашу 2, важіль пуансона 3, пуансон 4, вісь пуансона 5, вісь важеля 6, стійку важеля 7, та індикатор зусилля 8 (рис. 3). Запропонований пристрій працює наступним чином. Після розміщення кісточка, що досліджується, в приймальній чаші прикладають зусилля до важеля 3 пуансона в точці

кріплення індикатора зусилля 8. Індикатор показує зусилля, що відповідає руйнуванню оболонки кісточки. Враховуючи конструкцію важільної системи пристрою, що наведена на рис. 6 побудована схема зазначена на рис. 7 для перерахунку величини зусилля руйнування кісточки.

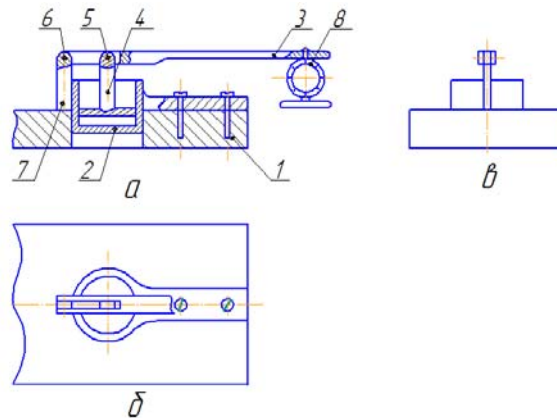


Рис. 6. Пристрій для визначення міцності кісточок плодівих рослин: а) повздовжній розріз, б) вид зверху, в) вид ззаду

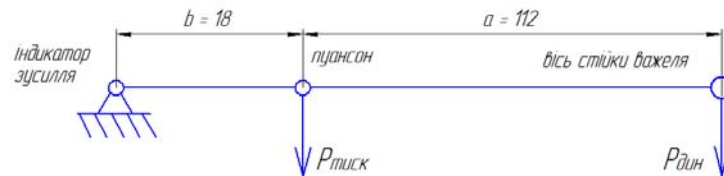


Рис. 7. Схема для перерахунку зусилля руйнування кісточки

Розрахунок прикладного до кісточки зусилля, виконується за формулою:

$$P_{\text{тиск}} = \frac{a + b}{b} \cdot P_{\text{дин}} = \frac{112 + 18}{18} \cdot P_{\text{дин}} = \frac{130}{18} = 7,22 \cdot P_{\text{дин}}$$

В результаті вимірювань були отримані наступні показники зусилля руйнування кісточок: для терну – 2,08 МПа, абрикосу – 1,96 МПа, акації – 2,38 МПа, вишня – 1,54 МПа, кизил – 2,02 МПа.

Отже, можна зробити висновок, що рослинні наповнювачі, такі як кісточка вишень, кизилу, терну, аличі тощо достатньо міцні, щоб витримати навантаження людини на устілку під час використання. Наявності в устілці середнього розміру (для чоловіків № 270, для жінок № 235) від 50 до 130 кісточок, між якими розподілене навантаження стопи людини, забезпечить їх надійність і міцність в якості наповнювача в акупресурних устілках та профілактичному взутті.

Масажний ефект і комфортність при використанні устілок з кісточками плодівих рослин залежить від відстані між центрами кісточок, розташованих в устілці.

З метою забезпечення заданої щільності розміщення кісточок на поверхні акупресурної устілки розроблений пристрій для вимірювання відстані між кісточками (рис. 8).

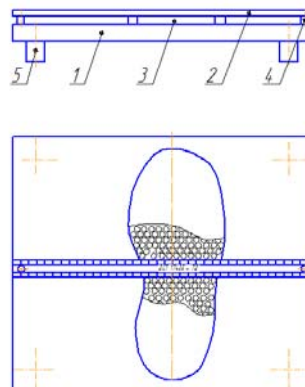


Рис. 8. Конструкція пристрою для вимірювання відстані між кісточками в акупресурній устілці для взуття

Пристрій для вимірювання відстані між кісточками в акупресурній устілці для взуття включає базову плиту 1, вимірювальну лінійку 2, об'єкт дослідження 3, фіксатор положення лінійки 4, опори базової плити 5.

Процес вимірювання відстані між центрами кісточок виконується таким чином.

Устілка, бажано після використання, з достатньо проявленими кісточками, розміщується в зазорі між базовою плитою і вимірювальною лінійкою. Використовуючи лінійку з міліметровими поділками (ДСТУ 17435-2010) візуально фіксуємо відстань між кісточками устілки яку заносять в таблицю для статистичних досліджень.

При розташуванні кісточок в устілці на відстані 15 мм і більше щільність вважається низькою, при 11 мм – середньою, а до 7 мм – високою. Результати дослідної носки показали, що масажний ефект і комфортність акупресурних устілок збільшується відповідно до збільшення щільності розташування кісточок.

Визначенні фізико-механічні властивості наповнювачів, які показали, що кісточка не руйнується під час активного використання, тому їх можна використовувати в якості наповнювачів для профілактичних устілок та взуття. Оптимальна відстань між кісточками для забезпечення комфортного відчуття повинна дорівнювати 11 мм.

Використання профілактичного взуття забезпечує профілактичний та оздоровчий ефект за рахунок рухливості та відповідності розміщення масажного наповнювача розташуванню рефлекторних зон (біологічно-активних точок) на нозі.

При носінні запропонованого взуття, наповнювач забезпечує масаж біологічно-активних точок підошовної зони ступень та масаж біологічно-активних точок, розташованих на нозі людини, що сприяє покращенню кровообігу, при цьому відбувається постійний вплив електромагнітного випромінювання кісточок плодів рослин на біологічно-активні точки всієї ноги, що допомагає організму в цілому, забезпечує проведення профілактичних та лікувальних заходів за медичними показаннями без додаткових затрат часу, що підтверджується отриманими позитивними результатами після дослідної носки та хорошими фізіологічними показниками виробів [6].

Висновки

Як показує багаторічний досвід клінічної практики, дія природним способом на рефлекторні точки стопи, дає наступні позитивні результати: регулює кровообіг; завдяки активізації енергетики організму сприяє усуненню нездужань; нормалізує діяльність усіх органів і систем життєдіяльності, встановлює баланс взаємодії систем; підтримує баланс в роботі залоз внутрішньої і зовнішньої секреції, знімає напругу органів; знімає нервовий стрес, втому, психоемоційне збудження, заспокоює і упорядковує нервову систему; покращує обмін речовин і зміцнює захисні сили організму [7].

Розроблена конструкція профілактичного взуття є зручною і добре пропускає повітря, дає можливість ногам нормально працювати і перебувати в задовільному стані. Визначенні фізико-механічні властивості наповнювачів показали, що кісточка достатньо міцна та не руйнується під час активного використання, тому їх можна використовувати в якості наповнювачів для профілактичних устілок та взуття. Створене для збереження і здоров'я ніг, профілактичне взуття забезпечує активне тренування ноги, стимулюючи її природне функціонування. Таке взуття активізує кровообіг, розробляє м'язи, тонізує ногу. Варто відзначити, що лікарі рекомендують носити запропоноване взуття не тільки в лікувальних цілях, але і для профілактики [8].

Література

1. Здоровье без врачей и лекарств. Необходимость массажа ног [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://subscribe.ru/group/zdorove-bez-vrachej-i-lekarstv-/7269666/>
2. Аппарат для лимфодренажа (прессотерапии) Airobix МК-203 для улучшения кровотока [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.med-format.ru/catalog/Limfodrenazhnye-apparaty/apparat-dlya-limfodrenazha-pressoterapii-airobix-mk-203-dlya-uluchsheniya-krovotoka/>
3. Массажеры для ног [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://med-sale.ru/model/32836>
4. Технологии прикосновения [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://restup.ru/massazher-dlya-nog-sapozhki-s-12-restart>
5. Пат. 98972 Україна, МПК А43В 3/00. Профілактичне взуття / Пруднікова Н.Д., Первая Н. В., Гаркавенко С.С., Остапчук І. П. ; заявник та патентовласник КНУТД. – № u201413354 ; заявл. 12.12.14 ; опубл. 12.05.15, Бюл. № 9.
6. Пруднікова Н. Д. Оцінка відповідності профілактично-лікувальних виробів показникам ергономічності / Н. Д. Пруднікова, Н. В. Первая // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 3. – С. 214–219.
7. Чжу Чжунсу. Методика воздействия на рефлекторные точки стопы МЕТОДИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕФЛЕКТОРНЫЕ ТОЧКИ СТОПЫ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.guifuren.ru/helpfulinfo/metodvoz/>
8. Проведення дослідження впливу профілактично-лікувальних устілок на організм людини під час ходьби та роботи : експертний висновок № 01/241. – К. : Академія медичних наук України Державна установа “Інститут геронтології ім. акад. Д.Ф. Чеботарьова”, 2012.

Рецензія/Peer review : 8.09.2015 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор В. П. Коновал

УДК 685.34.055.4 – 52

С.А. МАКСИМОВ, Б.С. СУНКУЕВ, И.В. ШИНКЕВИЧ, А.Э. БУЕВИЧ

Витебский государственный технологический университет

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБСТРАЧИВАНИЯ ПЕРФОРАЦИИ НА ЗАГОТОВКАХ ВЕРХА ОБУВИ

В статье приведены результаты апробации автоматизированного комплекса для изготовления технологической оснастки на базе швейного полуавтомата с ЧПУ JACK JK-3020 на примере обстранивания перфорации на заготовке верха женской обуви. С помощью разработанной технологической оснастки, состоящей из двух пластин пластика ПВХ, изготовлена опытная партия заготовок и исследована точность прокладывания строчки относительно отверстий перфорации. Результаты экспериментального исследования доказывают, что внедрение автоматизированного комплекса позволит получать качественную и недорогую технологическую оснастку для полуавтомата с ЧПУ JACK JK-3020, что, в свою очередь, позволит повысить эффективность обувного производства.

Ключевые слова: автоматизированный комплекс для изготовления технологической оснастки, полуавтомат с ЧПУ, технологическая оснастка, обработка пластин ПВХ.

S. A. MAKSIMOV, B.S. SUNKUYEV, I. V. SHINKEVICH, A. E. BUYEVICH
Vitebsk State Technological University

AUTOMATED TECHNOLOGY OF SEWING ON PERFORATION OF FOOTWEAR TOP

To the article the results of approbation of the automated complex are driven for making of the technological rigging on the base of sewing semi-automatic CNC machine JACK JK-3020 on the example of overstitching of perforation on the purveyance of top of woman shoe. By the developed technological rigging, consisting of two plates of plastic of PVC, experimental party of purveyances was made and exactness of laying of line investigated relation to openings of perforation. Introduction of the automated complex will allow to get the high-quality and inexpensive technological rigging for a semi-automatic CNC machine JACK JK-3020, that will allow to promote efficiency of production.

Keywords: automated complex for making of the technological rigging, semi-automatic CNC machine, technological rigging, treatment of plates of PVC.

Введение

В технологии изготовления заготовок верха обуви (ЗВО) наряду с операциями сборки узлов заготовки [1], пристрачивания аппликаций [2] к ЗВО следует выделить группу операций, сложность сборочных процессов в которых соизмерима с сложностью сборочных процессов в операциях, перечисленными ранее. В эту группу следует отнести операцию обстранивания контуров ЗВО.

Одним из перспективных направлений совершенствования технологии обстранивания контуров на ЗВО, является автоматизация процесса путем применения швейных полуавтоматов с числовым программным управлением (ЧПУ). Использование полуавтоматов с ЧПУ повышает производительность труда.

При обстранивании контуров на швейных полуавтоматах заготовка фиксируется в специальной кассете, которая может состоять из одной или нескольких пластин. Заготовка в кассете должна быть сбазирована и закреплена определенным образом. Точность базирования заготовки в кассете напрямую влияет на точность проложенной декоративной строчки.

Постановка задачи

В настоящей работе с целью апробации автоматизированного комплекса для изготовления технологической оснастки, выполненного на базе швейного полуавтомата с ЧПУ JACK JK-3020, поставлена задача разработать и изготовить технологическую оснастку для выполнения автоматизированного обстранивания перфорации на заготовке верха женской обуви модели 1637445, выпускаемой СООО «Белвест» (г. Витебск), отшить опытную партию заготовок, проверить точность прокладывания декоративной строчки относительно контура перфорации.

Результаты исследования

В настоящей работе представлены результаты разработки технологической оснастки к швейному полуавтомату с числовым программным управлением (ЧПУ) для автоматизированного обстранивания перфорации на заготовке верха женской обуви модели 1637445, выпускаемой на СООО «Белвест». Схема узла ЗВО показана на рисунке 1.

В носочной части основной детали 1 заготовки выполнена перфорация 3, содержащая ряд отверстий, края которых обстрачиваются строчкой 4, начало и конец которой выводятся за пределы перфорации к правому и левому концам детали 1. Деталь 2 пристрачивается к основной детали 1 строчкой 3 и служит для перекрытия поверхностей перфорации изнутри.

Раскрой заготовок на предприятии осуществляется методом вырубания на прессе ПКП-10. При вырубании основной детали 1 (рис. 1) и перфорации 3 на ней используют поочередно два инструмента (резак и перфоратор). При такой технологии фактическое положение отверстий перфорации 3 на каждой из заготовок относительно наружного края основной детали 1, будет различаться.

В силу перечисленных недостатков процесса получения необходимых геометрических контуров на базирование налагается следующее ограничение: базирование основной детали 1 (рис. 1) в технологической оснастке по поверхности ее наружного контура при обстранивании перфорации 3 на швейном полуавтомате становится невозможным. Наиболее целесообразным представляется в качестве базы выбрать внутреннюю поверхность отверстий перфорации 3 на основной детали 1, относительно которой и прокладывается декоративная строчка 4.

Описанные рекомендации к базированию позволяют выполнить конструктивный макет технологической оснастки. Технологическая оснастка состоит из двух частей: технологической (рис. 2) и базирющей (рис. 3). Каждая часть состоит из пластины 1, выполненной из пластины пластика ПВХ толщиной 1 мм, и прикрепленных к ним с помощью шести винтов стальных пластин 2. В стальных пластинах 2 выполнены два отверстия, с помощью которых пластина устанавливается на штифты 1 линейки (рис. 4), закрепленной на каретке координатного устройства швейного полуавтомата (на рис. 4 не показана).

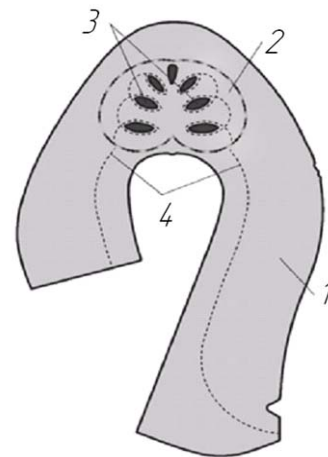


Рис. 1. Узел ЗВО модели 1637445, выпускаемой на СООО «Белвест»

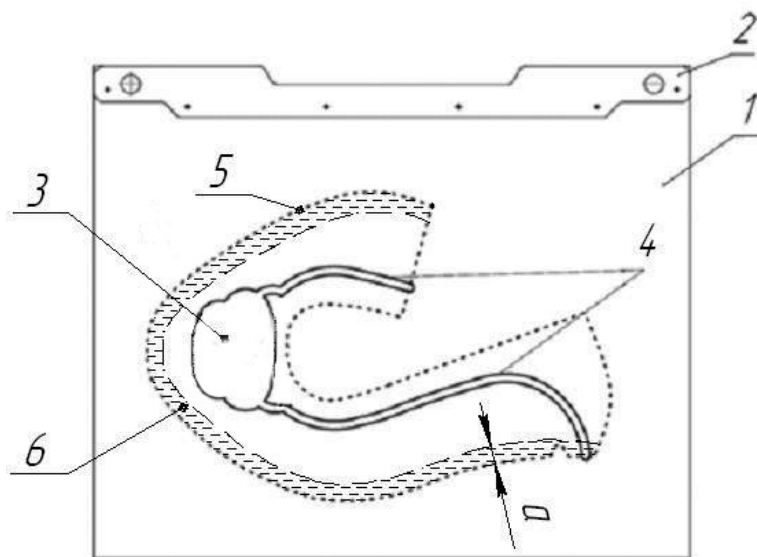


Рис. 2. Технологическая часть оснастки

Эквидистантно контуру 4 на лист ПВХ наносится полоса клеящего спрея шириной $a = 5...6$ мм. В базирющей части оснастки (рис. 3) имеются сквозные отверстия перфорации 3.

Координатное устройство осуществляет перемещение линейки и частей технологической оснастки по заданной управляющей программе. Штифты 2 (рис. 4) линейки служат для ее крепления к каретке координатного устройства.

В технологической части оснастки (рис. 2) выполнено сквозное окно 3 с контуром, эквидистантным кривым, огибающим контуры строчек 4 (см. рис. 1) и отстоящим от них на расстояние 3 мм. Имеются также пазы 4 шириной 5 мм (рис. 2) для прохода иглы и прижимной лапки (на рис. 2 не показаны) и ряд отверстий с шагом 6 мм, расположенных на номинальном наружном контуре основной детали 1 заготовки верха (см. рис. 1).

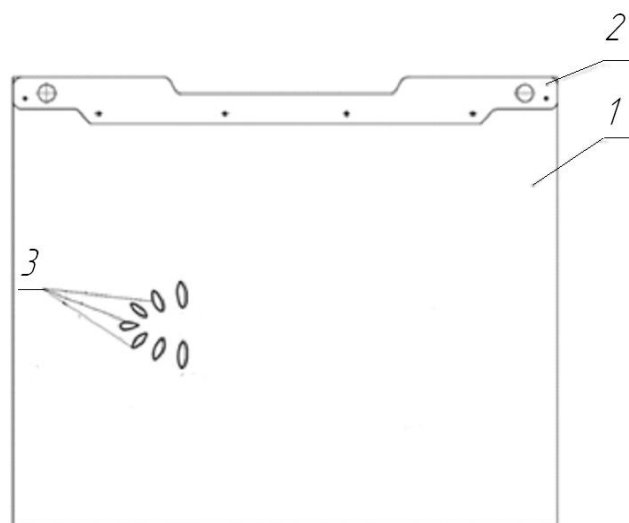


Рис. 3. Базирющая часть оснастки

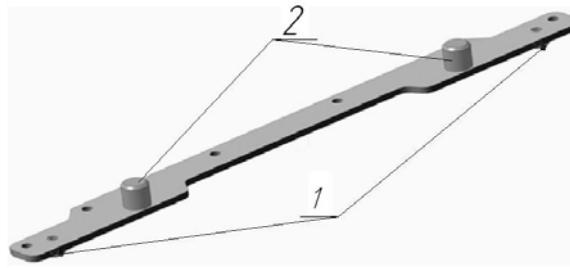


Рис. 4. Линейка швейного полуавтомата JАСК JK-3020

Изготовление окон 3, пазов 4 и отверстий разметки 6 в технологической части оснастки (рис. 2) и отверстий перфорации 3 в базирующей части оснастки выполнялось на специальном автоматизированном комплексе, разработанном для СООО «Белвест» в рамках хоздоговорной НИР.

Автоматизированный комплекс формируется на базе швейного полуавтомата с ЧПУ JАСК JK-3020 (рис. 5). Комплекс предназначен для обработки пазов, окон, отверстий в пластинах из ПВХ с помощью цилиндрического пробойника или иглы. Перемещение пластины из ПВХ заготовки оснастки по заданной программе осуществляется с помощью координатного механизма полуавтомата, на каретке которого закрепляется пластина ПВХ.



Рис. 5. Автоматизированный комплекс на базе швейного полуавтомата JАСК

В качестве режущего инструмента могут использоваться: штатная игла полуавтомата в комплекте со штатной игольной пластиной или пробойник в комплекте со специальной игольной пластиной.

Штатная игла полуавтомата в комплекте со штатной игольной пластиной используется в том случае, когда не предъявляются высокие требования к качеству обработанной поверхности, так как высота неровностей обработанной поверхности может достигать 0,6 мм. Это допустимо для поверхностей, которые не являются базовыми при позиционировании ЗВО, например, поверхностей пазов для прохода иглы.

Пробойник в комплекте со специальной игольной пластиной применяется для обработки поверхностей, к качеству которых предъявляются повышенные требования. Согласно проведенным экспериментальным исследованиям [3, 4] при соблюдении рекомендуемых режимов резания среднеарифметическая высота неровностей обработанной поверхности не превышает 0,1 мм. Этим методом могут обрабатываться поверхности окон в пластине ПВХ, которые являются базовыми при позиционировании ЗВО.

Пробойник 1 (рис. 6) устанавливается в отверстие игловодителя 2 до упора и закрепляется винтом 3. Специальная игольная пластина 4 устанавливается на платформе швейной головки 6 вместо штатной игольной пластины на четырех винтах 5. Винты 5 сначала вворачиваются не до конца. Далее опускают игловодитель 2 с пробойником 3 вниз таким образом, чтобы пробойник совпал с отверстием в игольной пластине 4. Постепенно закрепляют игольную пластину 4 винтами 5, проверяя при этом легкость хода пробойника 1, который должен входить и выходить из отверстия в игольной пластине без заеданий. После чего закрепляют игольную пластину 4 четырьмя винтами 5 окончательно, убеждаясь при этом в легкости хода пробойника в отверстии игольной пластины 4.

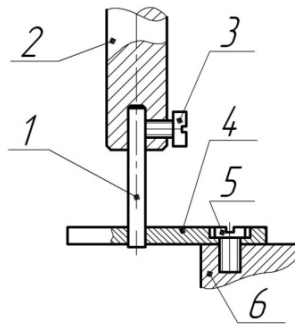


Рис. 6. Установка пробойника 1 и игольной пластины 4

На рисунке 7 показана схема установки заготовки кассеты на каретке координатного механизма полуавтомата JАСК JK-3020 при помощи линейки 1 (общий вид линейки показан на рис. 4). На линейке 1 предусмотрено крепление как одной кассеты, так и двух кассет.

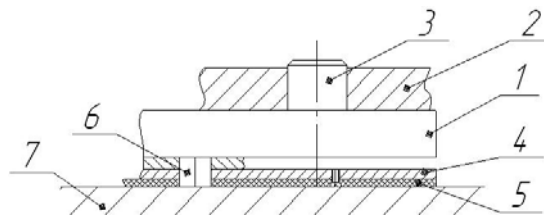


Рис. 7 Схема установки кассеты на каретке координатного механизма полуавтомата JАСК JK-3020

Заготовка кассеты технологической оснастки, состоящая из листа 5 ПВХ толщиной 1 мм, закрепленного на стальной пластине 4 (лист ПВХ крепится к стальной пластине шестью винтами) с двумя отверстиями, устанавливается на штифты 6 линейки 1. Линейка 1 закрепляется за штифты 3 пневматическими зажимами 2 швейного полуавтомата к каретке координатного механизма.

Заготовка кассеты перемещается в старт-стопном режиме согласно управляющей программе по поверхности игольной пластины 7 (рис. 7). На пластине ПВХ заготовки кассеты с помощью пробойника изготавливаются пазы для прохода иглы и окна.

В нашем случае сначала изготавливаются окна (рис. 2), пазы 4 и отверстия 5 на технологической части оснастки. Для этого заготовку технологической части оснастки с помощью отверстий в стальной пластине устанавливают на штифты 6 линейки 1 (рис. 7) и с помощью иглы, вставленной в отверстие игловодителя, по управляющей программе изготавливают окно 3, пазы 4 и отверстия 5 (рис. 2). Затем технологическая часть оснастки снимается со штифтов и на штифты устанавливается заготовка базисной части оснастки. По специальной управляющей программе с помощью иглы изготавливаются отверстия перфорации, аналогичные перфорации на ЗВО (рис. 1). Затем технологическая часть оснастки (рис. 3) снимается со штифтов линейки 1 (рис. 7). Оснастка готова к использованию.

При каждом цикле шитья выполняются следующие приемы. На штифты линейки 1 (рис. 7) сначала устанавливается технологическая часть оснастки (рис. 2), затем снизу на те же штифты устанавливается базисная часть оснастки (рис. 3). Основная деталь 1 (рис. 1) ЗВО устанавливается сверху на поверхность технологической части оснастки таким образом, чтобы контуры отверстий перфорации на основной детали заготовки визуально совпадали с контуром отверстий перфорации на базисной оснастке. В этом положении верхняя часть основной детали 1 (рис. 1) заготовки приклеивается к полоске 6 на поверхность технологической части оснастки (рис. 2) так, чтобы контур детали приблизительно совпал с контуром 5 технологической части оснастки. После чего со штифтов 6 линейки 1 (рис. 7) снимают базисную часть оснастки, размещенной к нижней поверхности основной детали 1, затем к основной детали 1 приклеивается нижняя часть основной детали 2 заготовки (рис. 1). Кассета устанавливается на каретку координатного механизма швейного полуавтомата, и по специальной программе выполняется строчка 4 (см. рис. 1).

В условиях экспериментального участка обувного производства СООО «Белвест» на полуавтомате JАСК JK-3020 с использованием выше изложенной технологии была изготовлена партия ЗВО, которую в дальнейшем подвергли исследованиям на точность проложенной декоративной строчки. Точность прокладывания строчки относительно отверстий перфорации зависит от точности укладки заготовки верха в кассету, причем качество укладки одной детали никак не влияет на качество укладки другой детали.

Измерение фактического расстояния a от строчки до края отверстий перфорации детали проводилось с помощью микроскопа отсчетного типа МПБ-2 (кратность увеличения – 24). На каждой из заготовок были выбраны 24 точки для замера расстояний a от строчки до края отверстий перфорации (рис. 8). Количество точек замера выбиралось из расчета по 4 точки, расположенных под углом 90° , на каждое отверстие обрабатываемой перфорации. Результаты измерений исследуемого расстояния a по каждой точке замера для трех заготовок, сшитых по разработанной технологии, сведены в таблицу 1. Результаты замеров расстояний a для ряда точек $i=1, 2, \dots, n$, расположенных на линии контура строчек, занесены в

вертикальные столбцы таблицы (а) для каждой заготовки. Для каждой точки контура в таблице указаны средние $a_{\text{ср}}$, максимальные a_{max} , минимальные a_{min} , номинальные $a_{\text{ном}}$ значения a , а также максимальная погрешность δ от номинального значения строчки в каждой из точек.

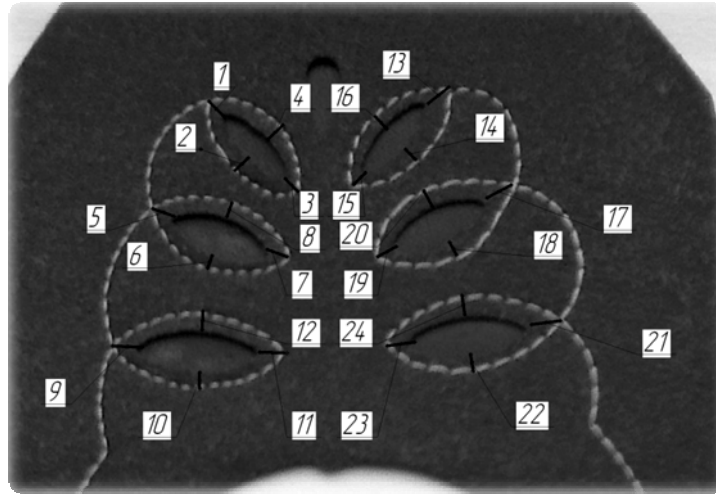


Рис. 8. Исследование точности прокладывания строчки

Таблица 1

Исследование точности прокладывания строчки

№ п/п	Расстояние от края детали до строчки a (мм)			Среднее значение $a_{\text{ср}}$ по точке (мм)	Заданное значение $a_{\text{ном}}$, мм	Значение a_{max} , мм	Значение a_{min} , мм	Погрешность δ , мм
	фактическое							
1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0
2	2,9	3,0	2,9	2,93	3,0	3,0	2,9	0,1
3	2,9	2,9	3,0	2,93	3,0	3,0	2,9	0,1
4	3,0	3,1	3,0	3,03	3,0	3,1	3,0	0,1
5	3,3	3,4	3,4	3,36	3,0	3,4	3,3	0,4
6	2,9	3,0	2,9	2,93	3,0	3,0	2,9	0,1
7	3,4	3,2	3,3	3,3	3,0	3,4	3,2	0,4
8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0
9	3,2	3,1	3,2	3,6	3,0	3,2	3,1	0,2
10	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0
11	3,2	3,3	3,3	3,26	3,0	3,3	3,2	0,3
12	3,1	3,0	3,0	3,03	3,0	3,1	3,0	0,1
13	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0
14	3,0	3,1	3,1	3,06	3,0	3,1	3,0	0,1
15	2,8	2,9	2,8	2,83	3,0	2,9	2,8	0,2
16	2,8	2,8	2,9	2,83	3,0	2,9	2,8	0,2
17	3,2	3,3	3,4	3,3	3,0	3,4	3,2	0,4
18	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0
19	3,3	3,4	3,4	3,36	3,0	3,4	3,3	0,4
20	3,0	3,0	2,9	2,96	3,0	3,0	2,9	0,1
21	3,4	3,4	3,4	3,4	3,0	3,4	3,4	0,4
22	2,9	2,8	2,9	2,86	3,0	2,9	2,8	0,2
23	3,3	3,4	3,4	3,36	3,0	3,4	3,3	0,4
24	3,0	3,1	3,0	3,03	3,0	3,1	3,0	0,1

Внешний вид строчки более объективно может быть оценен отклонениями фактических значений расстояния a от среднего для данной строчки значения $a_{\text{сред}}$, чем отклонениями от номинального значения $a_{\text{ном}} = 3$ мм при условии, что отклонение среднего значения $a_{\text{сред}}$ от номинального не очень велико.

На рис. 9 построен график a_{max} и a_{min} , которые характеризуют зону рассеяния параметра a по длине контура для заготовок, сшитых по разработанной технологии.

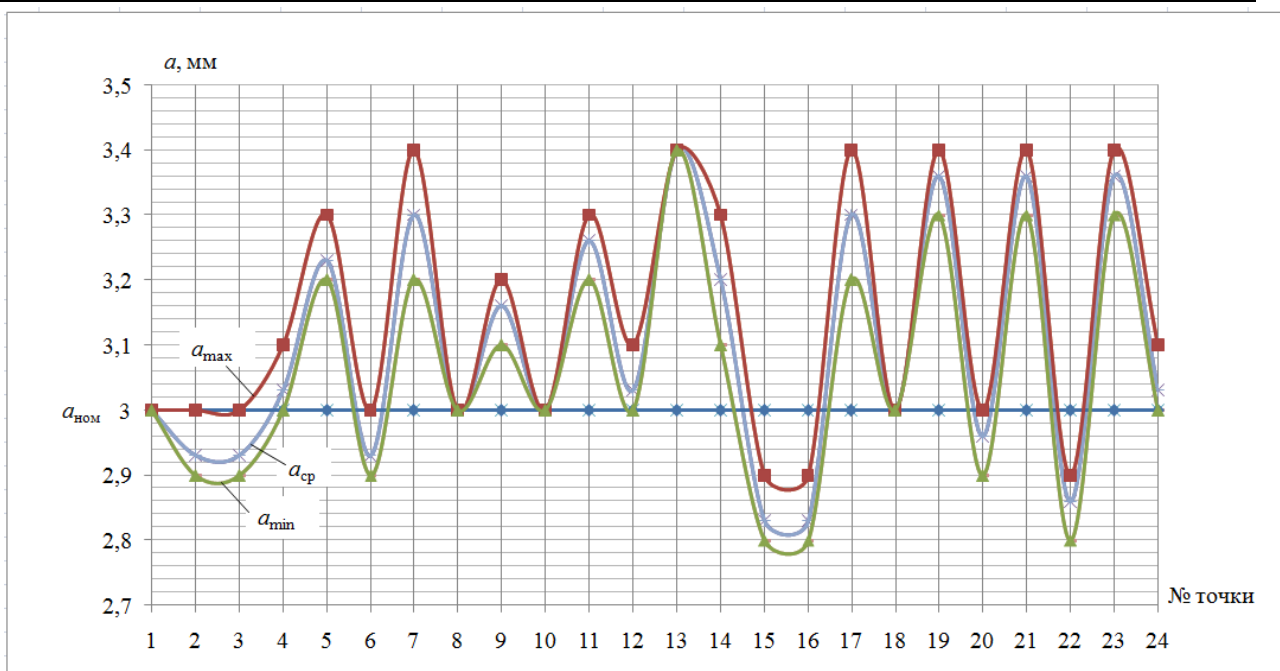


Рис. 9. Зона рассеяния параметра a по длине контура для заготовок

Вывод

Из таблицы 1 следует, что погрешность расстояния строчки от номинального значения в 3 мм составляет 0,2...0,4 мм, что соответствует техническим требованиям на заготовку ($\pm 0,5$ мм).

В свою очередь, кроме исследования точности прокладываемой декоративной строчки была проведена оценка изменения производительности разработанной технологии по сравнению с существующей. Производительность технологии обстрачивания по предложенной технологии оказалась в 2,5 раза выше, чем при существующей технологии (хронометраж рабочего времени при ручном обстрачивании составляет 3,2 мин, а время на обстрачивание на полуавтомате составляет 1,28 мин, включая укладку ЗВО в кассету).

Таким образом опытная апробация разработанного автоматизированного комплекса для изготовления технологической оснастки на базе швейного полуавтомата JACK JK-3020 и для непосредственно сборочных операций, в частности операции обстрачивания перфорации на ЗВО, доказала работоспособность предложенного технического решения и показала целесообразность его рекомендации к освоению в обувном производстве. Внедрение данного автоматизированного комплекса позволит получать качественную и недорогую технологическую оснастку для данного полуавтомата, что позволит повысить эффективность производства обуви.

Литература

1. Автоматизированная сборка заготовки верха детской обуви модели 53470 / А. Э. Бувич [и др.] // Материалы докладов 45 республиканской научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году книги / УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – С. 519–521.
2. Петухов Ю. В. Автоматизация процесса пристрачивания аппликаций на детской валяной обуви / Ю. В. Петухов, А. Э. Бувич, Б. С. Сункуев // Сборник материалов Межвузов. научно-техн. конф. аспирантов и студ. «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности», 23–25 апреля 2012 г. : в 2 ч. / ИГТА. – Иваново, 2012. – Ч. 1. – С. 183–185.
3. Максимов С. А. Исследование точности обработки поверхностей контуров в пластинах технологической оснастки / С. А. Максимов, Б. С. Сункуев // Материалы докладов 47 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 485–487.
4. Максимов С. А. Оптимизация режимов обработки пластин ПВХ по критериям точности и производительности / С. А. Максимов, Б. С. Сункуев, А. А. Беляев, Ю. В. Петухов // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Технічні науки». – 2016. – № 2 (96). – С. 77–87.

Рецензія/Peer review : 22.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 28.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Горбачик В. Е.

EXPERIMENTAL RESEARCHING OF PENETRATION MATERIALS OF SHOE UPPERS USING LABVIEW SOFTWARE COMPLEX

This paper presents the needle penetration materials used in the manufacture of shoe uppers pieces, namely the implementation of experimental studies piercing process details shoe uppers and processing of the results using the software complex LabVIEW. In carrying out experimental research efforts penetration of parts for the system "needle-detail-detail", defined by the following parameters: the applied moment; thick material parts. Researching of penetration was conducted on an experimental setup that allows to model processes that occur during stitching piece. Processing of experimental data allowed obtaining the regression equation determining needle penetration efforts in split leather and vinyl artificial leather. For natural value equation supplied to coded X factor in the equation and receiving function depending needle penetration force as part of the applied torque and thickness of parts of the shoe uppers. The resulting differences analytical calculations and research results due to the inevitable errors of experiment and mathematical model of some inconsistency, resulting in the analytical study adopted provisions for simplification.

Keywords: details of shoe uppers, experimental study, Lab VIEW, penetration.

П.С. МАЙДАН, А.В. БУРЯК
Хмельницький національний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОКОЛЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ВЕРХУ ВЗУТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ LABVIEW

Дана робота присвячена дослідженню процесу проколювання голкою матеріалів, які використовуються під час виготовлення заготовок верху взуття, а саме виконанню експериментальних досліджень процесу проколювання деталей верху взуття та обробці отриманих результатів з використанням програмного комплексу LabVIEW. При проведенні експериментальних досліджень зусилля penetрації деталей, для системи "голка – деталь – деталь", визначались наступними показниками: прикладеним моментом; товщиною матеріалу деталей. Дослідження процесу penetрації проводилось на експериментальній установці, яка дозволяла моделювати процеси, що відбуваються при зшиванні заготовки. Обробка експериментальних даних дозволила отримати рівняння регресії визначення зусилля penetрації голки в бахтармянний спилок та вінілштучкири. Для одержання натурального рівняння підставлялись значення кодованого фактора X у рівняння і отримували функцію залежності зусилля penetрації голки в деталь від прикладеного моменту та товщини матеріалу деталей заготовки верху взуття. Отримані розбіжності аналітичних розрахунків і результатів досліджень обумовлені неминучою помилкою експерименту, а також деякою невідповідністю математичної моделі, внаслідок прийнятих при аналітичному дослідженні положень для спрощення.

Ключові слова: деталі верху взуття, експериментальні дослідження, LabVIEW, проколювання.

Introduction

In the experimental researching of the process of piercing (penetration) footwear details, the following materials: split leather GOST 1838-83 and TU 17-21-360-85 vinyl artificial [1]. For the experimental researching used equipment that allows the penetration process to implement parts of shoe uppers possibility of changing factors are learn and researched registration options.

During penetration previously stacked layers shoe upper details of the forces that could lead to their displacement. The shift detail will take place if the effort of penetration material would exceed efforts the fixing parts.

Process efficiency package penetration estimated one criterion: the lack of material parts offset relative to each other. Therefore, an experimental research task is to determine the values of effort penetration into the material details depending on the factors of the process in which the breach of details occurs. Determination of these parameters depends on the strength of fixing details, set the values defined contact area of the foot, speed of installation, material thickness details [2]. However, requires further research.

Analysis of researches and publications

To determine the parameter optimization and selection circuit design of experiment we conducted an analysis of prior information [3, 4]. Based on this analysis, according to [2], as a study option was selected the efforts needle penetration in detail. Selecting this option because the defects in the finished product associated with excessive force of needle point penetration in materials of light industry [5]. For the main factors selected parameters that occur in real processes needle penetration into the material, so the diameter and length of the needle should be constant and unchanged during the experiment.

Thus, for a system of "needle-detail-detail" during experimental research efforts penetration details defined by the following indicators: the applied moment; thick material parts.

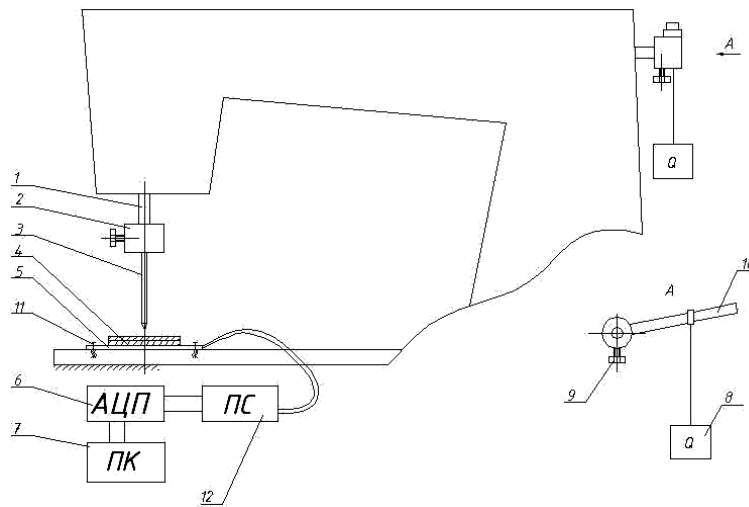
The value of needle penetration force in the details material the experimental setup was determined by means of measuring and recording, such as using a computer.

The wording paper purposes

The objective of experimental researching is to obtain reliable values of efforts needle penetration shoe uppers of different materials using complex software Lab VIEW.

The main material of researches

Research of penetration was carried out on an experimental setup (fig. 1), which can simulate the processes occurring in the cross-linking of the shoe uppers.



1 - needle driver; 2 - needle holder; 3 - needle; 4 - material; 5 - gage beam; 6 - analogue-to-digital converter; 7 - PC; 8 - load; 9 - screw; 10 - lever; 11 - screw; 12 - signal amplifier

Fig. 1. Scheme of the experimental setup for determining needle penetration efforts in detail

Installation for experimental researches work is as follows.

As a basis for research settings used sewing machine 23 class PMZ, which instead needle plate fixed gage beam (tenzobalka) 5. Needle 3 parts piercing material passing through the hole in gage beam, crushes the material, which in turn acts on gage beam and arching her changing cross-section sensors. Efforts penetration transmitted by applying the moment to lever 10 mounted on the flywheel sewing machine.

For the record the experimental conditions and processing of experimental data the factors level are encoded.

Adopted the following variable factors: X1 - attached moment; X2 - the thickness of the material details.

The plan provides coding values X1, X2, on three levels (+1, 0, -1) using the known expression [3, 4]. Factors and their coded values equal intervals and changes are summarized in table 1.

Table 1

The levels and intervals factors changing

Name	X1, kgs	Details material	
		Split leather GOST 1838-83	Vinyl artificial TU 17-21-360-85
		X2 ₁ , m	X2 ₂ , m
Changing interval	1	0,00035	0,00015
Factors level:			
- 1	1	0,0017	0,0018
0	2	0,00205	0,00195
+ 1	3	0,0024	0,0021

After the implementation of the matrix table 2 and obtaining values applied moment conducted the experimental data processing for noncomposition rotatable planning with two factors.

Table 2

The matrix of planning and values of experiments

X1	Value X1	X2	Value X2 ₁	Value X2 ₂	Result Y1	Result Y2
1.0	3.0	0.0	0.00205	0.00195	40.696	51.804
-1.0	1.0	0.0	0.00205	0.00195	38.107	50.591
0.5	2.5	0.866	0.0023062	0.0020597999	38.73	46.488
0.5	2.5	-0.866	0.0017469	0.0018201	33.923	37.53
-0.5	1.5	0.866	0.0023062	0.0020597999	37.967	42.508
-0.5	1.5	-0.866	0.0017469	0.0018201	28.924	37.794
0.0	2.0	0.0	0.00205	0.00195	35.556	62.58
0.0	2.0	0.0	0.00205	0.00195	35.488	66.171
0.0	2.0	0.0	0.00205	0.00195	37.666	63.462
0.0	2.0	0.0	0.00205	0.00195	35.829	69.349

The coefficients of the regression equation

The coefficients	Value for split leather GOST 1838-83	Value for vinyl artificial TU 17-21-360-85
b ₂	3.99803287745317	3.9466509069277436
b ₁	1.8233337402343759	1.0236670176188118
b ₀	36.13474941253662	65.39050006866455
b ₁₂	2.4455833435058594	2.4502003987630205
b ₁₁	3.2662359873453823	-14.193592707316085
b ₂₂	-2.758529027303055	-27.688419977823898

Conducted processing experimental data allowed to obtain regression equation for the first experimental determination efforts in needle penetration in the split leather GOST 1838-83:

$$y_1(x_1, x_2) = 36,135 + 1,824 \cdot x_1 + 3,99 \cdot x_2 - 2,445 \cdot x_1 \cdot x_2 + 3,266 \cdot x_1^2 - 2,76 \cdot x_2^2, \tag{1}$$

and the equation for the second experiment, determination effort penetration the vinyl artificial TU 17-21-360-85:

$$y_2(x_1, x_2) = 65,39 + 1,023 \cdot x_1 + 3,95 \cdot x_2 + 2,45 \cdot x_1 \cdot x_2 - 14,19 \cdot x_1^2 - 27,68 \cdot x_2^2, \tag{2}$$

where x_1, x_2 – variable factors.

For natural equation substitute value of coded X factor in the equation (1) and obtain a depending function needle penetration force in detail of the applied torque and thickness details of the shoe uppers:

$$y_1(M, t) = 36,135 + 1,824 \cdot \frac{(M-1)}{2} + 3,99 \cdot \frac{(t-0,0017)}{7e^{-4}} - 2,445 \cdot \frac{(M-1)}{2} \times \frac{(t-0,0017)}{7e^{-4}} + 3,266 \cdot \left(\frac{(M-1)}{2}\right)^2 - 2,76 \cdot \left(\frac{(t-0,0017)}{7e^{-4}}\right)^2 \tag{3}$$

$$y_2(M, t) = 65,39 + 1,023 \cdot \frac{(M-1)}{2} + 3,95 \cdot \frac{(t-0,0018)}{2,99e^{-4}} + 2,45 \cdot \frac{(M-1)}{2} \times \frac{(t-0,0018)}{2,99e^{-4}} - 14,19 \cdot \left(\frac{(M-1)}{2}\right)^2 - 27,68 \cdot \left(\frac{(t-0,0018)}{2,99e^{-4}}\right)^2 \tag{4}$$

where M – applied torque;
 t – thickness details of the shoe uppers.

$$M := 4 \quad t := 1..3$$

$$y(M,t) := 36.135 + \left(1.824 \cdot \frac{M-1}{2}\right) + \left(3.99 \cdot \frac{t-0.0017}{7 \cdot e^{-4}}\right) - \left(2.445 \cdot \frac{t-0.0017}{7 \cdot e^{-4}} \cdot \frac{M-1}{2}\right) + \left[3.266 \cdot \left(\frac{M-1}{2}\right)^2\right] - \left[2.76 \cdot \left(\frac{t-0.0017}{7 \cdot e^{-4}}\right)^2\right]$$

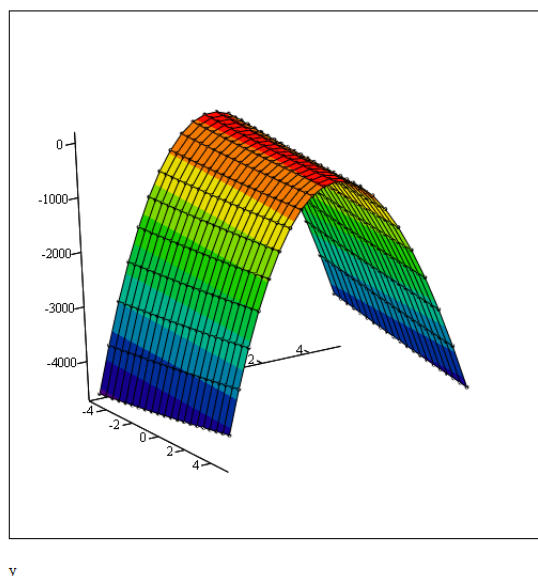


Fig. 2. Analytical calculation of regression equations for material split leather GOST 1838-83 at constant moment and thickness of various details of the package, the software environment Matcad

The resulting of the regression equation (3) and (4) allow describing the process of penetration of the needle into the details shoe uppers with two factors - the applied torque and thickness (fig. 2).

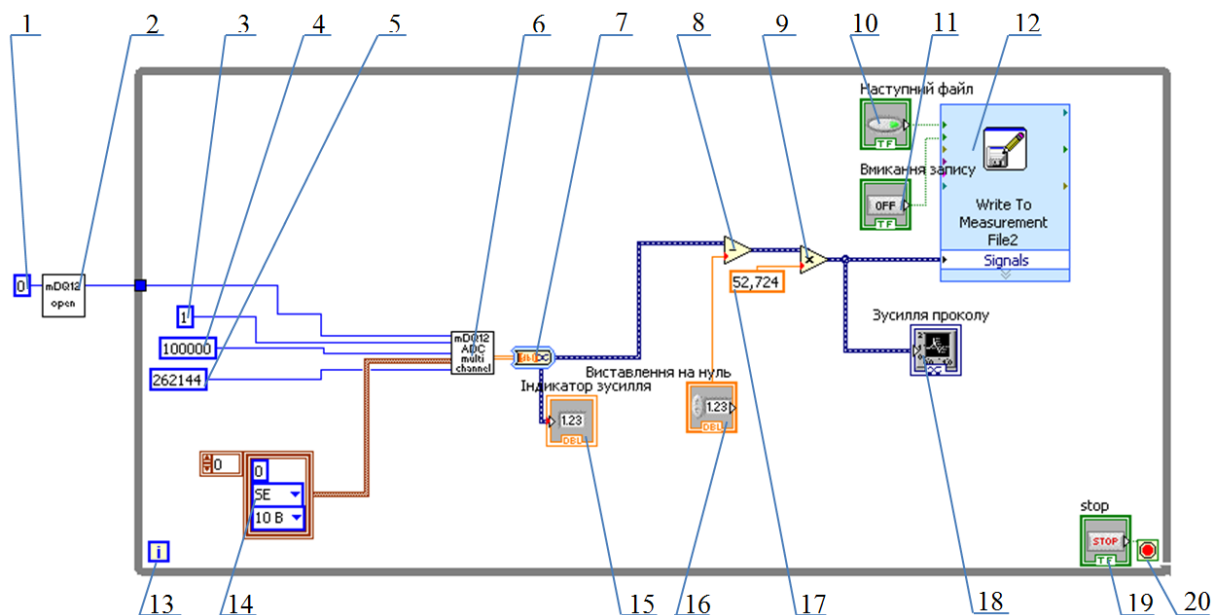
Planning experiments and experimental researches were carried by using a shareware program OptimizationModel & PlanningExperiment-02.041 "[6].

Removing the travelling values from sensor and record them on a PC is made by using Lab VIEW, which provides the inextricable link between theoretical calculations and experimental researches [7–9].

Full integration environment for signal processing Lab VIEW and environment to develop electronic schemes Multisim allows you to design electrical circuits and devices that implement them on NI ELVIS breadboard and conduct testing with real signals in Lab VIEW.

This approach allows completely under a single platform National Instruments, lock the development cycle of electronic devices, including electronic circuit simulation, prototyping and product testing with its real test and measurement equipment.

Block diagram (fig. 3), which will be held from ADC signal processing program Lab VIEW 8.5, the first application opens a port number which is set element 1 through module 2. Further information on the open port goes to control the flow of data from the ADC 6, which is used to configure fields: 3 - it indicates the number of ADC channels from which to read data; 4 - it specifies the frequency with which reading data is made entering the open channels; 5 - it indicates the amount of data that is displayed in an array of module 6; 14 - it specified settings channels are removed from the data. Array data, conversion element array values in the processed signal is converted into data stream that is easier to handle, display in graphic indicator 18 and recorded for analysis by block 12. Because the data are captured in the form of an electrical signal that has any particular value, proportional to the measured physical quantity, it should be calibration at first.



1, 3, 4, 5, 17 - element default constant values, 2 - control port analogue-to-digital converter (ADC), 6 - control the flow of data from the ADC, 7 - element converting an array of values in the processed signal, 8, 9 - element arithmetic conversions, 10, 11, 19 - button process control applications, 12 - unit record values in the file, 13 - counting cycle, 17 - element correction signal values, 18 - a graphical indicator,

19 - digital display, 20 - element of the cycle

Fig. 3. Block Diagram program virtual appliance for processing signals of two channels

Calibration by using arithmetic transformation element 9 and calibration coefficient recorded in field 17. With arithmetic operation subtraction element 8 signals is set to zero. After the necessary changes the signal goes to block entry of values in file 12, which is guided buttons 10 and 11. To stop the program is using the button 20.

The graph (Fig. 5) it is clear that experimental and analytical values are adequate, the deviation does not exceed 5%. The resulting differences analytical calculations and research results due to the inevitable errors of experiment and mathematical model of some inconsistency, resulting in the analytical study adopted provisions for simplification.

Summary. Experimental researching with using software complex Lab VIEW, showed high precision of the results and ease of them processing. The resulting current efforts graphics penetration material with sufficient accuracy to meet the theoretical efforts penetration graphs, which in turn allows confirming the need for complex software with Lab VIEW conducted research. Using software system opens up possibilities for performed experimental research and allows simultaneous lifting of current data from several connected sensors and their processing; it will improve the accuracy in conducting experimental research.

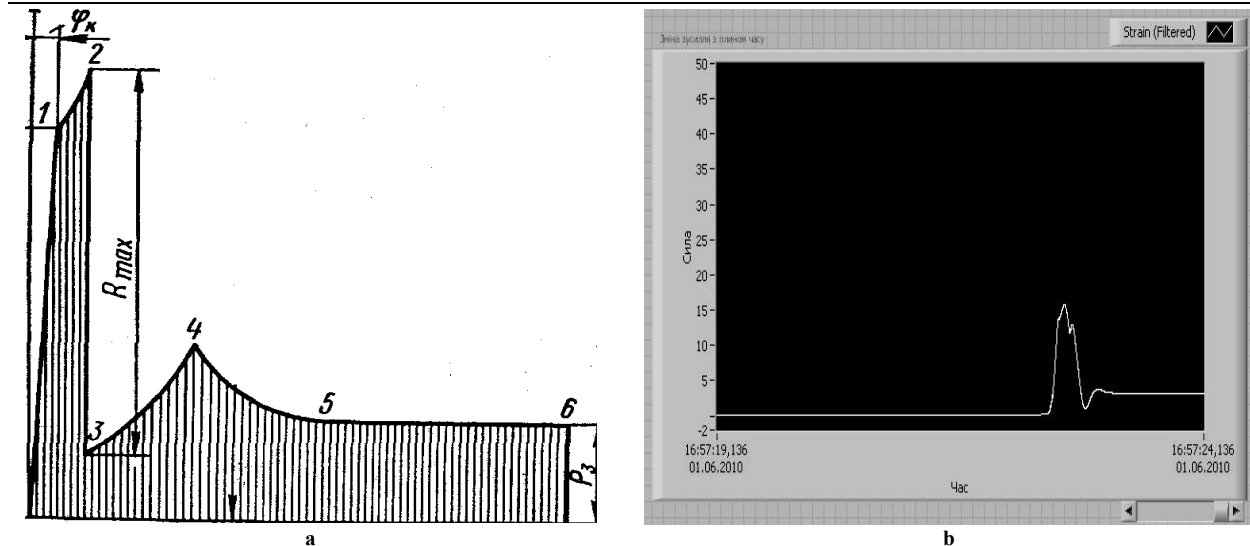


Fig. 4. Figure effort needle penetration material: a - theoretical graph; b - graph obtained experimentally using LabVIEW

Graphical interpretation of research results on fig. 5.

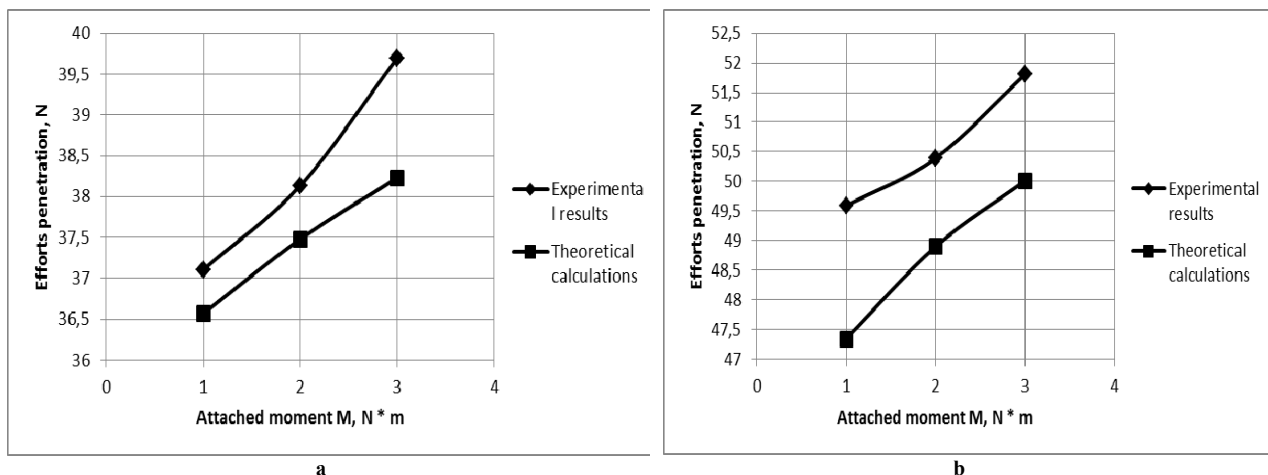


Fig. 5. Graph of the force applied to penetration point on the main shaft material thickness $t = 0,00205$ m to split leather GOST 1838-83 (a) for vinyl artificial TU 17-21-360-85 (b)

References

1. Shkira zavzhdy aktualna. URL : <http://megasite.in.ua/110794-shkira-zavzhdi-aktualna.html>
2. Maidan P.S. Udskonalennia protsesu avtomatyzovanoho skladannia zahotovok verkhу vztuttia z vykorystanniam universalnogo prystosuvannia : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.18.18 «Tekhnolohiia vztuttia, shkirianykh vyrobiv i khutra» / P.S. Maidan – Khmelnytskyi : KhNU, 2013. – 173 s.
3. Planirovanie eksperimenta v tehnologicheskikh issledovaniyah. Vinarskiy M. S., Lure M. V. – K. : "Tehnika", 1975. – 168 s.
4. Yascheritsyn P.I., Maharinskiy E.I. Planirovanie eksperimenta v mashinostroenii: Sprav. Posobie. – Vyish. Shk., 1985. – 286 s.
5. Tonkovid L.A. Avtomatizatsiya sborochnykh protsessov v obuvnom proizvodstve. – K. : Tehnika, 1984. – 248 s.
6. Prohrama dlia planuvannia esperimentalnykh doslidzhen "OptimizationModel&PlanningExperiment-02.041". URL : <http://mdop.sourceforge.net/>
7. Suranov A.Ya. LabVIEW 8.20: spravochnik po funktsiyam / Suranov A.Ya. – M. : DMK Press, 2007. – 536 s.
8. Vinogradov N.A. Razrabotka prikladnogo programmnoho obespecheniya v srede LabVIEW : [ucheb. posobie]. / Vinogradov N.A., Listratov Ya.I., Sviridov E.V. – M. : Izdatelstvo MEI, 2005. – 47 s.
9. LabVIEW: praktikum po osnovam izmeritelnykh tehnologiy: ucheb. posobie dlya vyissh. ucheb. zaved. / [Batorvin V.K., Bessonov A.S., Moshkin V.V., Papulovskiy V.F.]. – M. : DMK Press, 2005. – 208 s. : il.

Рецензія/Peer review : 7.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 28.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Славінська А.Л.

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО ЧИЩЕННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПЛАТТЯНО-КОСТЮМНИХ ТКАНИН

У статті наведені дослідження впливу хімічного чищення текстильних матеріалів з використанням еластанових ниток на їх зносостійкість. Досліджено зміни розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин після дії хімічного чищення. Проаналізовано їх вплив на формостійкість та зносостійкість тканин та виробів. З'ясовано, що механізм зношування залежить від волокнистого складу матеріалу, його будови (структури), особливостей оброблення і чинників зношування.

Ключові слова: хімічне чищення, зносостійкість, формостійкість, нитка еластин.

U.B. BUCHKIVSKA

Lviv Trade and Economic University

THE INFLUENCE OF CHEMICAL CLEANING ON THE WEAR-RESISTANCE OF DRESS AND SUIT TEXTILE

This article is aimed at the investigation of the influence of chemical cleaning of textile with elastane threads on their wear-resistance. The changes of tearing characteristics of dress and suit fabric after exposure to dry cleaning are investigated. Their influence on the shape stability and durability of fabrics and products is analyzed. It was found that the mechanism of wearing out depends on the fibrous composition of the material, its structure, processing peculiarities and factors of deterioration.

Keywords: dry cleaning, wear resistance, shape stability, elastane thread.

Вступ

Платтяно-костюмні тканини характеризуються дуже великою різноманітністю за волокнистим складом, особливостями будови та способами основного та заключного оброблення. Їх асортимент постійно змінюється під впливом моди за рахунок застосування нових видів волокон, розробки тканин нових структур і способів оброблення. Разом з тим, незалежно від гігієнічних властивостей, платтяно-костюмні тканини повинні характеризуватись необхідними механічними властивостями, гарантувати заданий термін експлуатації пошитих з них виробів, стабільність їх форми та розмірів при носінні [1].

У процесі експлуатації швейних виробів платтяно-костюмні тканини піддаються складному комплексу механічних дій: постійним деформаціям розтягу, згину, кручення а також тертя у разі зіткнення з іншою поверхнею. Дослідження впливу хімічного чищення є важливим критерієм при оцінюванні якості тканини, при обґрунтованому виборі її для виробів, при розробленні конструкції виробу та технологічного процесу його виготовлення.

Метою роботи являлось дослідження зміни фізичних властивостей платтяно-костюмних тканин після дії хімічного чищення.

Виклад основного матеріалу

Під зносостійкістю тканин розуміють їх здатність тривалий час протистояти дії комплексу руйнуючих зусиль, яким тканини піддаються в умовах експлуатації і внаслідок чого тканина зношується повністю або значно погіршує свої властивості і стає непридатною до подальшого використання [2].

Зносостійкість платтяно-костюмних тканин являється однією із найважливіших характеристик їх якості та довговічності. Механізм зношування – процес дуже складний, він залежить від волокнистого складу матеріалу, його будови (структури), особливостей оброблення і чинників зношування. До факторів, які впливають на зносостійкість текстильних матеріалів відносять хімічне чищення.

З метою видалення забруднень в процесі експлуатації їх піддають періодичним хімічним чищенням.

На ринку послуг пропонується нова технологія професійного хімічного чищення на водній основі на спеціальному обладнанні і з застосуванням відповідних препаратів – аквачистка. Для посилення миючої здатності води використовуються миючі засоби та препарати, що утворюють емульсії і перешкоджають зворотному проникненню забруднень у волокна. На відміну від розчинників, що застосовуються у звичайній хімчистці, вода не викликає алергічних реакцій, не є токсичною або канцерогенною речовиною. Препарати та засоби, які використовують у аквачистці не завдають шкоди довкіллю. У світовій практиці аквачистка – справжня і повноцінна альтернатива хімчисткам, що використовують зазвичай в якості розчинника тетрахлоретилен (перхлоретилен).

Тому було доцільним з'ясувати, як аквачистка досліджуваних нами тканин позначиться на зміні довговічності окремих їх компонентів композиції. З аналізу літературних даних випливає, що ступінь пошкодження одяжних тканин в процесі хімічних чищень залежить насамперед від їх волокнистого складу і способу оброблення, виду і ступеня забруднення, природи і концентрації миючих препаратів або розчинників, режиму хімічного чищення. При цьому в значених роботах основна увага приділяється переважно вивченню факторів, що впливають на руйнування волокнистої основи тканин.

Під час хімічного чищення поглинаюча тканинами теплова енергія перетворюється на енергію руху молекул і атомів, що призводить до послаблення міжмолекулярних зв'язків та збільшення рухомості молекул, що робить волокна менш міцними і більш схильними до деформації. В результаті цих дій

спостерігається зміна механічних властивостей платтяно-костюмних тканин: збільшення деформації, зниження міцності та ін. [3].

У табл. 1 наведені результати досліджень розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин після хімічного чищення (у чисельнику умовного дробу наведені дані за основою, а в знаменнику – за утком).

Таблиця 1

**Зміна розривальних характеристик досліджуваних
платтяно-костюмних тканин після хімічного чищення**

Варіант зразка	Товщина, мм	Поверхнева / лінійна густина, г/м ² , г/м пог.	Розривальне навантаження, Н		Відносне розривальне навантаження, Н·м/г		Видовження на момент розірвання, %	
			вихідні дані	після хімічного чищення	вихідні дані	після хімічного чищення	вихідні дані	після хімічного чищення
1	0,41	150	635 / 556	584 / 497	84,6 / 74,1	77,9 / 66,3	22 / 19	28 / 26
2	1,03	188	552 / 312	527 / 299	58,7 / 33,2	56,1 / 31,8	22 / 41	24 / 41
3	0,98	190	543 / 373	521 / 361	57,2 / 39,3	54,8 / 38,0	24 / 48	25 / 51
4	0,91	188	565 / 183	531 / 175	60,1 / 19,5	56,5 / 18,6	21 / 24	24 / 25
5	0,78	190	556 / 194	512 / 181	58,5 / 20,4	53,9 / 19,1	28 / 25	30 / 26
6	0,49	178	940 / 187	893 / 177	105,6 / 21,0	100,0 / 19,9	21 / 33	21 / 33
7	0,67	177	704 / 185	661 / 175	75,9 / 20,9	75,1 / 19,9	28 / 39	31 / 39
8	0,40	188	843 / 301	795 / 282	89,7 / 32,0	84,6 / 30,0	19 / 25	19 / 25
9	0,40	172	549 / 686	492 / 618	63,8 / 81,7	57,2 / 71,9	22 / 19	29 / 27
10	0,57	190	864 / 392	839 / 372	90,9 / 41,3	88,3 / 39,2	22 / 41	25 / 44

Найбільший спад показників розривального навантаження серед досліджуваних зразків тканин спостерігається у вар. 1 та вар. 9, у процесі дослідження вони знаходилися в межах від 90 % до 92 % порівняно з початковим значенням. Дані тенденції в змінах розривальних навантажень пояснюються особливостями будови цих зразків, найменшою товщиною (0,41 та 0,40 мм) та відсутністю еластанових ниток.

Найменша різниця у показниках розривального навантаження порівняно з початковими є у вар. 3 – 521 Н за основою та 354 Н за утком, він втратив лише 3,5 % своєї міцності. Даний зразок містить еластанові волокна, характеризується найвищим показниками лінійної густини (190 г/м пог.), товщини (0,98 мм) та щільності (252 – за основою, 193 – за утком)

Аналіз зміни розривального навантаження досліджуваних платтяно-костюмних тканин свідчить про особливу роль оброблення на зразках, яке забезпечує менше руйнування в процесі їх старіння. Це є дуже важливим фактором, особливо для оцінки їх експлуатаційних властивостей. Так, зразки, які піддавались обробленню – термостабілізації (вар. 2–8 та вар. 10) характеризуються найменшими втратами розривального навантаження (до 5 %), так як цей вид оброблення забезпечує менше руйнування матеріалів у процесі їхнього зношування.

Для оцінки розривальних характеристик досліджуваних платтяно-костюмних тканин розраховували відносне розривальне навантаження, яке враховує поверхневу/лінійну густину матеріалів і дозволяє порівнювати їх міцність. Так, у вар. 10 спостерігається більше значення відносного розривального навантаження (88,3 Н·м/г за основою та 39,2 Н·м/г за утком) при більшій лінійній густині (190 г/м пог.), ніж у вар. 7 (75,1 Н·м/г, 19,9 Н·м/г та 177 г/м пог. відповідно).

Аналіз табл. 1 свідчить, що величина видовження на момент розірвання платтяно-костюмних тканин залежить від видовження волокон. Також суттєву роль відіграють елементи будови та способи оброблення цих матеріалів. Зразки вар. 2–8 та 10, які містять еластанові волокна, пройшли термофіксацію, що призвело до зменшення розтяжності тканини. У досліджуваних зразків вар. 6 та вар. 8 показники видовження на момент розірвання залишилися незмінними. У всіх інших досліджуваних зразках спостерігається незначне збільшення видовження на момент розірвання.

Досліджено, що у зразків тканин вар. 1 та вар. 9, які не містять еластанових волокон, спостерігається збільшення видовження на момент розірвання на 26–30 %, порівняно з вихідними даними.

Аналіз зміни показників жорсткості платтяно-костюмних тканин до і після хімічного чищення дозволяє спрогнозувати формостійкість та довговічність досліджуваних платтяно-костюмних тканин та виробів з них. Результати дослідження представлені у табл. 2.

Із табл. 2 випливає, що під дією хімічного чищення відбувається незначне зниження жорсткості у досліджуваних зразках, які містять еластанові волокна. Як і всі механічні властивості, жорсткість платтяно-костюмних тканин залежить від їх волокнистого складу, будови, властивостей волокон та ниток, а також від будови та оброблення самого матеріалу.

Після аналізу отриманих даних, можна відзначити, що найбільшою вихідною жорсткістю із досліджуваних еластановмісних тканин характеризується зразок вар. 8, який становить $4,37 \cdot 10^3$ мкН·см² за

основою та $1,52 \cdot 10^3$ мкН·см² за утком, а після проведення хімічного чищення показник жорсткості зменшився і склав $3,97 \cdot 10^3$ мкН·см² за основою та $1,26 \cdot 10^3$ мкН·см² за утком.

Значний вплив на жорсткість мають вид переплетення, щільність та маса текстильних матеріалів. Переплетення платтяно-костюмних тканин є одним із важливих факторів, які впливають на жорсткість тканини. Із зменшенням довжини перекриття і збільшенням числа зв'язків між основними й утковими нитками жорсткість тканини збільшується. Так, зразок вар. 8 характеризується полотняним переплетенням і найвищою вихідною жорсткістю, яка становить $4,37 \cdot 10^3$ мкН·см².

Спеціальні види оброблення впливають на жорсткість платтяно-костюмних тканин. Тканини, які в процесі виготовлення піддавалися термостабілізації (вар. 2–8 та вар 10), після хімічного чищення характеризуються стабільністю значень.

Таблиця 2

Вплив хімічного чищення на показники жорсткості досліджуваних платтяно-костюмних тканин

Варіант зразка	Товщина, мм	Поверхнева / лінійна густина, г/м ² , г/м пог.	Щільність, кількість ниток на 10 см		Жорсткість, мкН·см ² ·10 ³		Коефіцієнт жорсткості, %	
			основа	уток	вихідні дані	після хімічного чищення	вихідні дані	після хімічного чищення
1	0,41	150	192	190	4,16 / 2,46	5,48 / 2,96	1,69	1,85
2	1,03	188	230	193	2,82 / 0,91	2,59 / 0,87	3,10	2,56
3	0,98	190	252	193	2,18 / 0,82	2,15 / 0,84	2,66	2,56
4	0,91	188	200	192	1,64 / 0,58	1,18 / 0,54	2,83	2,18
5	0,78	190	244	193	1,74 / 0,76	1,46 / 0,69	2,29	2,12
6	0,49	178	210	189	1,47 / 0,79	1,13 / 0,68	1,86	1,66
7	0,67	177	231	192	2,48 / 0,83	2,01 / 0,76	2,99	2,64
8	0,40	188	240	198	4,37 / 1,52	3,97 / 1,26	2,88	3,15
9	0,40	172	196	182	4,72 / 2,11	5,83 / 3,77	2,24	1,55
10	0,57	190	228	194	3,12 / 0,96	2,81 / 0,82	3,25	3,43

Отже, після аналізу отриманих даних, можна відзначити, що внаслідок хімічного чищення – аквачистки – показники жорсткості та розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин суттєво не змінилися.

Висновки

Випробування, проведені у лабораторних умовах, показали, що розроблені зразки платтяно-костюмних тканин, які містять еластанові нитки, володіють стабільно високими показниками механічних властивостей після дії хімічного чищення, що забезпечує стабільність форми та розмірів виробів при носінні.

Перспективами подальших досліджень у даному напрямі є дослідження залежності повітропроникності платтяно-костюмних тканин після термічних та хімічних обробок у взаємозв'язку зі змінами їхньої м'якості та вибір оптимальних рецептур пом'якшувального розчину для впровадження у технологічний процес виготовлення тканин.

Література

1. Pelyk L. New tendencies of using the modified polyamide and aramide of fibres and filaments / L. Pelyk., U. Gileta // Engineering and methodology of modern technology : monograph ; edited by G. Paraska, J. Kowal. – 2012. – P. 60–66/
2. Гілета У.Б. Текстильні матеріали на основі поліуретанових волокон / У. Б. Гілета // Товарознавчий вісник : збірник наукових праць ; відп. ред. Байдакова Л.І. – Луцьк : ЛНТУ, 2012. – Випуск 5. – С. 44–50.
3. Прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів побутового призначення : монографія / [А.М. Слізков та ін.] ; Міністерство освіти і науки України, Київський національний університет технологій та дизайну. – Київ : КНУТД, 2013. – 222 с.
4. Тебляшкіна Л. І. Хімічна технологія текстильних матеріалів : навчальний посібник / Л.І. Тебляшкіна, В.П. Нездоровін. – Хмельницький : Хмельницький національний університет, 2015. – 323 с.

Рецензія/Peer review : 29.09.2016 р.

Надрукована/Printed : 28.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., професор Пелик Л.В.

УДК 579.63:613.41+613.495

Р.В. КАЧАН, О.А. АНДРЕЄВА

Київський національний університет технологій та дизайну

СТВОРЕННЯ АНТИМІКРОБНОЇ КОМПОЗИЦІЇ

Роботу присвячено розробці вітчизняного антимікробного засобу для санації слизових оболонок статевих органів жінки від транзиторної мікрофлори. На першому етапі експерименту вивчали антимікробну здатність різних речовин як потенційних компонентів створюваного засобу. На другому етапі на основі активної діючих речовин з найбільш вираженими антимікробними властивостями створили композицію, ефективність якої визначали за допомогою кількісних суспензійних тестів і тест-мікроорганізми, які є показовими при запальних процесах статевої системи жінок. В результаті проведених досліджень було створено ефективний антимікробний засіб, який протягом 10-хвилинної експозиції забезпечує 100 % знезараження від *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *C. albicans*.

Ключові слова: активні діючі речовини, антимікробна активність, антимікробна композиція.

R.V. KACHAN, O. A. ANDREEVA

Kyiv National University of Technologies and Design

CREATING ANTIMICROBIAL COMPOSITION

The article is devoted to the development of national antimicrobial agent for sanitation mucous membranes of the genitals of women transient microflora. The study used a test microorganisms which are indicative of inflammatory processes of female reproductive system. The effectiveness of the new product determined using quantitative suspension tests. Investigated a large number of agents that possess antimicrobial ability. The first phase of the study determined the ability of antimicrobial substances in the second - directly created and defined composition effective modes of application. The composition was created based on two active-active components, because of the spread-spectrum antimicrobial activity and the shortening or complete absence of microorganisms to adapt the composition. As a result of the research have effective antimicrobial agent based on a mixture of guanides and benzalkonium chloride, which provides 100% disinfection of *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *C. albicans* within 10 minutes. former position.

Keywords: means for decontamination, antimicrobial activity, a mixture guanidiniv, benzalkonium chloride.

Вступ

У наш час імунна система людини ослаблена через вплив багатьох негативних чинників, до яких можна віднести забруднення навколишнього середовища, малу рухливість, нераціональне харчування (наприклад, надмірне споживання вуглеводів), невірне використання лікарських засобів. Внаслідок цього організм людини стає нездатним чинити опір зовнішнім загрозам і, перш за все, дії умовно-патогенних мікроорганізмів. При нормальному стані імунної системи умовно-патогенна мікрофлора безпечна для людини, оскільки гармонічно існує з її організмом. Але в ослабленому організмі вона може викликати безліч захворювань, у тому числі мікробне ураження шкіри, носоглотки, дихальної системи, органів травлення, статевої системи тощо [1].

У значній кількості жінок умовно-патогенна мікрофлора викликає запальні процеси статевої системи. Найчастіше збудниками таких процесів є *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Pseudomonas aeruginosa* [2]. Тому для лікування нетяжких випадків інфекції статевої системи жінок ефективною є монотерапія місцевими антимікробними засобами, а у тяжких випадках – комплексна терапія з використанням місцевих антимікробних засобів та препаратів загальної дії [2]. Найбільш зручним та ефективним місцевим методом лікування інфекцій статевої системи є застосування гелів для інтимної гігієни [2].

На жаль, на сучасному українському ринку домінують іноземні гігієнічні засоби, які не може собі дозволити переважна більшість населення через девальвацію національної валюти. Тому актуальним завданням є створення доступного, сучасного вітчизняного засобу для інтимної гігієни, який має антимікробну здатність щодо показової мікрофлори й не чинить негативний вплив на організм людини.

До складу переважної більшості вітчизняних засобів для інтимної гігієни входять поверхнево-активні речовини (ПАР), рослинні екстракти, іноді лимонна або молочна кислоти, гліцерин, ароматизатори, барвники.

Розчини ПАР мають лише м'яку здатність, не володіють антимікробними властивостями і можуть викликати подразнення слизових оболонок статевої системи [3]. Рослинним екстрактам притаманна слабо виражена протизапальна здатність, крім того, вони виявляють дубильні властивості щодо слизової оболонки статевої системи. Вираженої антимікробної здатності рослинні екстракти не мають [3]. Лимонну та молочну кислоти додають з метою зниження рН засобу, щоби наблизити його до рН органів статевої системи жінки. Використання згаданих кислот обумовлюється також і їх антимікробною дією, щоправда, у доволі вузькому діапазоні. Ще одним компонентом вітчизняних засобів для інтимної гігієни є гліцерин, що широко застосовується у косметології як ефективний зволожувач шкіри. Проте, на думку косметологів, постійне використання гліцерину негативно позначається на шкірі, оскільки, створюючи уявний зовнішній ефект зволоження, він насправді висушує шкіру внаслідок дегідратації її окремих шарів [3]. Таким чином, переважна більшість складових існуючих засобів для інтимної гігієни не лише нездатна забезпечити належний лікарський ефект, а, навпаки, чинять негативний вплив, викликаючи подразнення, свербіж та

сухість тощо слизових оболонок статевих органів. З урахуванням викладеного, метою роботи було створення ефективного вітчизняного антимікробного засобу для санації слизових оболонок статевих органів жінки від транзиторної мікрофлори.

Матеріали та методи

Для виявлення антимікробних (бактерицидних, фунгіцидних) властивостей активної речовини як інгредієнтів створеного засобу у роботі використали метод дифузії в агар, який полягає у встановленні ефективних концентрацій досліджуваних речовин проти певного виду або асоціації мікроорганізмів [4]. Дослідження ефективних бактерицидних та фунгіцидних режимів нового засобу проводили за допомогою кількісних суспензійних тестів [5, 6]. З метою точного визначення ефективного режиму засобу, після закінчення його експозиції, проводили інактивацію залишкової активності засобу, застосовуючи нейтралізатор. У якості останнього використали лауроілсульфат натрію (4 г/дм³), який застосовується для катіоактивних ПАР, оскільки активні компоненти створюваного препарату відносяться саме до цього класу сполук. Дослідження проводили у трьох повторах. У якості тест-культури використали мікроорганізми *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Candida albicans* ATCC 10231, штами яких отримані з музейної колекції Інституту епідеміології та інфекційних хвороб імені Л.В. Громашевського АМН України. У роботі задіяли добові культури мікроорганізмів, культивовані на поживних середовищах – м'ясо-пептонному агарі (МПА) та Сабуро (виробник – компанія «HiMedia Laboratories Pvt. Limited», Індія) при температурі 37 °С. Для вирощування та інкубації мікроорганізмів застосували термостат ТС-80М-2. Концентрацію бактеріальних суспензій та *Candida albicans* визначали за допомогою нефелометра Densi-La-Meter-2. Перемішування розчинів здійснювали за допомогою змішувача Vortex V1 plus.

Бактеріальні тестові мікроорганізми вирощували на середовищі МПА, дріжджеподібну культуру – на середовищі Сабуро. Після культивування протягом 24 год при 37 °С готували мікробну суспензію. Досліджуваний засіб тестували без розведення змішуванням 8 мл продукту з 1 мл води та з 1,0 мл мікробної суспензії концентрацією $2 \cdot 10^8$ КУО/мл. Через 5,0 та 10,0 хв \pm 10 с 1 мл суміші мікроорганізмів, води та продукту переміщали в ємність з 8 мл нейтралізатора і 1 мл води. Після п'яти хвилинної нейтралізації виконували послідовні розведення та 1 мл аліквоти культивували на поживному середовищі в чашках Петрі при температурі 36 °С протягом 96 год. Далі проводили підрахунок колоній і визначали ступінь знезараження. Кожний дослід повторювали тричі. Статистичну обробку результатів проводили за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Office Excel 2007.

Таблиця 1

Антимікробна активність досліджуваних речовин

Речовина	Концентрація, %	Зона інгібування, см			
		<i>Candida albicans</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Нітрат срібла	1,0	1,2 \pm 0,0	1,4 \pm 0,1	1,4 \pm 0,0	1,4 \pm 0,0
	0,5	1,1 \pm 0,1	1,2 \pm 0,0	1,2 \pm 0,0	1,2 \pm 0,1
	0,25	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0
Прополіс	100	0,9 \pm 0,1	1,1 \pm 0,0	1,0 \pm 0,1	1,0 \pm 0,0
	50,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0
Бензалконію хлорид	1,0	3,7 \pm 0,2	3,6 \pm 0,1	3,8 \pm 0,2	3,5 \pm 0,1
	0,5	3,2 \pm 0,0	3,1 \pm 0,1	3,3 \pm 0,1	2,9 \pm 0,0
	0,25	2,7 \pm 0,0	2,7 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	2,5 \pm 0,0
	0,125	1,6 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,9 \pm 0,0	1,6 \pm 0,0
	0,06	1,3 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,3 \pm 0,0	1,3 \pm 0,0
	0,03	1,4 \pm 0,0	1,4 \pm 0,1	1,3 \pm 0,0	1,3 \pm 0,0
	0,015	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0
Феноксіетанол	1,0	1,4 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	1,4 \pm 0,0	1,4 \pm 0,0
	0,5	1,1 \pm 0,0	1,2 \pm 0,0	1,2 \pm 0,0	1,2 \pm 0,0
	0,25	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0
Суміш гуанідинів	1,0	2,4 \pm 0,1	3,1 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	3,0 \pm 0,0
	0,5	2,0 \pm 0,0	2,6 \pm 0,0	2,4 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1
	0,25	1,6 \pm 0,1	2,3 \pm 0,0	2,1 \pm 0,0	2,2 \pm 0,0
	0,12	1,3 \pm 0,0	1,8 \pm 0,1	1,6 \pm 0,0	1,7 \pm 0,1
	0,06	0,0 \pm 0,0	1,6 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1
	0,03	0,0 \pm 0,0	1,4 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,3 \pm 0,0
	0,015	0,0 \pm 0,0	1,3 \pm 0,0	1,2 \pm 0,0	1,2 \pm 0,0
0,0075	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	

Результати та їх обговорення

На першому етапі дослідження визначали, які безпечні речовини можуть бути використані у якості активніючих складових розроблюваного засобу. При цьому при виборі потенційних активніючих речовин звертали увагу на їх ефективність та безпечність. Результати визначення антимікробної активності тестованих речовин наведені в таблиці 1.

На підставі отриманих даних найбільш виражені антимікробні властивості виявлено у бензалконію хлориду та суміші гуанідинів. Тому у подальшому в якості активніючих речовин нового засобу використали саме ці інгредієнти у такому складі: суміш гуанідинів – 0,4 %; бензалконію хлорид – 0,2 %; решта – молочна кислота, гелеутворювач та вода. При цьому врахували, що суміш гуанідинів має більш виражені бактерицидні, а бензалконію хлорид – фунгіцидні властивості.

Таблиця 2

Специфічна антимікробна активність розробленої композиції

П.ч.	Тест-культура	Зразок	Експозиція, хв	Знезараження, %
1	<i>Candida albicans</i>	Новий засіб	5,0 ± 10 с	67,000 ± 0,001
2	<i>Candida albicans</i>	Новий засіб	10,0 ± 10 с	100,000 ± 0,001
3	<i>Candida albicans</i>	Контроль	5,0; 10,0 ± 10 с	0,000 ± 0,000
4	<i>Staphylococcus aureus</i>	Новий засіб	5,0 ± 10 с	81,000 ± 0,001
5	<i>Staphylococcus aureus</i>	Новий засіб	10,0 ± 10 с	100,000 ± 0,001
6	<i>Staphylococcus aureus</i>	Контроль	5,0; 10,0 ± 10 с	0,000 ± 0,001
7	<i>Escherichia coli</i>	Новий засіб	5,0 ± 10 с	98,900 ± 0,001
8	<i>Escherichia coli</i>	Новий засіб	10,0 ± 10 с	100,0 ± 0,001
9	<i>Escherichia coli</i>	Контроль	5,0; 10,0 ± 10 с	0,000 ± 0,001
10	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Новий засіб	5,0 ± 10 с	87,687 ± 0,001
11	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Новий засіб	10,0 ± 10 с	100,000 ± 0,001
12	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Контроль	5,0; 10,0 ± 10 с	0,000 ± 0,001

Згадані активніючі речовини належать до катіоактивних ПАР, тому добре поєднуються, посилюючи свої властивості. Вибір композиції зумовлений також необхідністю подовження періоду адаптації мікроорганізмів до нового засобу або взагалі попередження формування резистентних форм.

Виходячи з одержаної інформації, на другому етапі дослідження встановлювали ефективні режими застосування нової композиції. У таблиці 2 наведено результати визначення антимікробної здатності композиції. Для порівняння у якості контролю використали гель без антимікробних речовин.

Висновки

Одержані експериментальні дані свідчать про ефективність антимікробної композиції щодо всього спектру досліджених умовно-патогенних мікроорганізмів. Встановлено, що 10-тихвилинна експозиція розробленої композиції забезпечує 100 % знезараження щодо таких мікроорганізмів, як *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* та *Pseudomonas aeruginosa*.

Література

1. Хірургічні інфекції : монографія / А. Г. О. Салманов – К. : Кондор, 2011. – 374 с.
2. Гінекологія : підручн. для лікарів-інтернів / за ред. В. І. Грищенко. – Х. : Основа, 2003. – 728 с.
3. Технология косметических и парфюмерных средств : учеб. пособие для студентов фармац. спец. высш. учеб. заведений / А. Г. Башура, Н. П. Половка, Е. В. Гладух и др. – Х. : Изд-во НФАУ: Золотые страницы, 2002. – 272 с.
4. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. Методические указания МУК 4.2. 1890-04 / Семина Н. А., Сидоренко С. В., Страчунский Л. С., Стецюк О. У., Козлов Р. С., Эйдельштейн М. В., Ведьмина Е. А., Столярова Л. Г., Власова И. В., Серeda З. С. // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2004. – Том 6, № 4. – С. 306–359.
5. ДСТУ EN 1040:2004. Засоби хімічні дезінфекційні та антисептичні. Основна бактерицидна активність.
6. ДСТУ EN 1275:2004. Засоби хімічні дезінфекційні та антисептичні. Основна фунгіцидна активність.

Рецензія/Peer review : 22.9.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мокроусова О.Р.

УДК 613.485

О.М. КУНИК, Д.Г. САРИБСКОВА, Л.В. САЛЄБА, Р.В. ГАРГАУН, Г.С. САРИБЕКОВ

Херсонський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИОКСИДАНТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ ОБЛІПХИ ТА КІСТОЧОК ГРЕЙПФРУТУ В ЛАНОЛІНОВОМУ КРЕМІ ДЛЯ РУК

В статті проведено дослідження антиоксидантних властивостей рослинних екстрактів обліпхи та кісточок грейпфруту у ланоліновому кремі для рук. На основі отриманих результатів розроблено рецептуру ланолінового крему для рук з антиоксидантними властивостями, досліджено органолептичні та фізико-хімічні властивості запропонованого косметичного засобу. Визначено, що застосування досліджуваних рослинних екстрактів у складі ланолінового крему дозволяє запобігти окислювальному псуванню косметичного засобу.

Ключові слова: крем для рук, антиоксиданти, рослинні екстракти.

A.N. KUNIK, D.G. SARIBYEKOVA, L.V. SALEBA, R.V. GARGAUN, G.S. SARIBEKOV

Kherson National Technical University

RESEARCH OF ANTIOXIDANT PROPERTIES OF HERBAL EXTRACT OF SEA BUCKTHORN AND GRAPEFRUIT SEED IN LANOLIN HAND CREAM

The paper studied the antioxidant properties of herbal extracts of sea buckthorn and seed of grapefruit in lanolin hand cream. The sensory, physical and chemical parameters of cold cream were determined according to DSTU 4765: 2007 «Cosmetic creams. General technical conditions». The antioxidant properties of the ferricyanide method were determined by the ability of the samples to recover iron ferricyanide complex is Prussian blue. The acid number of cold cream was determined in accordance with DSTU 4767: 2007 «Cosmetic oils. General technical conditions». Based on the results of developed are compounding lanolin hand cream with antioxidant properties, studied organoleptic, physical and chemical properties of the proposed cosmetics. Determined that the use of investigated herbal extracts in the composition of lanolin cream are prevented oxidative deterioration of cosmetics.

Keywords: hand cream, antioxidants, herbal extracts.

Постановка проблеми

В холодну пору року внаслідок впливу несприятливих погодних факторів стан шкіри рук, нігтів і кутикули погіршується через різке звуження судин і недостатнє живлення шкіри. Порушення водно-ліпідної мантії шкіри призводить до втрати її захисних функцій, шкіра рук починає червоніти, з'являються тріщини і ранки.

Належний догляд за шкірою рук в осінньо-зимовий період включає застосування спеціальних захисних кремів, різновидом яких є емульсійний ланоліновий крем для рук типу «олія у воді». Основними складовими ланолінового крему є власне ланолін – натуральний віск тваринного походження, який отримують шляхом очищення жиру з овечої вовни, рицинова олія, гліцерин, стеаринова кислота, бура та вода. Завдяки здатності ланоліну вбирати і утримувати в собі велику кількість води застосування такого крему забезпечує належне зволоження шкіри і постійне підтримання необхідного водного балансу.

З недавнього часу великою перевагою будь-якого косметичного засобу прийнято вважати наявність у ньому антиоксидантів – сполук, які захищають клітини від потенційно шкідливих ефектів чи реакцій, які можуть викликати надмірне окислення в організмі [1]. І хоча функціональна роль антиоксидантів в косметичних засобах сприймається досить скептично, через локальний вплив на поверхневий шар шкіри, встановлено, що антиоксиданти добре загоюють мікротравми, знімають запалення і створюють бар'єр для ультрафіолету – головного чинника фото-старіння [2–4].

Найефективнішими для шкіри вважаються креми з вмістом природних антиоксидантних речовин чи складів – рослинних витяжок з флавоноїдами та натуральних масел, які окрім антиоксидантних сполук додатково містять комплекс поживних речовин (мікро- та макроелементи, вітаміни). Крім того природні антиоксиданти захищають косметичні засоби від окисного псування, що особливо важливо, оскільки ланоліновий крем через високий вміст ненасичених жирних кислот схильний до швидкого окиснення. Тому дослідження антиоксидантних властивостей рослинних екстрактів у косметичних засобах для шкіри рук представляє безумовний інтерес.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Авторами [5] розроблено технології отримання емульсійних кремів лікувально-профілактичної дії з водними і олійними витяжками з квіток календули, плодів горобини та трави звіробою. Досліджено органолептичні, фізико-хімічні та реологічні властивості отриманих косметичних засобів.

У роботі [6] представлено технологію отримання косметичного крему на основі водної стабілізованої витяжки з трави меліси лікарської. Склад крему, %: кокосового масла 5,0; емульгатора Т-2 5,0; ланоліну безводного 5,0; масла какао 5,0; скипидару 5,0; настою меліси 1:20 до 100,0.

Дослідниками [7] визначено антиоксидантну активність ефірних олій чорного і білого перцю (*Piper nigrum* L.). На основі отриманих результатів ефірні олії чорного і білого перцю запропоновано у якості нового потенційного джерела природних антиоксидантів для виробництва косметичних засобів збагачених антиоксидантами.

Авторами [8] двома електрохімічними методами (амперметричним і вольт-амперметричним) визначено сумарний вміст антиоксидантів та їх активність до кисню і його радикалів у водному екстракті м'яти перцевої (*Mentha Piperita L.*). Виявлено динаміку цих параметрів в перші години після заварювання, дано пояснення отриманих результатів з точки зору складу м'яти.

Аналіз науково-технічної літератури свідчить про широке застосування рослинних екстрактів у якості антиоксидантних складових косметичних засобів по догляду за шкірою.

Слід відмітити, що одними з найбільш перспективних джерел природних антиоксидантів є компоненти екстрактів обліпихи та кісточок грейпфруту, що містять кілька класів поліфенолів: антоціани, фенолокислоти, флавоноли, лейкоціанідин, катехіни і їх олігомери проантоціанідини, звані танінами, каротин та ефірні олії [9, 10]. Тому їх застосування в якості біологічно активної складової при виробництві косметичних виробів, вивчення їх антиоксидантних властивостей і фізіологічного впливу на шкіру актуально і перспективно.

Формулювання мети дослідження

Мета роботи полягала в дослідженні антиоксидантних властивостей рослинних екстрактів обліпихи та кісточок грейпфруту у ланоліновому кремі для рук.

Викладення основного матеріалу

У якості антиоксидантних компонентів обрано рослинні екстракти обліпихи (*Hipporhae rhamnoides extract*) та кісточок грейпфруту (*Citrus Grandis Seed, Glycerin*). Концентраційні межі досліджуваних в роботі екстрактів були обрані на основі рекомендацій щодо застосування даних речовин [11, 12].

Антиоксидантні властивості досліджуваних у роботі рослинних екстрактів визначали феррицианідним методом за здатністю екстрактів відновлювати залізо-феррицианідний комплекс Берлінської блакиті (табл. 1). В якості розчину порівняння використовували 20-відсотковий розчин аскорбінової кислоти.

Таблиця 1

Антиоксидантна активність водних розчинів екстракту обліпихи та кісточок грейпфруту

Розчин порівняння (аскорбінова кислота)	Екстракт обліпихи			Екстракт кісточок грейпфруту		
	Концентрація, %					
20	0,5	1,3	2	0,1	0,5	1
	Оптична густина					
0,530	0,726	0,895	0,728	0,538	0,473	0,484

Згідно з даними, представленими в табл. 1, оптична густина 20-відсоткового розчину аскорбінової кислоти становить 0,530, тоді як оптична густина 0,5-відсоткового розчину екстракту обліпихи складає 0,726 (на 37% більше). При збільшенні концентрації екстракту обліпихи до 1,3% оптична густина розчину збільшується на 69% – 0,895, однак наступне збільшення концентрації обліпихи до 2% призводить до зниження здатності екстракту обліпихи відновлювати залізо-феррицианідний комплекс Берлінської блакиті – 0,728. Оптична густина 0,1-відсоткового розчину екстракту кісточок грейпфруту практично не відрізняється від оптичної густини 20-відсоткового розчину аскорбінової кислоти і складає 0,538. При збільшенні концентрації екстракту грейпфрутових кісточок до 0,5% оптична густина розчину зменшується на 11% і складає – 0,473, наступне збільшення концентрації грейпфрутових кісточок до 1% також призводить до зниження здатності екстракту відновлювати залізо-феррицианідний комплекс Берлінської блакиті – 0,484, що на 9% менше ніж у розчина порівняння.

Отриманні результати можна пояснити тим, що кожен антиоксидант має свої концентраційні межі, зокрема екстракт обліпихи проявляє найбільшу антиоксидантну активність у концентрації 1,3%. Концентрації, при яких екстракт кісточок грейпфруту проявляє найкращі антиоксидантні властивості, лежать у діапазоні низьких значень (0,1%).

Ланоліновий крем для рук готували за класичною рецептурою, наведеною в табл. 2.

Гідрофобні речовини (касторова олія, ланолін, стеаринова кислота) розплавляли в склянці на водяній бані при $t \sim 80^{\circ}\text{C}$ до повного розчинення твердих компонентів. Паралельно в другій склянці розчиняли в розрахованій кількості води гідрофільні речовини (гліцерин, бура) та нагрівали на водяній бані до такої ж температури (80°C).

У склянку з масляною фазою поміщали міксер і в процесі перемішування поступово невеликими порціями додавали гарячу водну фазу. Такий режим емульгування називають «гарячий/гарячий». В процесі емульгування періодично вимірювали температуру суміші. Після охолодження суміші до $t = 45 - 50^{\circ}\text{C}$ додавали ефірну олію лимону.

Після додавання ефірної олії перемикали міксер на мінімальну швидкість і продовжували

Таблиця 2

Рецептура ланолінового крему

Компонент	Масова доля, %
Касторова олія	10,0
Ланолін	3,0
Стеаринова кислота	10,0
Бура	1,5
Гліцерин	4,0
Ефірна олія лимону	0,02
Дистильована вода	71,48

емульгування до досягнення $t = 30 - 32^{\circ}\text{C}$.

Для надання ланоліновому крему для рук антиоксидантних властивостей до його складу після процесу охолодження додавали екстракти обліпихи та кісточок грейпфруту у концентраціях, що забезпечують оптимальний антиоксидантний ефект (табл. 1). Антиоксидантна активність зразків ланолінового крему для рук, визначена за ферриціанідним методом, представлена в табл. 3.

Таблиця 3

Антиоксидантна активність зразків ланолінового крему

Розчин порівняння (аскорбінова кислота)	Базовий зразок ланолінового крему	Ланоліновий крем з додаванням екстракту обліпихи	Ланоліновий крем з додаванням екстракту кісточок грейпфрута
Концентрація, %			
20	-	1,3	0,1
Оптична густина			
0,53	0,58	1,33	1,31

Згідно з даними, представленими в табл. 3, оптична густина розчину порівняння становить 0,53, тоді як оптична густина базового зразка крему складає 0,58, тобто зразок крему без екстрактів також проявляє антиоксидантну активність. При внесенні до складу зразків крему рослинних екстрактів обліпихи та кісточок грейпфруту показники антиоксидантної активності значно підвищуються. Так, зразок крему з екстрактом обліпихи у концентрації 1,3% має показник оптичної густини 1,33, що в 2,5 рази перевищує контрольний зразок. Показник антиоксидантної активності крему з екстрактом грейпфрутових кісточок складає 1,31, що також перевищує значення розчину порівняння в 2,5 рази.

Органолептичні та фізико-хімічні показники ланолінового крему для рук з додаванням рослинних екстрактів обліпихи та кісточок грейпфруту визначали згідно з ДСТУ 4765: 2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови» (табл. 4).

Таблиця 4

Органолептичні та фізико-хімічні показники зразків ланолінового крему

Показник	Концентрація екстракту обліпихи, %	Концентрація екстракту кісточок грейпфрута, %	Базовий зразок
	1,3	0,1	
Зовнішній вигляд	Однорідна текстура з в'язкою консистенцією, без сторонніх домішок		
Колір	Білий колір, без сторонніх відтінків та крапель		
Запах	Властивий запах даного крему		
Колоїдна стабільність	Стабільний		
Термостабільність	Стабільний		
Водневий показник (pH)	8,1	8,0	7,9

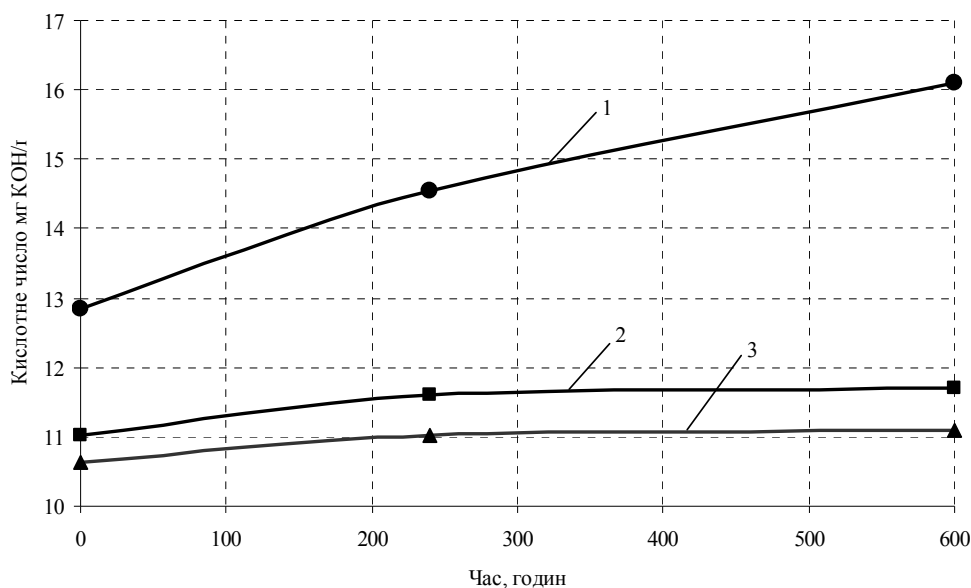


Рис. 1. Кислотне число зразків ланолінового крему:
 1 – базовий зразок; 2 – ланоліновий крем з додаванням екстракту обліпихи 1,3%;
 3 – ланоліновий крем з додаванням екстракту кісточок грейпфруту 0,1%

Проаналізувавши отримані дані (табл. 4), можна зробити висновок, що приготований базовий крем та креми з додаванням досліджуваних рослинних екстрактів відповідають вимогам ДСТУ 4765: 2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови».

Для дослідження впливу рослинних екстрактів на окислювальне псування ланолінового крему в роботі проводили визначення кислотного числа зразків крему одразу після приготування косметичного засобу, потім через 240 годин (10 діб) та 600 години (25 діб). Результати дослідження представлені на рис. 1.

Згідно з даними, представленими на рис. 1, кислотне число базового зразка ланолінового крему, виміряне одразу після приготування косметичного засобу, на декілька одиниць відрізняється від зразків крему з додаванням рослинних екстрактів (12,84 мг КОН/г на відміну від 11,02 мг КОН/г (екстракт обліпихи) та 10,64 мг КОН/г (екстракт кісточок грейпфрута)). Під час останнього вимірювання кислотне число базового зразка ланолінового крему зросло до 16,1 мг КОН/г, тоді як кислотне число зразків крему з додаванням рослинних екстрактів залишилося майже без змін.

Висновки

1. В результаті аналізу науково-технічної літератури доведена перспективність використання рослинних екстрактів у якості антиоксидантних компонентів косметичних засобів для шкіри рук.

2. Феррицианідним методом визначено, що рослинні екстракти обліпихи та кісточок грейпфрута володіють високими антиоксидантними властивостями, які оптимально проявляються у концентрації 1,3% та 0,1% відповідно.

3. Розроблено два варіанти складу ланолінового крему для рук з антиоксидантними властивостями на основі використання рослинних екстрактів обліпихи та кісточок грейпфруту у концентрації 1,3% та 0,1% відповідно.

4. У результаті органолептичних та фізико-хімічних досліджень встановлено, що запропоновані варіанти складу ланолінового крему для рук відповідають вимогам ДСТУ 4765: 2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови».

5. Під час дослідження можливості використання рослинних екстрактів обліпихи та кісточок грейпфрута у якості консервантів визначено, що додавання до складу ланолінового крему для рук екстрактів обліпихи та кісточок грейпфруту призводить до зниження кислотного числа з 16,1 мг КОН/г до 11,66 – 11,3 мг КОН/г, що дозволить збільшити термін зберігання косметичного засобу.

Література

1. Kusumawati I. Natural Antioxidants in Cosmetics / I. Kusumawati, G. Indrayanto // *Studies in Natural Products Chemistry*. – 2013. – Vol. 40. – P. 485 – 505.
2. Ramos-e-Silva M. Anti-aging cosmetics: Facts and controversies / M. Ramos-e-Silva, L.R. Celem, S. Ramos-e-Silva, A.P. Fucci-da-Costa // *Clinics in Dermatology*. – 2013. – Vol. 31, Issue 6. – P. 750 – 758.
3. Chen L. The role of antioxidants in photoprotection: A critical review / L. Chen, J.Y. Hu, S.Q. Wang // *Journal of the American Academy of Dermatology*. – 2012. – Vol. 67, Issue 5. – P. 1013 – 1024.
4. Эрнандес Е.И. Как выбирать антиоксидантную косметику / Е.И. Эрнандес // *Косметика и медицина*. – 2010. – № 1. – С. 60 – 67.
5. Бабиян Л.К. Разработка технологии и исследование лечебно-косметических кремов с фитокомпонентами [Электронный ресурс] / Л.К. Бабиян, Н.И. Шрамм, В.И. Трухина, М.А. Чиркова, Т.Е. Рюмина // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 3. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6331>. – (Дата обращения: 21.09.2016).
6. Шаталова Т.А. Разработка технологии и анализа косметического крема на основе травы мелиссы лекарственной [Электронный ресурс] / Т.А. Шаталова, Н.Н. Вдовенко-Мартынова, А.Ю. Айрапетова, А.М. Темирбулатова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 4. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20993>. – (Дата обращения: 21.09.2016).
7. Liang-Liang Z. Comparative study on antioxidant activity of essential oil from white and black pepper / Z. Liang-Liang, Jian-Guo Xu // *European Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 3, № 3. – P. 10 – 16.
8. Сажина Н.Н. Исследование антиоксидантных свойств водного экстракта мяты электрохимическими методами / Н.Н. Сажина, В.М. Мисин, Е.И. Короткова // *Химия растительного сырья*. – 2010. – № 4. – С. 77 – 82.
9. Глущенко Н.Н. Антиоксиданты в косметике / Н.Н. Глущенко // *Материалы VI Международной конференции: Биоантиоксидант*. – Москва, 2002. – С. 117 – 119.
10. Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: importance in human health and disease prevention / Bagchi D. [et al.] // *Toxicology*. – 2000. – № 148. – P. 187 – 197.
11. Экстракт облепихи [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://xn----utbcjbgv0e.com.ua/ekstrakt-oblepихi-1-litr.html>.
12. Экстракт косточек грейпфрута [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://xn----utbcjbgv0e.com.ua/ekstrakt-grejpfrutovyh-kostochek-10-ml.html>.

Рецензія/Peer review : 11.9.2016 р. Надрукована/Printed : 28.10.2016 р.
Статтю представляє: д.т.н., проф. Сарібеков Г.С.

УДК 687.01:615.8

Л.В. КРАСНЮК, О.М. ТРОЯН, О.Й. ЯНЦАЛОВСЬКИЙ, В.С. ТОРОКАНЕЦЬ
Хмельницький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ІЗ УРАХУВАННЯМ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ТОЧОК ТА БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ЗОН ТІЛА ЛЮДИНИ

В статті розглянуто проблему створення багатофункціональних швейних виробів, які, окрім своїх звичайних функцій, здатні виконувати лікувально-профілактичну дію шляхом впливу на біологічно активні точки і біологічно активні зони тіла людини. Розроблено класифікацію методів впливу на біологічно активні точки та біологічно активні зони, у якій виділено дві основних групи: рефлексотерапію та лікувально-профілактичні вироби. Розглянуто принципи забезпечення лікувально-профілактичних функцій багатофункціональними швейними виробами, що полягають у трансформації виробів або у використанні деталей та елементів, в яких розміщують різноманітні речовини – мінерали, метали, магніти, які впливають на біологічно активні точки та біологічно активні зони, що зумовлює лікувальний або профілактичний ефект.

Ключові слова: багатофункціональні швейні вироби, лікувально-профілактичний одяг, біологічно активні точки, біологічно активні зони, рефлексотерапія.

L.V. KRASNYUK, O.M. TROYAN, O.Y. YANCALOWSKIY, V.S. TOROKANETS
Khmelnytsky National University

PROSPECTS FOR THE CREATION OF MULTIFUNCTIONAL GARMENTS BASED ON BIOLOGICALLY ACTIVE POINTS AND BIOLOGICALLY ACTIVE ZONES OF THE HUMAN BODY

The authors explored the design process of multifunctional clothing which has medical and prophylactic function due to the influence of special applications on biologically active body points and body zones. Developed a classification methods of influence to biologically active points and body zones, such as reflexology and medical prophylactic products. Determined that the basic principles of providing medical prophylactic functions of multifunctional clothing are the transformation of apparel and using applications with special materials: minerals, metals and magnets, which, thanks to coordinated effect on biologically active body points and body zones, provide medical prophylactic functions.

Keywords: multifunctional clothing, medical prophylactic clothing, biologically active points, biologically active zones, reflexology.

Вступ

Багатофункціональні швейні вироби є відносно новим і перспективним сегментом швейної промисловості, поява яких обумовлена науковими відкриттями і досягненнями в областях виробництва волокон, тканин, матеріалів та технологій виготовлення одягу. Термін "багатофункціональні швейні вироби" можна визначити як загальний, що вміщує вироби, виготовлені в умовах швейного виробництва з усіх видів матеріалів і тканин, призначених для одягу і білизни, які спеціально розроблені для забезпечення заздалегідь заданих особливих функцій, окрім своїх звичайних. Технологія виготовлення таких виробів та принципи забезпечення їх багатофункціональності різноманітні і полягають у перетворенні (трансформації) виробів, використанні додаткових деталей та елементів (компонентів, накладок, вставок), використанні нових багатофункціональних текстильних матеріалів із специфічними властивостями тощо. Ці технології забезпечують виготовлення багатофункціональних швейних виробів із прогнозованими властивостями і розширеною функціональністю [1, 2].

Одним із видів багатофункціональних швейних виробів є досить актуальний сьогодні лікувально-профілактичний одяг, який, окрім звичайних функцій, здатний здійснювати лікувальний вплив на організм людини [3–6]. Застосування в сучасній медицині лікувально-профілактичного одягу відноситься до альтернативних методів лікування, які базуються на сучасних науково-технічних відкриттях із використанням енергоінформаційних технологій та медичної фармакології [7].

Актуальність досліджень та постановка мети

Життя сучасної людини проходить під впливом на неї різних факторів, що погіршують її самопочуття та здоров'я. Цих факторів існує дуже багато – це і погана екологія, неякісні продукти харчування, різноманітні стресові ситуації тощо. Потужний розвиток мереж зв'язку разом із руйнуванням озонового шару атмосфери призвели до збільшення негативного впливу космічного випромінювання на людину. Усі ці чинники погіршують стан здоров'я людини, що призводить до виникнення хвороб, ускладнення їх перебігу та лікування.

Сьогодні існують два альтернативних підходи до лікування та профілактики хвороб – західний та східний. Західна (традиційна) медицина базується на уявленні про те, що організм людини складається із окремих органів, для лікування яких існують «вузькі» спеціалісти, які лікують кожний своє захворювання за допомогою лікарських препаратів, переважно хімічного походження. Сьогодні у світі налічується більше ста тисяч лікарських засобів, багато із яких є агресивними по відношенню до людини, тому все частіше виникають негативні реакції організму на призначення декількох лікарських препаратів одночасно. Чим більше створюється цих препаратів, тим більш складні форми приймають захворювання, а організм, внаслідок довготривалого прийому медикаментів, зникає до них і втрачає здатність до самостійної боротьби із захворюваннями.

Східна (нетрадиційна) медицина ґрунтується на тому, що хвороби виникають через порушення балансу енергетичних потоків, при цьому відновити енергетичну рівновагу можливо впливаючи на біологічно активні точки (БАТ) людини методами рефлексотерапії. В основі рефлексотерапії лежить

твердження, що організм людини – це взаємопов'язана система, а порушення функціонування якоїсь однієї частини призводить до порушень в іншій. Таким чином, східна медицина лікує не окремо взятую хворобу, а організм, крім того, східна медицина особливо увагу приділяє профілактиці захворювань.

Отже, основними об'єктами впливу, на які направлена східна медицина, є БАТ, які представляють собою нервові закінчення, що пов'язують окремі ділянки поверхні тіла людини з відповідними органами та системами органів організму людини. Сукупність БАТ на відповідних ділянках тіла називають біологічно активними зонами (БАЗ). Впливаючи на БАТ та БАЗ тіла людини різними методами (контактними та безконтактними) створюються умови для забезпечення ефективного лікування різних видів захворювань. Одним із таких методів є використання багатофункціональних швейних виробів.

Багатофункціональні швейні вироби із розміщеними на них лікувально-профілактичними чинниками (накладками, аплікаторами, мінералами та ін.) є досить простим і доступним способом впливу на БАТ і БАЗ. Такі вироби за умови створення та застосування раціональних конструктивно-технологічних рішень та підбору відповідних матеріалів не перешкоджають активним рухам людини, забезпечують щільне прилягання до поверхні тіла, що дозволяє досягти максимального контакту лікувально-профілактичних чинників із БАТ і БАЗ, у результаті чого чиниться потрібний терапевтичний вплив на окремі органи, системи органів та стан здоров'я людини в цілому.

Ці переваги зумовили світову популярність лікувально-профілактичних швейних виробів. Однак, переважна більшість наявного асортименту таких виробів надходить в Україну із-за кордону і є високоартісною. В нашій країні наукові розробки в цьому напрямку є поодинокими, розрізненими, що унеможливує створення аналогічних швейних виробів високої якості та за доступною ціною. Це зумовлено, в першу чергу, відсутністю науково обґрунтованих підходів до створення багатофункціональних швейних виробів. Тому дослідження та розроблення багатофункціональних лікувально-профілактичних швейних виробів є актуальною задачею.

Таким чином, метою роботи є розроблення засад технології створення багатофункціональних лікувально-профілактичних швейних виробів. Відсутність побічних ефектів застосування таких виробів створює можливість їх широкого застосування для лікування, профілактики різних захворювань та відновлення і підтримання позитивних психічних станів. Крім того, простота та доступність дозволяє використовувати ці вироби в зручний для людини час.

Виклад основного матеріалу статті

Аналізуючи відомі методи впливу на БАТ та БАЗ тіла людини з лікувально-профілактичною метою розроблено класифікацію, в якій виділено дві основні групи методів: рефлексотерапевтичні методи та методи, що здійснюються за допомогою лікувально-профілактичних виробів (рис. 1).

Рефлексотерапевтичні методи – це група методів лікування, які засновані на подразненні БАТ поверхні тіла, що викликає рефлекторні реакції різних органів і систем організму. Методи рефлексотерапії засновані на поєднанні древнього досвіду східної медицини, зокрема Китаю та сучасних медичних знань. Лікувальний вплив цих методів заснований на стимуляції рефлекторних зон нервової системи людини, в результаті чого виникають імпульси, що передаються у відповідні нервові центри. Нервова система, в свою чергу, направляє до хворих органів імпульси, які активізують процеси самовідновлення [8]. Основною особливістю рефлексотерапії є її можливість цілеспрямовано впливати на імунобіологічні захисні властивості організму, тим самим підвищувати його адаптаційні можливості [9]. Рефлексотерапія рідко має протипоказання, характеризується порівняно швидким отриманням позитивного ефекту та практичною відсутністю побічних ефектів, у тому числі алергій, тому широко застосовується в лікуванні багатьох захворювань: в неврології, терапії, кардіології, анестезіології, педіатрії, стоматології, офтальмології, гінекології, психіатрії та ін. Рефлексотерапія показана також в реабілітації хворих після операцій і важких гострих захворювань.

Методів рефлексотерапії сьогодні налічується дуже багато. Всі вони відрізняються один від одного характером подразника БАТ, ступенем впливу подразника, пошкодженням або збереженням цілісності шкірних покривів людини та ін. [9, 10]. В розробленій класифікації рефлексотерапевтичні методи впливу на БАТ та БАЗ розподілено на дві підгрупи: неприладні та приладні (фізіопунктурні).

До неприладних методів віднесено: голкорексотерапію або акупунктуру, яка передбачає введення під шкіру тонких металевих голок, щоб відновити порушення енергетичного балансу організму; багатоголковий масаж – подразнення пучком голок (мей-хуа-чжень); акупресуру (точковий масаж) – подразнення механорецепторів шляхом пальцевого натискання БАТ чи за допомогою різноманітних масажерів; металопунктуру – застосування різних металевих пластин з накладанням їх на БАТ і БАЗ; фармакопунктуру – проведення рефлексотерапії із медикаментозним впливом на БАТ та БАЗ; термопунктуру (припікання, прогрівання) – використання джерел тепла з обмеженою за площиною термічною дією дискантного і контактного типів; кріопунктуру – кріогенну (холодову) дію на акупунктурні точки спеціальними металевими конусами, в які вкладають лід; фітоаромопунктуру – лікувальні методики впливу на БАТ та БАЗ рослинних ароматичних речовин; глинопунктуру – застосування глини для впливу на БАТ та БАЗ; псамопунктуру – вплив нагрітим піском; стоунпунктуру – спа-процедура, заснована на впливі на БАТ та БАЗ гарячими і холодними каменями; гірудопунктуру – лікувальний вплив п'явками; апіпунктуру – загальна назва методів лікування, що використовують продукти бджільництва для впливу на БАТ та БАЗ.

Неприладні методи рефлексотерапії є досить ефективними у лікуванні та профілактиці різноманітних захворювань. Однак, поряд із значними перевагами, деякі із них є болісними та травматичними, потребують довготривалого лікування спеціалістами високої кваліфікації, інколи мають протипоказання та побічні ефекти.

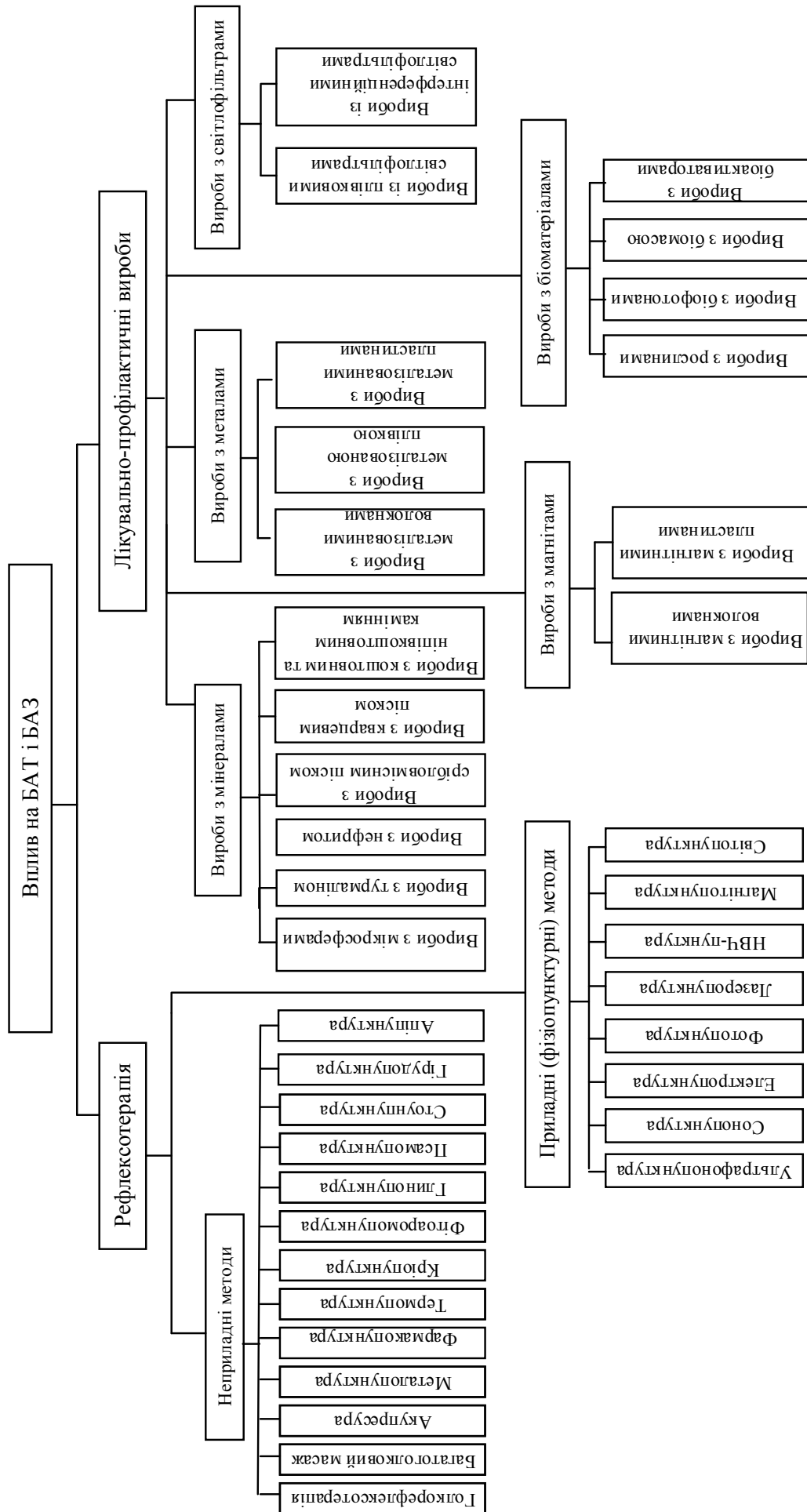


Рис. 1. Класифікація методів впливу на біологічно активні точки і біологічно активні зони людини

Прогрес в області сучасної медицини веде за собою появу все більш нових та вдосконалених методів рефлексотерапії, а саме застосування спеціальних приладів, які стають все більш універсальними і багатофункціональними. До різновидів впливу на БАТ та БАЗ приладними (фізіопунктурними) методами віднесено наступне: ультрафонопунктуру – це вплив високочастотною акустичною енергією ультразвукових приладів; сонопунктуру – вплив звуковими хвилями різного діапазону, різними для кожного окремого органу; електропунктуру та електроакупунктуру – різновиди методів впливу електричним струмом у вигляді поверхневої шкірної електростимуляції або глибокої електростимуляції через введені голки; фотопунктуру – вплив на БАТ різними видами випромінювання; лазеропунктуру – вплив лазерним випромінюванням; КВЧ-пунктуру – метод впливу на БАТ, при якому застосовують міліметрові хвилі від 1 до 10 мм; магнітопунктуру, яка передбачає вплив на БАТ магнітним полем; світлотерапію – вплив на БАТ та БАЗ світлових променів сонячного (геліотерапія) або штучного походження (рис. 1).

Приладні методи рефлексотерапії також є високоєфективними та дієвими, однак, потребують висококваліфікованих медичних фахівців, значних витрат у часі, також існує небезпека впливу на людину різних видів випромінювань та індивідуальна гіперчутливість до електричних, магнітних чи світлових імпульсів. Крім того, такі методи є досить вартісними, а багато із фізіопунктурних приладів є немобільними – стаціонарними, тому здебільшого використовуються у медичних закладах: поліклініках чи лікарнях.

У другу групу методів впливу на БАТ та БАЗ включені методи, які реалізуються за допомогою лікувально-профілактичних багатофункціональних швейних виробів, а саме: верхнього одягу, білизняних виробів, головних уборів, рукавичних виробів та ін. Принцип дії таких методів полягає у тому, що зазначені вироби утримують (у комірках, між шарами матеріалів чи в порожнинах волокон) різноманітні речовини – мінерали, метали, магніти, біоматеріали, які впливаючи на БАТ та БАЗ тіла людини, викликають потрібний терапевтичний ефект [11].

Відома жіноча білизна, що утримує турмалін та магніти в області нижньої частини живота та промежини на ділянках точок акупунктури [12]. Зазначено, що в результаті ношення цієї білизни поліпшується кровообіг і живлення тканин, зменшуються гіпоксія, набряки та біль.

Відома жіноча нижня білизна лікувально-профілактичного призначення, яка утримує елементи впливу, що виконані із різноманітних природних мінералів, які зафіксовані на внутрішній поверхні білизни за допомогою накладок [13]. Зазначено, що мінералами можуть бути дорогоцінні та напівдорогоцінні камені, а також кварцевий пісок. Можливе також використання органічних речовин, таких як зернові: зерна гречки, рису, пшона, а також частинки різних порід дерев. Використання цієї білизни у вигляді жіночих трусів надає можливість впливу на БАЗ, що відповідають органам сечостатевої системи, а використання білизни у вигляді бюстгальтера поліпшує метаболічні процеси молочних залоз жінок. Проведені випробовування білизни показали її ефективність при лікуванні захворювань сечостатевої системи та ранніх стадій мастопатії [13].

Лікувальна дію магнітів (магнітотерапія) заснована на впливі змінного магнітного поля низької частоти на організм пацієнта або на його частину. Під впливом цього поля тканини людського організму не намагнічуються, але такі складові елементи тканини, як вода і елементи крові, можуть отримувати магнітні властивості. Слід зазначити, що магнітотерапія, досвід якої налічується віками, є безпечним і недорогим методом, вона не викликає звикання і не має побічних ефектів, а тому досить широко застосовується у різноманітних виробах лікувально-профілактичного призначення. Так, використання магнітів в жіночих трусах [14], які рекомендовано носити після пологів, забезпечує вплив на БАТ нижньої частини тулуба, що сприяє профілактиці гінекологічних захворювань, шляхом покращення циркуляції крові в органах малого тазу.

Використання магнітів в чоловічих трусах [15] в місцях розташування БАТ забезпечує вплив магнітного поля на органи малого тазу, в результаті чого покращується клітинний метаболізм, мікроциркуляція крові, поліпшується наповнення клітин крові киснем, прискорюється виведення шкідливих речовин.

Застосування магнітотерапії для рефлексотерапевтичного впливу на точки акупунктури голови запропоноване в головному обручі [16], в якому передбачена можливість регулювати місце розташування магнітів залежно від розташування БАТ.

Відомий метод поліпшення спортивних результатів за рахунок використання еластичного плечового одягу, на якому в місцях розташування БАТ закріплені магніти [17]. Цей одяг рекомендовано носити до, під час, або після спортивних занять. За рахунок впливу магнітів на БАТ, забезпечується приплив крові, поліпшується дихання м'язів, що покращує працездатність та поліпшує спортивні результати. Зазначено, що вплив магнітів на точки акупунктури є ефективним на ділянці, що має діаметр від 0,5 до 1,5 дюйма.

Лікувальну дію магнітів на організм людини використано також у багатофункціональній лікувальній білизні [18], що виготовлена з трьох шарів матеріалів, при цьому внутрішній шар утримує магнітні частинки, вплив яких поліпшує циркуляцію крові.

Відомий спосіб металорефлексотерапії [19], що включає прикладання до точок акупунктури металевих пластин, причому на точки лівої частини тіла накладають пластини з металу з високим електрохімічним еквівалентом, наприклад з цинку, а на праву – з низьким, наприклад з міді. При цьому утримання пластин у заданих точках забезпечують змінними накладними шаблонами у вигляді елементів одягу або устілок для взуття. Акупунктурне орієнтування металевих пластин забезпечує вплив на біоенергопотенціали правої і лівої частини тіла, а розташування пластин з цинку на лівій частині тіла, а з міді на правій – викликає появу гальванічних мікрострумів потрібного напрямку, що у сукупності з подразненням біорецепторів металом забезпечує синергетичний ефект, що призводить до виникнення і посилення лікувальної дії.

Відомий одяг у вигляді білизни або верхнього одягу [20], що виготовлений з трикотажного матеріалу, який одягається безпосередньо на тіло людини. На лицьовій поверхні матеріалу розташовані нитки люрексу, а в місцях впливу на шкіру людини прикріплені металеві пластини діаметром 5-20 мм. Одна

з поверхонь пластини звернена до тіла людини, а протилежна – має рівномірно розташовані вертикальні штирі, за допомогою яких кріпиться до одягу, і, крім того, з їх допомогою здійснюється теплопередача і електричний контакт з нитками люрексу. Оздоровлюючий вплив одягу здійснюється за рахунок градієнта температури між металізованою пластинною, з одного боку, і точками акупунктури – з другого, а також за рахунок електрорушійної сили, що наводиться на нитках люрексу і металізованої пластини, що прикладена до точки акупунктури.

Відомі лікувально-профілактичні труси [21], що містять срібні пластинки, які розміщені між шарами матеріалів на ділянках, що є проєкціями БАЗ нижньої частини тулуба чоловіка. Лікувальна та профілактична дія трусів забезпечується за рахунок впливу на БАЗ інформації лікувально-профілактичного змісту, записаної на пластинках. В результаті експлуатації трусів покращуються кровопостачання та обмінні процеси органів сечостатевої сфери чоловіка, що дозволяє відновити їх нормальне функціонування.

Вище було описано жіночу білизну [13], що утримує біоматеріали у вигляді зернових або шматочки деревини як засоби впливу на БАТ та БАЗ. Іншим прикладом впливу біоматеріалів на БАТ є спосіб для лікування храпу [22]. Цей спосіб лікування полягає у впливі меланінотримуючих препаратів з біомаси антарктичних чорних дріжджів, розміщених в скляних, пластмасових або інших контейнерах, в місцях розташування БАТ, що забезпечує здатність блокувати механізм, який викликає хропіння. Зазначено, що лікувальний ефект досягається завдяки впливу та БАТ потужного біополя зазначеного біоматеріалу.

Іншим прикладом застосування впливу біоматеріалів на БАТ з лікувально-профілактичною метою є використання лікарських трав у біологічних активаторах [23], які запропоновано розміщувати в спеціальних кишнях на внутрішній поверхні одягу в місцях розташування БАТ тулуба та кінцівок людини. Зазначено, що ці активатори призначені для стимулювання захисних реакцій організму людини.

Ще одним прикладом застосування багатофункціональних швейних виробів з терапевтичною метою шляхом впливу біоматеріалів є труси профілактичні [24], ластовиця яких виконана з двох шарів матеріалу, між якими розміщено наповнювач (наприклад, каштани). Зазначено, що наповнювач підвищує повітропроникність виробу, створює комфортну температуру та забезпечує біолікувальний ефект.

Цікавим прикладом застосування багатофункціонального одягу є спосіб лікувального впливу на БАТ шкіри пацієнта ультрафіолетовим випромінюванням [25], що потрапляє на ці точки через отвори в одязі, які закриті світлофільтрами, що мають смугу пропускання в ультрафіолетовій частині спектра і смугу поглинання у видимій частині спектра. Для підвищення потужності опромінювання в заданій БАТ світлофільтри можуть бути виконані профільованими, у формі лінзо-растрової пластини, у формі лінзи Френеля, пластинки Соре.

Висновки

1. Розроблено класифікацію, що узагальнює і структурує інформацію про методи впливу на БАТ та БАЗ тіла людини з лікувально-профілактичною метою та наводить основні рефлексотерапевтичні чинники, які використовують в розглянутих методах. У розробленій класифікації виділено дві основних групи: рефлексотерапію та лікувально-профілактичні вироби.

2. Встановлено, що методи рефлексотерапії (неприладні та приладні) є дієвими та характеризуються порівняно швидким отриманням терапевтичного ефекту, однак мають ряд протипоказань, потребують регулярного відвідування медичного закладу, де виконуються висококваліфікованими медпрацівниками. Натомість, методи впливу на БАТ та БАЗ за допомогою лікувально-профілактичних виробів дозволяють спростити процес лікування, адже не потребують регулярного втручання медпрацівників та використання високовартісних приладів в умовах медичного закладу.

3. Показано, що лікувально-профілактичні вироби – це багатофункціональні швейні вироби, які окрім своїх звичайних функцій, здатні виконувати лікувальну або профілактичну дію шляхом впливу на БАТ та БАЗ тіла людини. З'ясовано, що на сьогодні ці вироби є досить поширеними, тому що їх можна використовувати у зручний для людини час: під час роботи, відпочинку або сну, тобто без додаткових витрат часу. Такі вироби зазвичай є зручними, не перешкоджають рухам людини, забезпечуючи безпосередній та тривалий контакт лікувально-профілактичних чинників із поверхнею тіла, у результаті чого чиниться потрібний терапевтичний вплив на окремі органи, системи органів та стан здоров'я людини в цілому. Відсутність побічних ефектів від використання таких виробів, простота та зручність у використанні створюють можливості їх широкого застосування для лікування та профілактики різних захворювань.

Література

1. Кокоячук Ю.Б. Перспективи створення одягу з прогнозованими властивостями / Ю. Б. Кокоячук, О. М. Троян, О. Й. Яндаловський, О. М. Луцєвська // Збірник тез допов. Міжнар. наук. конф. до 50-річчя заснування ХНУ ["Новітні технології в текстильній промисловості"], (Хмельницький, 9–11 жовтня 2012 р.) / МОН України, Хмельницький націон. ун-т. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – С. 133–134.
2. Buhantsova L.V. The aspects of production of multifunctional clothing / L.V. Buhantsova, O.M. Troyan // Збірник тез доповідей Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. молодих вчених та студентів ["Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості"], (Хмельницький, 22–24 жовтня 2015 р.) / МОН України, Хмельницький націон. ун-т. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – С. 44–45.
3. Казьмірова О. М. Проектування одягу лікувально-профілактичного призначення – актуальна проблема сьогодення / О. М. Казьмірова, О. М. Троян, О. М. Луцєвська // Тези допов. IV міжнар. науково-практ. конф. наукової молоді і студентів ["Наукові досягнення – в практичну діяльність"], (Луцьк–Євпаторія, 26–27 вересня 2013 р.) / МОН України. – Луцьк. – С. 71–72.

4. Троян О. М. Використання лікувально-профілактичного одягу для лікування хронічного простатиту / О. М. Троян, О. М. Лушевська, О. Й. Янцаловський // Збірник тез доповідей Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. молодих вчених та студентів ["Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості"], (Хмельницький, 22–24 жовтня 2014 р.) / МОН України, Хмельницький націон. ун-т. – Хмельницький. 2014. – С. 28–29.
5. Казьмірова О. М. Особливості проектування чоловічої натільної білизни для профілактики урологічних захворювань / О. М. Казьмірова, О. Й. Янцаловський, О. М. Лушевська, О. М. Троян // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 2. – С. 107–111.
6. Березненко С. М. Нові підходи до створення швейних виробів з поліфункціональними властивостями / С. М. Березненко, М. П. Березненко, О. А. Жданова, О. Й. Янцаловський // Збірник тез доповідей за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції ["Актуальні проблеми наукового й освітнього простору в умовах поглиблення євроінтеграційних процесів"], (Мукачєво, 14–15 травня 2015 р.) / МОН України, Мукачєвський державн. ун-т. – Мукачєво : МДУ, 2015. – Том 1. – С. 292–293.
7. Волокнисті матеріали та вироби легкої промисловості з прогнозованими бар'єрними медико-біологічними властивостями : монографія / [С. М. Березненко, В. І. Власенко, І. А. Ігнатєва та ін.]. – К. : КНУТД, 2014. – Частина 1. – 403 с.
8. Васичкин В. И. Методы китайской акупунктуры / В. И. Васичкин. – М. : ООО «Издательство АСТ»; СПб : ООО «Издательство «Полигон», 2003. – 373 с.
9. Мачерет Є. Л. Сучасний стан рефлексотерапії [Електронний ресурс] / Є. Л. Мачерет, О. Е. Коваленко, Г. М. Чуприна // Медичний портал MedikLab / Національна медична академія післядипломної освіти імені П. Л. Шупика. – Київ, 2012. – Режим доступу : <http://mediclub.com.ua/index.php.news?id=14310>
10. Бакалюк О. Й. Народна медицина світу: традиції, значення для сучасної медичної науки і практики [Електронний ресурс] / О. Й. Бакалюк, С. В. Дзига, Є. І. Давидович // Новості медицини і фармації : інтернет-видання для медичних та фармацевтичних працівників Professional Medical Portal. – 2012. – № 13-14 (423-424). – Режим доступу : <http://www.mif-ua.com/archive/article/31905>
11. Казьмірова О. М. Аналіз та систематизація інформації для проектування одягу з лікувальними властивостями / О. М. Казьмірова, О. М. Лушевська, О. М. Троян // Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції молодих вчених та студентів ["Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості"], (Хмельницький, 23–25 жовтня 2013 р.), МОН України, Хмельницький націон. ун-т. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – С. 48–49.
12. Патент № CN104664637 China, МПК: А41В 17/00. Female tourmaline far-infrared magnetic therapy health underwear / Wang Wenting. – № 201410346905.4 ; заявл. 21.07.2014 ; опубл. 03.06.2015.
13. Патент № 75547 РФ, МПК А61В 2/00. Лечебно-профилактическое белье / Л. М. Куфтырева. – № 2006137508 ; заявл. 20.05.2008 ; опубл. 25.09.2008. – 4 с.
14. Патент № CN104706454 China, МПК: А61Н 2/08, А61F 5/03. Postpartum abdomen-in underpants / Dong Chunling. – № 201310684401.9 ; заявл. 12.12.2013 ; опубл. 17.06.2015.
15. Патент № CN104664636 China, МПК: А61Н 2/08, А41В 9/02. Male magnetic therapy health underwear / Wang Wenting. – № 201410346906.9 ; заявл. 21.07.2014 ; опубл. 03.06.2015.
16. Патент № CN104721035 China, МПК: А61Н 39/04, А61Н 2/08. Magnetic acupuncture point massaging hair clasp and method for carrying out magnetic head massaging / Shanghai University of T.C.M. – № 201510086212.0 ; заявл. 17.02.2015 ; опубл. 24.06.2015.
17. Патент № US20150273232 United States, МПК А61Н 2/00, А61Н 39/00. Athletic Performance Enhancing Wear and Method / Miguel Angel Fernandez. – № 14225083 ; заявл. 25.03.2014 ; опубл. 01.10.2015.
18. Патент № CN201310532956 China, МПК: А41В9/00, А41В17/00, А61Н2/08. A multi-functional health underwear / Rong Shen Root. – № 103535863 ; заявл. 04.11.2013 ; опубл. 29.01.2014.
19. Патент № 17847 Україна, МПК А61Н 2/00. Спосіб металорефлексотерапії / А. А. Корман, І. А. Корман, Н. В. Корман, В. М. Уваров. – № u200604291 ; заявл. 17.04.2006 ; опубл. 17.10.2006, Бюл. № 10. – 4 с.
- Патент № 2256388 РФ, МПК А41В 9/00. Одежда из трикотажного материала / О. В. Евдокимова, М. Г. Барышев. – № 20041006/12 ; заявл. 01.08.2004 ; опубл. 20.07.2005. – 3 с.
- Патент № 101373 Україна, МПК А41В 9/02. Труси лікувально-профілактичні / О. М. Троян, О. Й. Янцаловський, О. М. Лушевська, Л. В. Краснюк. – № u201502183 ; заявл. 12.03.2015 ; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 17. – 4 с.
20. Патент № 2158132 РФ, МПК А61К 35/72, А61Р 43/00. Средство для лечения храпения и способ для его осуществления / С. П. Лях, М. Л. Булгак, А. Г. Исаев. – № 2000102455/14 ; заявл. 03.02.2000 ; опубл. 27.10.2000. – 2 с.
21. Кокоячук Ю. Б. Розроблення методу проектування дитячого форменого одягу для молодіжних організацій : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.19 / Кокоячук Юлія Богданівна. – Хмельницький, 2013. – 203 с
22. Патент № 89214 Україна, МПК А41В 9/00. Труси профілактичні / І. П. Остапчук, Ю. С. Міщан, М. С. Винничук. – № u201313718 ; заявл. 26.11.2013 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7. – 3 с.
23. Патент № 2075955 РФ, МПК А41В 9/00. Лечебно-профилактическая одежда из текстильного материала, способ ее изготовления и способ лечебного воздействия на кожу пациента / А. Н. Ирецкий, Л. Ф. Пискун. – № 5048051/12 ; заявл. 25.03.1992 ; опубл. 27.03.1997. – 3 с.

Рецензія/Peer review : 21.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 28.10.2016 р.
Рецензент: д.п.н., проф. Потапчук Є.М.

УДК 658.382: 621.314.2.(477.43)

О.В. РОМАНІШИНА, А.П. БІЛИК

Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ ВІД ПИЛУ

У статті описано необхідність використання засобів індивідуального захисту залежно від таких шкідливих виробничих факторів: місце роботи, яке зобов'язує використовувати засоби індивідуального захисту, високий рівень забрудненості навколишнього середовища. Мета використання таких засобів полягає в тому, щоб шкідливі речовини, бактерії, отруйні гази не змогли нашкодити людині зовні або внутрішньо.

Ключові слова: охорона праці, засоби індивідуального захисту органів дихання, умови праці, професійні захворювання.

O.V. ROMANISHINA, A.P. BILYK

Khmelnytsky National University

USE OF PERSONAL RESPIRATORY PROTECTION FROM DUST

The use of personal protective equipment depending on such harmful factors: job, which requires the use of personal protective equipment, high level of contamination of the environment is an actual problem of modern production. Using the filter of personal respiratory protection depends on the efficiency of trapping dust particles that are filtered, and the degree of isolation from the dust in the air of the working area. The latter, in turn, depends on the size and number of gaps in places gapping mask to the face. Currently, industry produces a number of highly efficient filter materials with low breathing resistance, which allows to solve the first problem. The decision of the second problem, close fitting respirator to the face is described in this article. As a result, recommended to harmonize regulations both in the field of certification, and in the use of personal respiratory protection similar instruments developed countries will significantly contribute to the restructuring and the number initially diagnosed occupational respiratory diseases.

Keywords: labour protection, personal protection equipment, working conditions, occupational diseases.

Вступ

У структурі професійних захворювань перше місце належить хворобам органів дихання – 65% від загальної кількості по Україні (2803 випадки). В дійсності роботодавець зобов'язаний виконувати вимоги санітарно-законодавчих документів про необхідність використання засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД). Разом з тим, незважаючи на використання ЗІЗОД на робочих місцях з високим ступенем запиленості, діагноз "пневмоконіоз" і "професійний пиловий бронхіт" – далеко не рідкість.

Використання засобів індивідуального захисту органів дихання від пилу

Перш за все, слід зазначити, що захисні властивості (коефіцієнт захисту) фільтруючих ЗІЗОД залежать від ефективності уловлювання частинок пилу, що фільтруються, (вона залежить від розміру часток, властивостей фільтра і швидкості руху повітря через фільтр) і від ступеня ізоляції від запиленості повітря робочої зони. Останнє, в свою чергу, залежить від величини і числа зазорів в місцях нещільного прилягання маски до обличчя.

В даний час промисловість випускає ряд високоефективних фільтруючих матеріалів з низьким опором диханню [13]. Вирішити другу проблему – забезпечити щільне прилягання лицьової частини респіратора до поверхні особи – виявилось складніше.

Щоб визначити ступінь ефективності застосування респіратора на робочому місці, необхідно порівняти концентрацію пилу в повітрі робочої зони і в підмасковому просторі. Результати зазначених досліджень, що проводилися в останні десятиліття, опубліковані в численних наукових працях, останні з яких відносяться до періоду 2000–2014 рр. [9, 14, 15].

Наприклад, в статті [15] представлені результати вимірювання ефективності захисту респіраторів – фільтруючих напівмасок класу N95 (США стандарт, фільтруючий матеріал затримує не менше 95% твердих частинок самого "проникаючого" розміру – близько 0,3 МКМ).

Вимірювання проводились на металургійному заводі, де виготовлялися сталеві відливки масою від декількох сотень до кількох тисяч кілограмів. Робітники різних спеціальностей (водії вилочного і ковшового навантажувача, робітники, які займалися формуванням і повторним використанням формувальної землі; працювали на вібростенді та ін.). Під час вимірювань виконували свою звичайну роботу – згрібали і прибирали формуючу землю, готували ливарні форми і стрижні, управляли виловими і ковшовими навантажувачами та ін. В основному виконувалася робота середнього ступеня важкості, але при збиранні формувальної землі були великі періоди виконання важкої роботи.

Оскільки розмір часток в повітрі робочої зони був набагато більше, ніж "здатний проникати" (середній діаметр близько 15 мкм), то при проходженні через фільтруючий матеріал запиленість знижувалася не в 20 разів, а максимально – в 753 рази. У цьому дослідженні проводилося вимірювання коефіцієнта захисту респіратора в 49 випадках його застосування. Виявилось, що він змінюється в межах від 5 до 753. Останнє було обумовлено різною щільністю прилягання маски до обличчя, тобто наявністю зазорів різної величини. Такі зазори між особою і маскою виникають в результаті невідповідності форми і розмірів лицьовій частині респіратора формою і розмірами особи, неправильного одягання і "сповзання" респіратора під час роботи.

Проаналізувавши отримані експериментальні дані, фахівці США і ЄС прийшли до висновку, що для зменшення проникнення під маску нефільтрованого повітря через зазори недостатньо забезпечити хороші захисні властивості одних лише респіраторів як окремо взятих пристроїв, а необхідно забезпечити їх правильний вибір для даних умов роботи, правильний підбір лицьової частини (для кожного робітника індивідуально), і забезпечити правильне одягання і носіння ЗІЗОД робочими. Тобто в США зберігають здоров'я робітників не тільки за рахунок видачі їм респіраторів, а ще й за допомогою виконання програми респіраторного захисту, що включає навчання, тренування і періодичні перевірки.

Після кількох десятиліть роботи над вирішенням проблеми – ізоляції підмаскового простору респіратора від навколишньої забрудненої атмосфери – зарубіжні фахівці розробили ряд заходів, які підвищують ефективність застосування фільтруючих респіраторів.

Для цього в США існують стандарти 2-х типів:

- за респіраторами як за окремо взятими пристроями [6, 12];
- за їх вибором, видачею і застосуванням – на робочих місцях [8, 10, 11].

Що стосується стандартів 1-го типу, то вони є в Україні, але відрізняються від подібних стандартів США. Відмінність полягає в тому, що американські стандарти передбачають перевірку респіраторів на випробувачах, у яких форма і розміри осіб відповідають формі і розмірам осіб робочих різних галузей. Для цього проводилося обстеження близько 4 тисяч робочих. А в основі стандартів, на відповідність яким проводиться сертифікація фільтруючих ЗІЗОД лежить вимога – забезпечити відповідність форми і розмірів обличчя робітника формі і розмірам лицьової частини респіратора.

Що стосується стандартів другого типу, то в Україні їх зовсім немає. Разом з тим, перший стандарт такого типу, який передбачав інструментальне вимірювання ізолюючих властивостей лицьової частини, був прийнятий в США в 1980 р. [5].

Для зменшення зазорів, що виникають через невідповідність форми і розміру маски формі і розміру особи використовуються такі заходи [4]:

- Респіратори не видаються робітникові, а вибираються їм самим з кількох запропонованих;
- Після вибору проводиться інструментальна перевірка кількості нефільтрованого повітря, що проникає під маску через зазори, і при недостатньому ступені ізоляції органів дихання від навколишнього (забрудненого) повітря, що виявлено інструментальною перевіркою, робітник не допускається до виконання роботи в запиленіх умовах – поки не буде підібрана інша, більш підходяща маска.

Для зменшення зазорів, що виникають через неправильне одягання обраного респіратора з лицьовою частиною, яка точно відповідає формі і розмірам особи робітника, використовуються наступні заходи:

- Проводяться періодичні інструментальні перевірки правильності одягання маски при первинному виборі респіратора;
- Проводиться навчання робітників правильному одягання і носінню респіраторів з використанням сучасного обладнання і навчальних матеріалів;
- Розроблено, перевірено і широко використовується "для користувача" перевірка правильності одягання респіратора, яка проводиться при кожному одяганні. Вона займає кілька секунд, не вимагає ніякого устаткування і дозволяє виявити більшість грубих помилок, допущених при одяганні респіратора.

Перевірка полягає в тому, що робочий закриває руками отвори для входу повітря в фільтри (або отвір клапана видиху), робить вдих (або видих) і затримує дихання на кілька секунд. Якщо розрідження (надлишковий тиск) зберігається – грубих помилок немає. Ще в 1983 р. в [16] випробування показали, що з 195 випадків одягання респіратора, коли робочий успішно проходив цю просту перевірку, тільки в одному випадку респіратор був одягнений недостатньо правильно.

Важливо відзначити, що в Україні немає нормативних документів, які зобов'язували б роботодавця проводити навчання робітників, підбирати і перевіряти ступінь ізоляції, яку забезпечує лицьова частина респіратора, виконувати перевірку правильності одягання респіратора, а конструкції респіраторів і фільтрів Ф – 62Ш і РПГ – 67 взагалі не дозволяють виконувати "призначену для користувача" перевірку.

Для попередження проникнення пилу через підмаскові зазори, яке відбувається під час роботи, використовуються наступні заходи:

- Область допустимого застосування респіратора обмежується не тільки властивостями фільтруючого матеріалу, але і конструкцією лицьової частини. У 1987 р. в [14] вчені Дональд Кемпбелл і Стівен Ленхарт, провівши статистичну обробку вимірів захисних властивостей ЗІЗОД на робочих місцях, запропонували обмежити використання респіраторів з лицьовою частиною даного типу так, щоб в 95% всіх випадків їх застосування ступінь захисту на робочому місці була вище, ніж запиленість (в ГДК). Наприклад, для даних з наведеного вище прикладу [15] отримуємо, що при запиленості 753 ГДК достатній ступінь



Рис. 1. Напівмаска класу N95

захисту буде в 1 з 49 випадків застосування респіраторів (близько 2%), а при запиленості 5 ГДК – у всіх 49 випадках (100%). Але "нижньої межі" коефіцієнта захисту на робочому місці не існує [9]. В даний час такий підхід до вирішення проблеми респіраторної захисту прийнятий більшістю іноземних фахівців. У США область застосування фільтруючих респіраторів з встановленими високоефективними фільтрами обмежена так:

- повнолицеві маски – до 50 ГДК,
- напівмаски – до 10 ГДК.

Важливо відзначити, що в Україні немає жодного нормативного документа, в якому б чітко і однозначно визначалися області допустимого застосування (в ГДК) респіраторів з лицьовими частинами різної конструкції і з різними фільтрами. А використовувати "іноземні обмеження" – 10 і 50 ГДК – некоректно, оскільки вони стосуються не до всіх респіраторів, а тільки до тих, які при видачі робочого підбиралися індивідуально з подальшою інструментальною перевіркою ізолюючих властивостей обраної маски, які правильно одягаються і носяться. Не можна використовувати ці обмеження в Україні, де через відсутність підбору і перевірки маски, відсутності навчання та тренувань робочих, захисні властивості тих же самих респіраторів (навіть імпортованих, хорошої якості) будуть набагато нижче.

Ці обмеження, що діють при виконанні всіх вимог іноземних стандартів щодо застосування ЗІЗОД, сильно відрізняються (в меншу сторону) від вимог до захисних властивостей того ж самого респіатора при його сертифікації в ЄС (і США). Наприклад, захисні властивості повнолицевої маски з фільтрами Р3 при сертифікації – не менше 1000, а область допустимого застосування обмежена 40 (50) ГДК. Тому обмежувати сферу застосування респіраторів на основі діючих ДСТУ, що відносяться до їх сертифікації, неправильно.

У тих випадках, коли запиленість перевищує 10 ГДК, роботодавець зобов'язаний забезпечити робітників респіраторами з лицьовою частиною – повнолицевою маскою, а при запиленості понад 40 (50) ГДК – респіраторами з примусовою подачею повітря під маску, що забезпечує високий (1000 ГДК) рівень захисту за майже повного усунення проникнення нефільтрованого повітря під маску через зазори. При випробуваннях на робочих місцях таких ЗІЗОД зазвичай не вдається виявити шкідливі речовини під маскою за допомогою існуючих аналітичних методів. Наприклад, в [14] коефіцієнт захисту на робочому місці – понад 11 000. Тому в США кожен десятий використовуваний респіратор – це ЗІЗОД з примусовою подачею повітря.

При підвищеній індивідуальній чутливості робочого, або враховуючи індивідуальні особливості особи (які заважають домогтися щільного прилягання маски) роботодавець, на прохання робітника, зобов'язаний за свій рахунок забезпечити робочого ЗІЗОД більш високого ступеня захисту, ніж це диктує запиленість (замість напівмаски – повна маска, а замість повної маски – респіратор з примусовою подачею повітря).

У зв'язку з цим представляється необхідним гармонізувати нормативні акти як в області сертифікації, так і в галузі використання ЗІЗОД з аналогічними документами розвинених країн (бажано США), що буде значно сприяти зміні структури і числа первинно поставлених діагнозів професійних захворювань органів дихання. Крім того, необхідно припинити виробництво масок, розроблених півстоліття назад, замінивши їх новими, які відповідають сучасним вимогам; налагодити виробництво обладнання для перевірки ізолюючих властивостей масок і забезпечити підприємства літературою [17], плакатами, відеороликами та іншими навчальними матеріалами щодо вибору та застосування ЗІЗОД.

З урахуванням "занедбаності" ситуації питання, пов'язані із засобами захисту органів дихання, слід вирішувати тим, хто стикається з наслідками їх застосування (фахівцям з охорони праці, з діагностики та лікування профзахворювань (і страхування від них), незалежним профспілкам) ознайомлених з досвідом розвинених країн. Захист органів дихання за допомогою респіраторів в повинно відповідати сучасному світовому науковому рівню і вимогам здорового глузду, а не підмінятися загальним (алкогольним) наркозом, який маскує велике число невиявлених професійних захворювань.

Висновки

Використання засобів індивідуального захисту в залежності від таких шкідливих виробничих факторів: місце роботи, яке зобов'язує використовувати засоби індивідуального захисту, високим рівнем забрудненості навколишнього середовища є актуальною проблемою сучасного виробництва.

Використання фільтруючих засобів індивідуального захисту органів дихання залежать від ефективності уловлювання частинок пилу, що фільтруються, і від ступеня ізоляції від запиленості повітря робочої зони. Останнє в свою чергу залежить від величини і числа зазорів в місцях нещільного прилягання маски до обличчя. В даний час промисловість випускає ряд високоефективних фільтруючих матеріалів з низьким опором диханню, що дає змогу вирішити першу проблему. Рішення другої проблеми, щільність прилягання респіраторів до обличчя, описано в даній статті.

В підсумку рекомендовано гармонізувати нормативні акти як в області сертифікації, так і в галузі використання засобів індивідуального захисту органів дихання з аналогічними документами розвинених країн, що буде значно сприяти зміні структури і числа первинно поставлених діагнозів професійних захворювань органів дихання.

Література

1. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація. (EN 133:2001, IDT) : ДСТУ EN 133: 2005. – [Чинний від 2006-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – №91, 8 с. – (Національний стандарт України).
2. Про затвердження Правил вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання : наказ Держгірпромнагляду України № 331 від 28.12.2007. – [Чинний від 2008-04-04]. – К. : Держгірпромнагляду України, 2007. – № 331. – 14 с.
3. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри протигазові і фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування (EN 14387:2004, IDT) : ДСТУ EN 14387:2006. – [Чинний від 2005-03-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – № 74. – 12 с. – (Національний стандарт України).
4. Half filters with inhalation valve and non-removable proof and (or) combined filters : GOST 12.4.192, 2001.
5. Respiratory Protection : Standard 1910.134: ANSI Z88.2 – (USA, 1980).
6. Clayton M. P., A. E. Bailey, N. P. VAUGHAN Vaughan and R. Rajan. Performance of Power Assisted Respirators During Simulated Asbestos Removal *Annals of Occupational Hygiene* 2002. Vol. 46, № 1, p. 49–59.
7. Determination of inward leakage and total inward leakage. EN 13274-1: European Standards, 2001.
8. Respiratory Protective Devices: Full-face masks; requirements, testing, marking. European Committee for Standardization: European Standards EN 136, 1998.
9. Respiratory Protective Devices: Half-masks, quarter-masks; requirements, testing, marking. European Committee for Standardization European Standards EN 140, 1999.
10. Janssen Larry L., Bidwell Jeanne O., Efficiency of Degraded Electret Filters: Part II – Field Testing Against Workplace Aerosols *Journal of the International Society for Respiratory Protection* 2003. Vol. 20, p. 81.
11. Janssen Larry, Bidwell Jeanne, Karen Cuta, and Thomas Nelson Workplace Performance of a Hood-Style Supplied-Air Respirator *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2008. Vol. 5, № 7, p. 438–443.
12. Janssen Larry L., Nelson, Thomas J. and Cuta, Karen T. Workplace Protection Factors for an N95 Filtering Facepiece Respirator, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2007. Vol 4, № 9, p. 698.
13. Hardis. K.E.; C.A. Cadena; G.J. Carlson; R.A. da ROZA. Correlation of Qualitative and Quantitative Results from Testing Respirator Fit *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1983. Vol. 44, № 2, p. 78–87.
14. Lenhart S.W., Campbell D.L. Assigned Protection Factors for Two Respirator Types Based Upon Workplace Performance Testing. *Annals of Occupational Hygiene*, 1984. Vol. 28, № 2, p. 173–182.
15. Spear Terry M.; James DuMond; Carrie Lloyd; James H. Vincent An Effective Protection Factor Study of Respirators Used by Primary Lead Smelter Workers *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2000. Vol. 15 p. 235.
16. Wu Ming-Tsang Assessment of the Effectiveness of Respirator Usage in Coke Oven Workers, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 2002. Vol. 63, № 1, p. 72–75.
17. Zhuang Ziqing; Christopher C. Coffey; Paul A. Jensen; Donald L. Campbell; Robert B. Lawrence; Warren R. Myers Correlation Between Quantitative Fit Factors and Workplace Protection Factors Measured in Actual Workplace Environments at a Steel Foundry *American Industrial Hygiene Association Journal*, 2004. Vol.64 № 6 p.730.

Рецензія/Peer review : 8.10.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Калда Г.С.

УДК 677.11.21:510.67

О.О. ГОРАЧ, О.Ф. БОГДАНОВА, Т.І. ТЕРНОВА

Херсонський національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ЦЕЛЮЛОЗИ З МЕТОЮ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Обґрунтовано запропонований спосіб одержання целюлози з короткого волокна льону-довгунця та льону олійного. Подано математичні моделі технологічного процесу одержання целюлози, встановлено оптимальні параметри режиму варіння целюлози нейтрально-сульфітним способом із використанням повторно лужного розчину. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень в роботі запропоновано спосіб одержання целюлози з льняного волокна, в якому за рахунок технологічних особливостей технологічного процесу можливо одержати целюлозу з льняного волокна з показниками якості, які не поступаються за якістю показникам целюлози, одержаної з листяних порід дерев. На відміну від традиційних довготривалих і трудомістких способів одержання целюлозовмісних напівфабрикатів методом варіння, запропонований спосіб дає можливість знизити енерговитрати та за менший проміжок часу отримати целюлозовмісну сировину, технологічні властивості якої забезпечили б можливість її застосування для виготовлення виробів технічного призначення.

Ключові слова: целюлоза, лляне волокно, варіння, параметри, математичні моделі, режими, виробу технічного призначення.

O.O. GORACH, O.F. BOGDANOVA, T.I. TERNOVA

Kherson National Technical University

DESIGN OF PRODUCING PROCESS CELLULOSE FOR MANUFACTURING PRODUCTS TECHNICAL

Grounded proposed method of producing pulp from short fiber flax and linseed. Posted mathematical model of the process of obtaining cellulose, found the optimal settings for the pulping neutral sulphite method using alkaline solution again. On the basis of theoretical and experimental research in the proposed method of producing cellulose fibers from flax, which due to the technological features of the process may be obtained from cellulose fibers from flax quality indicators that are not inferior in quality indicators pulp obtained from hardwood trees. Unlike traditional long and labor-intensive methods of producing cellulose semi cooking method, the proposed method makes it possible to reduce energy costs and in less time to get cellulose raw materials, technological properties which would provide the possibility of applying for the manufacture of technical products.

Keywords: cellulose, flax fiber, cooking, parameters, mathematical models, profiles, technical products.

Постановка проблеми. На сьогодні стан целюлозно-паперової промисловості України не відповідає потребам її економіки, культури, освіти. За рівнем споживання картонно-паперової продукції на душу населення Україна займає одне з останніх місць у Європі – близько 18 кг, хоча середньосвітове споживання паперу і картону на людину складає більше 50 кг, західноєвропейське – 197 кг, а в США – 343 кг. Виробничі потужності целюлозно-паперових підприємств України завантажені лише на 30 %, у той час як близько 50 % картонно-паперової продукції ввозиться в країну. У 2004 році виробництво целюлози не перевищувало 40 тис. тонн і українська целюлозно-паперова промисловість, в основному, була орієнтована на переробку тільки макулатури. Використання імпортової целюлози підвищує собівартість одержуваної продукції [1].

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Целюлоза, крім виробництва паперу та картону, використовується хімічною промисловістю як сировина для виробництва етерів та естерів целюлози, з яких одержують пластики, плівки, лаки, емалі, штучні волокна та клеї. В Україні повністю відсутнє виробництво целюлози для хімічної переробки через недостатню сировинну базу, хоча є цілий ряд підприємств, які для своїх потреб використовують імпортовану целюлозу [2].

Сільське господарство, виробляючи щорічно значну кількість зернових, технічних та інших культур, володіє величезними ресурсами побічних продуктів. Номенклатура всіх побічних продуктів, що можуть бути використані як сировина в різних галузях промисловості, дуже велика. З усіх видів недеревної рослинної сировини придатними для отримання волокнистих напівфабрикатів визнані: солома злакових культур, стебла кукурудзи, олійних та інших технічних культур, таких як бавовник, соняшник, ріпак, а також заостричене коротке волокно, лляна та конопляна костриця.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що зростаючий дефіцит деревної сировини зумовлює доцільність використання для одержання целюлозних матеріалів продуктів переробки однорічних рослин недеревної природи, а саме волокон льону-довгунця й льону олійного.

Формулювання цілей статті. Враховуючи вищевикладене, особливої актуальності набуває питання розробки нових енергозберігаючих та економічно недорогих способів одержання целюлози з власних сировинних запасів України, для заміщення імпортованої сировини, що наразі використовується у целюлозно-паперовій промисловості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основними хімічними компонентами лляного стебла, як луб'яної, так і деревної його частини є: целюлоза, лігнін, пектинові речовини та геміцелюлози. Раніше головним джерелом одержання целюлози була бавовна (бавовняний лінт), однак сьогодні вона стала

імпортною сировиною, що, у свою чергу, призвело до підвищення цін на продукти її переробки. На сьогоднішній день відомо досить багато способів одержання целюлози.

Усі процеси одержання целюлози зводяться до звільнення її від інших супутніх речовин, що містяться в рослинній тканині (лігніну, геміцелюлоз, смоли, жирів та ін.), тим або іншим хімічним способом [3–8]. Оскільки основною речовиною, від якої прагнуть звільнитися в результаті такої обробки, є лігнін, процес одержання целюлози називають делігніфікацією відповідного рослинного матеріалу. Продукт делігніфікації називають технічною целюлозою.

Природно, що властивості технічної целюлози змінюються в досить широких межах залежно від того, наскільки повно в процесі хімічної обробки були відділені супутні речовини, зокрема лігнін, і якою мірою виявилася ушкодженою сама клітковина. За ступенем проварювання, який характеризує залишковий вміст лігніну, целюлози можуть бути розділені на декілька груп. Розрізняють целюлози жорсткі, які містять приблизно від 3 до 8 % лігніну, середньої жорсткості, які містять від 1,5 до 3 % лігніну, і м'які, які містять не більше ніж 1,5 % залишкового лігніну. При відповідному виборі сировини й зміні методів та умов обробки можна отримати технічну целюлозу, більш або менш звільнену від сторонніх речовин, яка буде мати необхідні властивості.

Усі відомі способи делігніфікації з метою одержання целюлози можна розділити на шість груп: кислотні, лужні, нейтральні, окисні, ступінчасті, комбіновані.

Кожен спосіб має свої переваги й недоліки залежно від вимог до якості волокнистих напівфабрикатів, економічних та екологічних чинників.

Проаналізовані наукові роботи свідчать, що усі вищенаведені методи одержання целюлози є трудомісткими, шкідливими для навколишнього середовища та потребують розширення або реконструкції наявної технічної бази виробництва. Тому актуальним завданням сьогодення є розробка вітчизняних ресурсозберігаючих технологій переробки стебел соломи льону олійного з метою отримання целюлозовмісних напівфабрикатів у цілому та целюлози зокрема. Це не тільки дозволить вирішити екологічну проблему галузі, а й забезпечить країну папером, картоном та композиційними матеріалами різноманітного призначення.

Методи делігніфікації повинні бути спрямовані на збереження альфа-целюлози від пошкодження, адже її вміст характеризує придатність целюлози для тих або інших промислових цілей. Альфа-целюлоза, бета-целюлоза та гамма-целюлоза не є індивідуальними хімічними сполуками. Це тільки технічне поняття, що характеризує ступінь деструкції технічної целюлози [9].

Підсумовуючи вищевикладене, можна дійти висновку, що волокно льону олійного, а також коротке волокно льону-довгунця є високоякісною швидко відновлюваною целюлозовмісною сировиною. Розвиток технологій переробки стебел соломи льону олійного з метою одержання целюлозовмісних напівфабрикатів дозволить раціонально використовувати власні ресурси України та створить вітчизняну сировинну базу целюлозовмісних матеріалів для різних галузей промисловості, адже площі вирощування льону олійного з кожним роком постійно зростають.

Таким чином, найбільш раціональним способом вирішення проблем дефіциту бавовняної сировини й збереження лісових запасів є використання целюлозних напівфабрикатів, одержаних із льняної сировини та інших видів однорічних рослин, як альтернативи деревній і бавовняній целюлозі.

Виконуючи дослідження згідно з Загальнодержавною цільовою програмою розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року, вчені Херсонського національного технічного університету розробили технології отримання технічної целюлози з луб'яної сировини – волокон льону олійного, льону-довгунця та конопель – для подальшого одержання картону та паперу [10–12]. Дані технології були розроблені у 2010–2014 рр. показники якості отриманих волокнистих напівфабрикатів визначили за чинними стандартами на целюлозу та папір із деревної сировини.

Переваги використання низькосортного короткого лляного волокна для одержання целюлози перед деревними видами сировини в тому, що воно містить луб з міцною довговолокнутою целюлозою, а також процес приготування сировини не потребує застосування енергоємної технологічної операції приготування щепи, середня довжина короткого волокна, що використовується для варіння целюлози становить 10-50 мм, а його вартість на ринку України становить 19 грн/кг, при цьому льон щорічно відновлювана сировина, а для деревинної сировини потрібні десятиліття відновлювання.

В результаті проведених досліджень було встановлені оптимальні параметри та режими варіння целюлози нейтрально-сульфитним способом з використанням відпрацьованого луку. Для визначення впливу вхідних параметрів технологічного процесу варіння целюлози на вихід целюлози було математично оброблено за допомогою метода математичного планування експерименту [13–16], який широко застосовують для визначення оптимальних режимів різних технологічних процесів.

З цією метою проводять повний факторний експеримент, під час якого досліджують вплив концентрації розчину сульфата натрію X_1 , температура варіння целюлози X_2 та тривалість варіння целюлози X_3 на якісний показник технічної целюлози, а саме вміст залишкового лігніну Y_1 .

У загальному вигляді математична модель, що описує залежність вихідного фактора K , тобто вмісту залишкового лігніну Y_1 , від вхідних факторів, має вигляд:

$$K = f(X_1, X_2, X_3), \tag{1}$$

де X_1 – концентрація сульфїта натрія Na_2SO_3 , г/л;
 X_2 – температура варіння целюлози, °С;
 X_3 – тривалість варіння целюлози, хв.

Для деталізації моделі застосовують метод математичного планування експерименту й записують рівняння регресії, нехтуючи степенями факторів вище першого, у вигляді:

$$K = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3, \tag{2}$$

де x_1, x_2, x_3 – кодовані значення факторів;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коефіцієнти рівняння регресії.

Розв’язання даної моделі дасть можливість виявити вплив концентрації розчину сульфїта натрія, тривалості варіння целюлози та температури варіння на вміст залишкового лігніну в процесі варіння целюлози.

Адекватність отриманих математичних залежностей перевіряють за критерієм Фішера.

Згідно з вищенаведеною методикою проводять розрахунки із застосуванням програмного продукту «MathCAD 14», будують матриці планування експерименту, поверхні відгуку кодованих і натуральних факторів, складають регресійні рівняння й визначають критерії Кохрена та Стьюдента для визначення впливу вхідних параметрів на вихідні характеристики целюлози, а саме вмісту залишкового лігніну.

Визначені коефіцієнти рівняння регресії перевірялися на значущість за критерієм Стьюдента. В результаті перевірки значущості коефіцієнтів було одержано рівняння регресії в кодованих факторах, яке має вигляд:

$$y(x_1, x_2, x_3) = 6.3 + 0.09x_1 + 0.18x_2 + 0.36x_3 \tag{3}$$

Після чого одержане рівняння регресії було перевірено на адекватність, оскільки $F_p < F_T$, то отримана математична модель є адекватною.

Враховуючи зв’язок між кодованими та дійсними факторами, рівняння регресії в натуральних факторах набуває вигляду:

$$Y_{\text{ліг}} = 1.89 + 0.009 \cdot C + 0.018 \cdot t + 0.006 \cdot \tau \tag{4}$$

Поверхні відгуку, впливу на вміст лігніну $Y_{\text{ліг}}$ концентрації C та температури t при заданому часі τ , зображено на рис. 1.

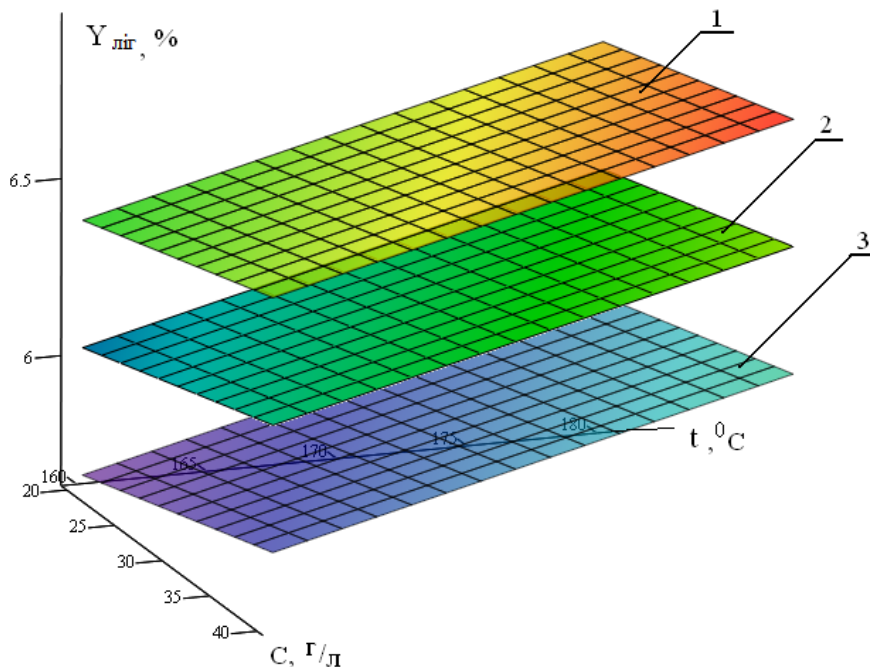


Рис. 1. Вплив на вміст лігніну $Y_{\text{ліг}}$ концентрації C та температури t при заданому часі τ :

- 1 – залежність при 240 хв;
- 2 – залежність при 180 хв;
- 3 – залежність при 120 хв

Поверхні відгуку, впливу на вміст лігніну $Y_{\text{ліг}}$ концентрації C та часу варіння целюлози τ при заданій температурі t , зображено на рис. 2.

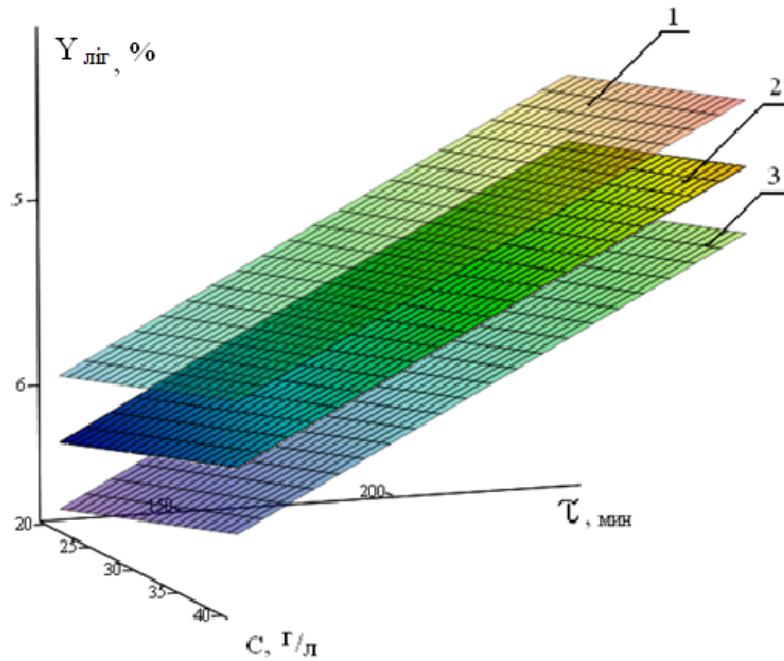


Рис. 2. Вплив на вміст лігніну $Y_{ліг}$ концентрації C та часу варіння τ при заданій температурі t :

- 1 – залежність при температурі 180°C ;
- 2 – залежність при температурі 170°C ;
- 3 – залежність при температурі 160°C

Поверхні відгуку, впливу на вміст лігніну $Y_{ліг}$ температури t та часу варіння τ при заданій концентрації C , зображено на рис. 3.

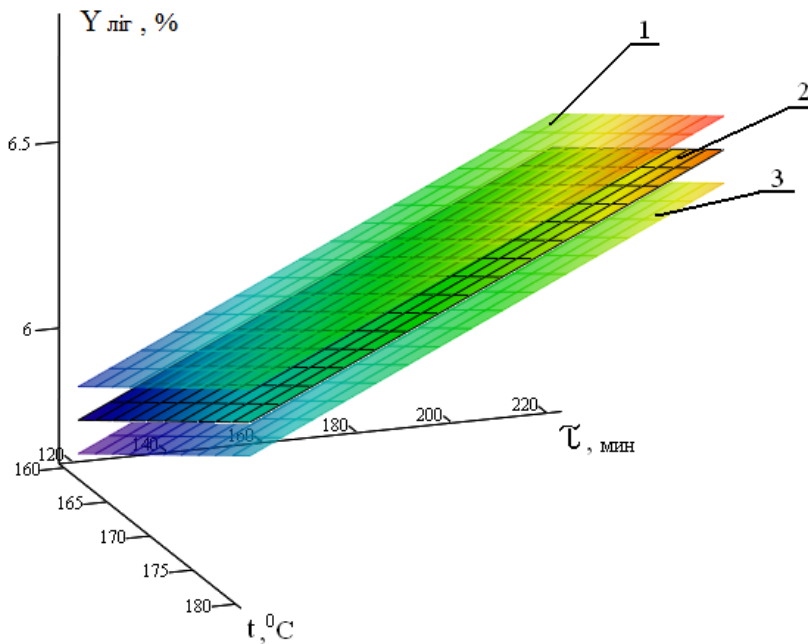


Рис. 3. Вплив на вміст лігніну $Y_{ліг}$ температури t та часу варіння τ при заданій концентрації C :

- 1 – залежність при концентрації 40 г/л ;
- 2 – залежність при концентрації 30 г/л ;
- 3 – залежність при концентрації 20 г/л

Аналізуючи поверхні відгуку, що зображено на рис. 1–3 та одержаних даних можна зробити висновок, що за допомогою нейтрально-сульфітного способу варіння целюлози з короткого льняного волокна можна одержати за 120 хв, целюлозу з вмістом залишкового лігніну $5,67\%$ та високим фізико-механічними показниками. В прийнятих межах варіювання вказаних факторів варіння целюлози з мінімальним вмістом лігніну $5,67\%$ можливо одержати при використанні такого режиму та із застосуванням таких параметрів варіння: концентрації сульфата натрія $\text{Na}_2\text{SO}_3 - 20\text{ г/л}$, температури варіння целюлози – 160°C та тривалості варіння целюлози – 120 хв при pH середовища – $9,0$ та гідромодулі $8:1$.

Аналіз отриманого регресійного рівняння і поверхонь відгуку, що зображено на рис. 1-3 свідчить, що з короткого льняного волокна можна одержати целюлозу з досить високими якісними показниками, придатну для виробництва целюлозних напівфабрикатів, при певному оптимізації технологічного процесу варіння, тобто з урахуванням режимів та параметрів варіння льняної сировини, яке було запропоновано в даній роботі.

На основі проведеного математичного моделювання технологічного процесу варіння целюлози з короткого льняного волокна отримано математичну модель залежності виходу целюлози від концентрації розчину сульфата натрія, температури варіння целюлози та тривалості варіння целюлози, які дозволяють визначити оптимальні параметри технологічного процесу одержання целюлози з льняного волокна з показниками якості, що підтверджує їх придатність для отримання виробів технічного призначення з целюлози таких як фільтрувальний папір, наповнювачі для виготовлення полімерних та композиційних виробів.

Висновки з даного дослідження і перспективи. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень в роботі запропоновано спосіб одержання целюлози з льняного волокна, в якому за рахунок технологічних особливостей технологічного процесу можливо одержати целюлозу з льняного волокна з показниками якості, які не поступаються за якістю показникам целюлози, одержаної з листяних порід дерев. На відміну від традиційних довготривалих і трудомістких способів одержання целюлозовмісних напівфабрикатів методом варіння, запропонований спосіб дає можливість знизити енерговитрати та за менший проміжок часу отримати целюлозовмісну сировину, технологічні властивості якої забезпечили б можливість її застосування для виготовлення виробів технічного призначення.

На основі вищевикладеного, можна зробити висновок, що використання, вітчизняної, недорогої, щорічно відновлюваної сировини, може стати додатковим джерелом для вітчизняної целюлозно-паперової промисловості, та в свою чергу, буде сприяти вирішенню проблеми імпортозаміщення.

Література

1. Дейкун І.М. Розробка технологій одержання лляної целюлози для хімічної переробки : дис. ... канд.техн.наук : 05.18.05 / Дейкун І.М. – К., 2005. – С. 171.
2. Воронин А. Обзор рынка целлюлозы Украины / А. Воронин // Бумага и жизнь. – 2004. – № 11. – С. 16–22.
3. Технологии целлюлозно-бумажного производства: справочные материалы : в 3 т. Т. 3. Ч. 3. Наилучшие доступные технологии в целлюлозно-бумажной промышленности / Всерос. науч.-исслед. ин-т целлюлоз.-бум. пром-сти ; [редкол. : Осипов П. С. (отв. ред.) и др.]. – Санкт-Петербург : Политехника, 2012. – 294 с.
4. Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы : [учеб. пособ. для вузов] / Ю.Н. Непенин. – М. : Экология, 1994. – Т. 3. – 590 с.
5. Пат. 49057 U Україна, МПК D01B1/00. Спосіб одержання целюлози із волокна льону олійного / Горач О.О., Тіхосова Г.А. ; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № u 2009 12080 ; заявл. 24.11.09 ; опубл. 12.04.10, Бюл. № 7. – 2 с.
6. Пат. 56855 U Україна, МПК D21 C 5/00. Спосіб отримання целюлози / Чурсіна Л.А., Богданова О.Ф., Ляліна Н.П., Резвих Н.І. ; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № u 2010 09392 ; заявл. 26.07.10 ; опубл. 25.01.11, Бюл. № 2. – 3 с.
7. Пат. 48160 U Україна, МПК D21 C 3/00. Спосіб одержання лляної целюлози / Путінцева С.В., Богданова О.Ф., Чурсіна Л.А. ; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № u 2009 09186 ; заявл. 10.03.10 ; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5. – 2 с.
8. Пелевин Ю.А. Промывка, очистка, отбелка и сушка сульфитной целлюлозы : [учеб. пособ.] / Ю.А. Пелевин. –Л. : ЛТА им. С. М. Кирова, 1979. – 116 с.
9. Иванов Ю.С. Современные способы варки сульфатной целлюлозы : [учебн. пособ.] / Ю.С. Иванов. – Спб : ГОУ ВПО СпбГТУРП, 2005. – 63 с.
10. Патент на изобретение 10331 А от 25.12.96. Способ получения целлюлозы / Чурсина Л.А., Логачева Л.И., Богданова О.Ф. и др. – Бюл. № 4.
11. Патент на изобретение № 33428 А от 15.02.01. Способ отбеливания льняного целлюлозного полуфабриката / Богданова О.Ф., Путинцева С.В., Чурсина Л.А. – 2001. Бюл. № 1.
12. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / В.Б. Тихомиров. – М. : Лёгкаяиндустрия, 1974. – 262 с.
13. Севастьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности : [учебн. для вузов текстильн. пром.] / А.Г. Севастьянов. – М. : Лёгкая индустрия, 1980. – 392 с.
14. Глушаков С.В. Математическое моделирование : [учебный курс] / С.В. Глушаков, И.А. Жакин, Т.С. Хачиров. – Харьков : Фолио, 2001. – 524 с.
15. Сенкевич А.Ю. Математическое моделирование автоматизированных систем контроля и управления : [метод. указание] / А.Ю. Сенкевич. – Тамбов : Изд-во Тамб. госуд. техн. ун-та, 2004. – 44 с.
16. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : [учеб. пособие для студ. ВТУЗов] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М. : Издат. центр «Академия», 2003. – 464 с.

УДК 541.1

О.І. ХИЖАН, В.К. БУХТІЯРОВ, Л.О. НЕСТЕРОВА
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

РОЗРОБКА КУРСУ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИЧНА І КОЛОЇДНА ХІМІЯ» В ОБОЛОНЦІ MOODLE

У роботі детально проаналізовано розробку курсу дистанційного навчання з фізичної і колоїдної хімії для студентів спеціальності «Харчові технології» в оболонці Moodle. Курс дистанційного навчання призначений для організації самостійної роботи студентів. Він включає організаційний блок, 6 тематичних блоків і контролюючий блок. Курс містить різні типи елементів: лекції, презентації, глосарію, форуму новин, тестів, завдань.

Ключові слова: Moodle, курс дистанційного навчання, фізична і колоїдна хімія.

O.I. KHYZHAN, V.K. Bukhtiyarov, L.O. NESTEROVA
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

DEVELOPMENT OF DISTANCE LEARNING COURSES PHYSICAL AND COLLOID CHEMISTRY SHEATHED MOODLE

In the article analyzed the development of e-learning course on physical and colloidal chemistry for students of the specialty "Food technology" in the Moodle shell. Distance learning course is intended for the organization of independent work of students. It includes: organizational unit, 6 thematic blocks and controlling block. The course contains different types of elements: lectures, presentations, Glossary, forum of news, tests, tasks.

Keywords: Moodle, distance learning course, physical and colloid chemistry.

Вступ

Для розвитку харчової промисловості України необхідна підготовка технологів, що володіють знаннями фундаментальних наук і вміють застосовувати всі можливості сучасної науки для вирішення поточних проблем, впроваджують у виробництво продуктів харчування передові технології. Сучасний характер і динамізм розвитку суспільства ставить перед педагогами, психологами та всіма фахівцями у галузі організації освіти нові завдання. Одне з них – це пошук і впровадження нових, ефективніших форм навчання. Однією з таких форм є дистанційне навчання. Інформаційно-комунікаційні технології дистанційного навчання – це технології створення, передавання і зберігання навчальних матеріалів, організації і супроводу навчального процесу за допомогою телекомунікаційного зв'язку, зокрема, електронних локальних, регіональних та глобальних (Інтернет) мереж [1, 2]. Дистанційне навчання вирішує одне з завдань Болонського процесу, яке полягає у створенні глобального міжнародного освітнього середовища, головною перевагою якого є представлення навчального матеріалу у дидактично уніфікованому й формалізованому вигляді та надання можливості його використання у будь-якому місці й у будь-який час незалежно від форми навчання студента.

В останні роки у Національному університеті біоресурсів і природокористування України (НУБіП України) на основі використання модулів системи Moodle (Moodle – акронім від Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment — модульне об'єктно-орієнтоване динамічне навчальне середовище) побудована проста, але функціональна система навчання та контролю за ним, яка надає чудову можливість створення навчального середовища з набором навчальних електронних курсів [3].

Для студентів хімічних та хіміко-технологічних університетів на платформі Moodle створено курси з фізичної хімії [4, 5]. Але вони не враховують специфіку навчання студентів аграрно-біологічних спеціальностей.

Метою даної роботи стала розробка курсу дистанційного навчання з дисципліни «Фізична та колоїдна хімія» для студентів спеціальності «Харчові технології» на платформі Moodle.

Курс складений за підручниками [6, 7] і методичними посібниками [8, 9], які використовуються для викладання у НУБіП України дисципліни «Фізична та колоїдна хімія» для студентів спеціальності «Харчові технології». У дисципліні «Фізична та колоїдна хімія» передбачається аудиторна (лекційні, лабораторні заняття, модульні контрольні роботи) і самостійна робота студентів. Завданням курсу дистанційного навчання є організація самостійної роботи студентів.

Курс дистанційного навчання поділяється на організаційний блок, шість тематичних блоків і контролюючий блок. Структура курсу дистанційного навчання представлена на рис. 1.

Організаційний блок представлено на рис. 2. Він містить:

- робочу програму навчальної дисципліни з описом структури курсу, методичні рекомендації для студентів щодо вивчення дисципліни;
- глосарій – словник, зв'язаний гіперпосиланнями з текстом лекцій, тестів та інших ресурсів;
- календарний план проходження курсу;
- друковані та Інтернет джерела;
- критерії оцінювання;
- новини – інформаційний форум, в якому дається інформація про новини курсу (наприклад, поповнення матеріалів курсу);

- зворотній зв'язок, який дозволяє викладачеві створити власне опитування для збору думок учасників для поліпшення курсу.

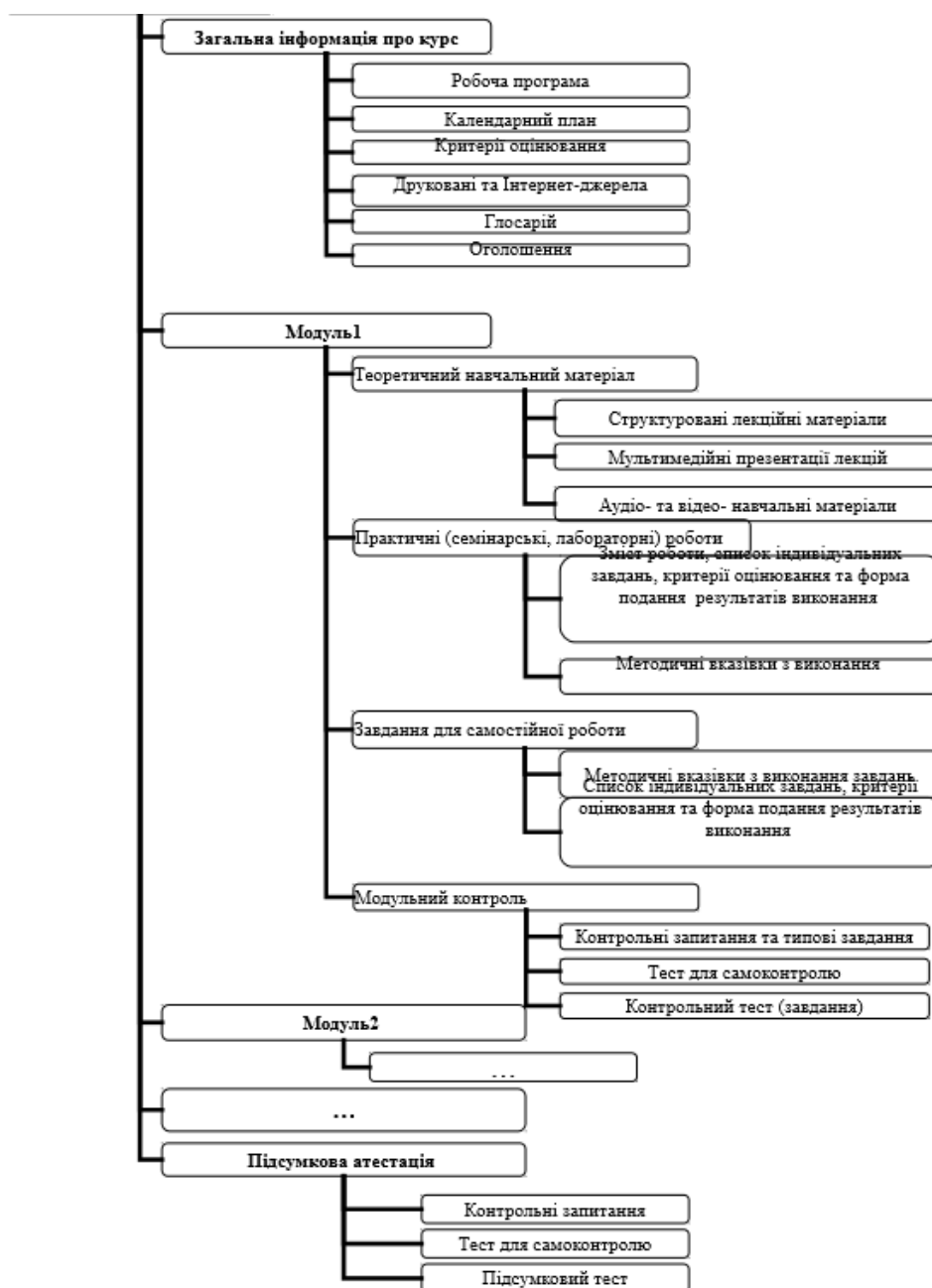


Рис. 1. Структура курсу дистанційного навчання



Рис. 2. Організаційний блок курсу дистанційного навчання

У курсі, з врахуванням особливостей навчання в аграрному вузі, запропоновано такі тематичні блоки: 1) хімічна термодинаміка; 2) кінетика та каталіз; 3) розчини; 4) електрохімія; 5) поверхневі явища; 6) дисперсні системи; 6) розчини ВМС. Вигляд тематичного блоку «Електрохімія» представлено на рис. 3.

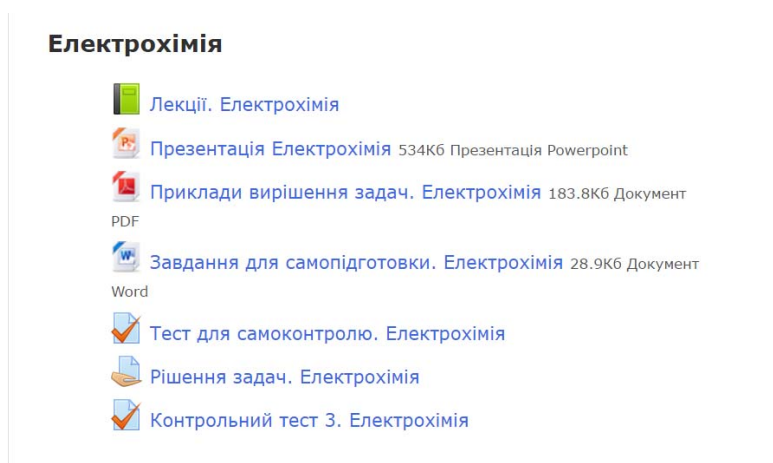


Рис. 3. Вигляд тематичного блоку Електрохімія

Кожний тематичний блок включає лекції, розділи підручників тощо (модуль Книга). Модуль Книга дозволяє викладачам створювати багатосторінкові текстові ілюстровані ресурси з розділами та підрозділами. Він може містити мультимедійні файли, а також текст і корисну для тривалого зберігання довідкову інформацію, яка може бути розбита на розділи. У цьому курсі модуль Книга використано для зберігання лекцій. У кожному розділі цього модуля розглянуті певні питання лекції. Усі основні поняття, які зустрічаються у лекціях, мають гіперпосилання та занесені до глосарію (рис. 4). Записи глосарію можуть бути переглянуті за алфавітом або за категоріями, дати або автору.

Після вивчення теоретичного матеріалу для самоперевірки студентам пропонується пройти тест по заданій темі. Цей модуль надає викладачу можливість розробляти тести, які можуть містити питання різних типів, у тому числі множинного вибору, на відповідність, з короткою або числовою відповідями.

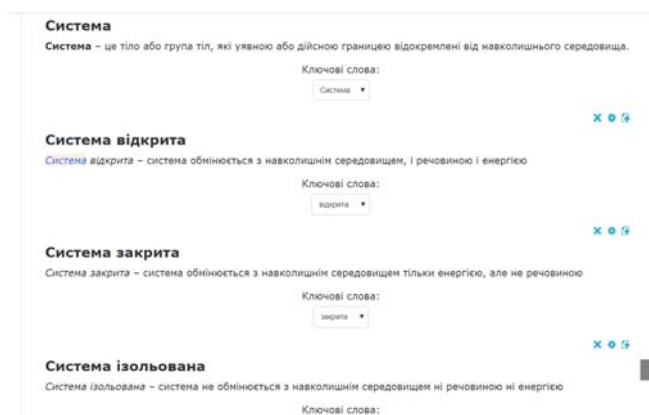


Рис. 4. Вигляд глосарію курсу дистанційного навчання

Викладач може дозволити декілька спроб проходження тесту, питання можуть перемішуватися або вибиратися випадковим чином з банку питань. Також може бути встановлено обмеження часу на проходження тесту. Кожна спроба оцінюється автоматично, із записом у журналі оцінок. Студентам надається інформація про час відведений на тест, максимальну оцінку і кількість спроб, яка допускається (рис. 5).

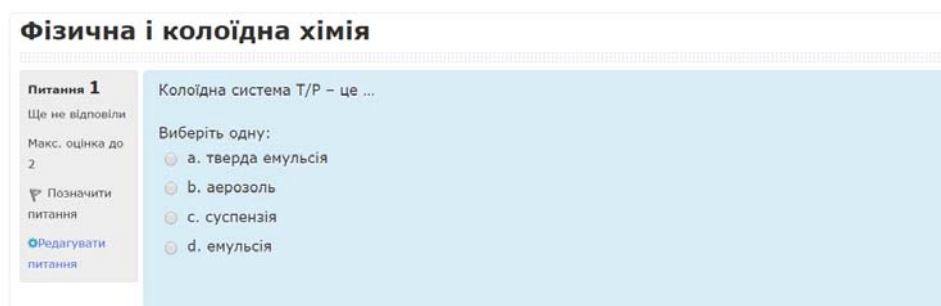


Рис. 5. Вигляд тесту п'ятого тематичного блоку «Поверхневі явища» курсу дистанційного навчання з фізичної та колоїдної хімії

По закінченню тестування висвічується вікно з результатами. Якщо студент незадовільно пройшов тест, йому пропонується уважніше вивчити теоретичний матеріал і пройти тест для самоконтролю ще раз.

У курсі фізичної та колоїдної хімії передбачається розв'язання задач. Тому й у нашому дистанційному курсі присутній такий вид занять. Студентам пропонується наочний зразок розв'язку задачі.

Після вивчення цього зразка студенти повинні самостійно вирішити 2 завдання. Для спрощення перевірки завдання викладені у вигляді тесту з 5-а варіантами відповіді або у вигляді числових питань. Ще один з видів контролю розв'язання задач є модуль Завдання, з якого викладач зможе побачити хід розв'язання задачі. Модуль діяльності Завдання дозволяє викладачам видавати завдання, збирати роботи, оцінювати їх та залишати відгуки на ці роботи. Студенти можуть відправляти будь-який цифровий контент (файли), такий як текстові документи, електронні таблиці, картинки, аудіо та відео файли. Крім того, можна дозволити студентам вводити відповідь безпосередньо у редакторі на сайті. При розгляді завдання викладачі можуть залишати текстові відгуки або файли з детальним роз'ясненням по роботі студента. Завдання можуть бути оцінені числовим виразом або за літерною шкалою.

У кінці тематичного розділу студентам пропонуються завдання для самостійної роботи, де наведені питання та задачі з даної теми. Кожний розділ закінчується контрольним тестом та завданням з розв'язанням задач. Оцінка за тестування і вирішення задач записується до журналу оцінок.

У кінці курсу дистанційного навчання передбачається контрольний тест, який може складатися з тестових завдань для самоконтролю, з завдань тематичних розділів та нових завдань.

Висновки

Таким чином, розроблено курс дистанційного навчання з фізичної та колоїдної хімії. Курс містить різні типи елементів: лекції, презентації, глосарій, форум новин, тести, завдання. Використання такого дистанційного курсу активізує самостійну роботу студентів, дозволяє проводити самоконтроль та контроль одержаних знань, збільшувати кількість слухачів дисципліни.

Література

1. Brouwer N. Online Support and Online Assessment for Teaching and Learning Chemistry / I. Eilks, B. Byers (Eds.) // Innovative Methods of Teaching and Learning Chemistry in Higher Education. / N. Brouwer, C. McDonnell. – Cambridge UK : RSC Publishing, 2009. – P. 123–152.
2. Анисимов А. М. Работа в системе дистанционного обучения Moodle : учебное пособие / Анисимов А.М. – Харьков : ХНАГХ, 2009. – 292 с.
3. Мокрієв М. В. Інтеграція Moodle в інформаційно-освітнє середовище університету / М. В. Мокрієв // MoodleMoot Ukraine 2016. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle : четверта міжнародна науково-практична конференція, 19-20 травня 2016 р. : тези доп. – К. : КНУБА, 2016. – С. 12.
4. Lewis D. W., Caruana D. J., Lewis D. W., Salzman C. G. CHEM1301: Basic Physical Chemistry [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.ucl.ac.uk/basc/documents/chem1301_synopsis.
5. Болвако А. К. О применении системы дистанционного обучения для компьютерного тестирования знаний студентов по дисциплине «Физическая химия» / А. К. Болвако, Г. П. Дудчик // Труды БГУ. – 2015. – № 8. С. 124 – 127.
6. Фізична і колоїдна хімія / [Стрельцов О. А., Мельничук Д. О., Снітинський В. В. та ін.]. – Львів : Ліга-Прес, 2002. – 456 с.
7. Мчедлов-Петросян М. О. Колоїдна хімія / Мчедлов-Петросян М. О., Лебидь В. И., Глазкова О. М. – Харків : Фоліо, 2005. – 304 с.
8. Практикум з фізичної та колоїдної хімії / [Вовкотруб М. П., Мельничук Д. О., Смик С. Ю. та ін.]. – К. : Арістей, 2008. – 256 с.
9. Хижан О. І. Фізико-хімічні основи харчових виробництв / О. І. Хижан, С. В. Жильцова. – Вінниця : ДонНУ, 2015. – 108 с.

Рецензія/Peer review : 25.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2016 р.
Рецензент: д.х.н., проф. Максін В.І.

УДК 621.396.12

Д.А. МАКАРИШКІН, Ю.М. БОЙКО, Л.В. КАРПОВА

Хмельницький національний університет

МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СИТУАЦІЙ СИГНАЛЬНО-ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ЦИФРОВИХ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ

Стаття присвячена вдосконаленню методу розпізнавання ситуацій сигнально-завадової обстановки цифрової радіорелейної станції, в якому у процедуру оцінювання ситуації до вимірюваних параметрів сигналу у вигляді співмножників вводять вагові коефіцієнти ознак різних завад шляхом врахування вихідних сигналів індикаторів ознак, які є супутніми у постановці імітаційних та шумових завад. Вдосконалений метод розпізнавання ситуацій сигнально-завадової обстановки цифрової радіорелейної станції дає змогу підвищити швидкодю та достовірність виявлення імітаційних завад у каналі передачі даних.

Ключові слова: цифрова радіорелейна станція, канал передачі даних, сигнально-завадова обстановка, імітаційна завада, розпізнавання ситуацій, інформаційно-вимірювальна та керуюча система.

D.A. MAKARYSHKIN, J.M. BOIKO, L.V. KARPOVA

Khmelnitsky National University

METHOD OF SITUATIONS RECOGNITION OF THE SIGNAL-HINDRANCES SITUATION FOR THE INCREASE OF THE DIGITAL RADIO-RELAY STATIONS NOISE STABILITY

The article is sanctified to perfection of method of situations recognition of the signal-hindrances situation of the digital radio-relay stations, in that in procedure of evaluation of situation to the measurable parameters of signal as factors enter the weighed coefficients of signs of different hindrances by taking into account of initial signals of indicators of signs, that accompany in raising of imitation and noise hindrances. The improved method of recognition of situations of signal-hindrances situation of the digital radio-relay station gives an opportunity to promote a fast-acting and authenticity of exposure of imitation hindrances in the channel of data.

Keywords: digital radio-relay station, channel of data, signal-hindrances situation, imitating hindrance, recognition of situations, informatively-measuring and managing system.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Канал передачі даних включає до свого складу передавач, приймач та середовище передачі. Обробка сигналу з метою отримання корисної інформації здійснюється на приймальній стороні. Статистичні характеристики суміші $y(t)$ модульованого радіочастотного сигналу та завади на виході антенної системи представляють собою вихідні дані для подальшої обробки у приймачі радіоканалу передачі даних.

Під модульованим радіочастотним сигналом представляють сигнал у вигляді радіовипромінювання або сигнал електричного кола на частоті радіовипромінювання, який є результатом модуляції несучої або піднесучої.

Суміш $y(t)$ може бути представлена у наступному вигляді:

$$y(t) = u_c(t, x_c, \alpha_c) + u_{ш}(t), \quad (1)$$

де $u_c(t, x_c, \alpha_c)$ – корисний сигнал; $x_c(t)$ – повідомлення; α_c – вектор невідомих неінформаційних параметрів сигналу у місці прийому; $u_{ш}(t)$ – адитивна завада у вигляді шуму.

Повідомлення $x_c(t)$ представляється вектором у вигляді $x_c(t) = \langle x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t) \rangle$. Параметрами $x_1(t), x_2(t), \dots$ можуть бути амплітуда, фаза сигналу та їх похідні. Кожна компонента вектора $x_c(t)$ є випадковим процесом, а $u_{ш}(t)$ представляє собою вектор параметрів завад у вигляді $u_{ш}(t) = \langle u_1(t), u_2(t), \dots, u_N(t) \rangle$.

Повідомлення $x_c(t)$ є нормальним випадковим процесом із відомими математичним сподіванням $M_x(t)$ та кореляційною функцією $R_x(t_1, t_2)$ (яка визначається для центрованих повідомлень). Точність відтворення повідомлення оцінюється середнім квадратом $M[\delta^2(t)]$ похибки його відтворення, де δ – похибка відтворення.

Неперервний сигнал каналу передачі в приймачі перетворюється у дискретний вигляд. У дискретні моменти часу k спостерігаються n параметри вихідних сигналів первинних вимірювачів (фазові координати) приймача каналу передачі даних, які складають вектор [1].

$$z_k = c_k y_k + \zeta_k, \quad (2)$$

де k – поточний крок підрахунку, $k = \overline{1, K}$; n – порядковий номер параметра, $n = \overline{0, N}$; c_k – матриця дискримінаційних характеристик розмірності $n \times m$, $m = \overline{0, \Lambda}$; ζ_k – n -мірний вектор шумів вимірювань. По суті z_k представляє собою вектор у вигляді $z_k(t) = \langle z_{1k}(t), z_{2k}(t), \dots, z_{Nk}(t) \rangle$.

Наприклад, у випадку спостереження сигналів з QAM-модуляцією фазовими координатами

$z_1(t), z_2(t), \dots, z_N(t)$ можуть бути амплітуди, фази сигналу, частота та ін.

Цифрові радіорелейні станції (ЦРПС) використовують сигнали з різновидом фазової модуляції (QPSK-модуляцією), або мають можливість зміни модуляції сигналу залежно від умов зв'язку. Наприклад цифрова радіорелейна станція МІК-РЛ400Р здатна використовувати QPSK / 8QAM / 16QAM / 32QAM / 64QAM-модуляцію.

Імітаційна завада представляє собою хибну подібність істинного сигналу, тому описується, як і корисний істинний сигнал [2].

Фазомодульований сигнал в каналі передачі має вигляд [3–6]

$$u(t) = A \cos(\omega t + \varphi(t) + \varphi_0), \tag{3}$$

де A і φ_0 – постійні (амплітуда і початкова фаза сигналу відповідно), ω – несуча частота. Кодування інформації проводиться фазою сигналу φ . При когерентній демодуляції у приймачі є зразок відновленої несучої $u_c(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$. Методом порівняння прийнятого сигналу з несучою у приймачі обчислюється поточний фазовий зсув $\varphi(t)$. Зміна фази сигналу $\varphi(t)$ має однозначний зв'язок з переданою інформацією.

Квадратурна фазова модуляція [3, 4, 6, 7] (QPSK – Quadrature Phase Shift Keying) представляє собою чотирихпозиційну фазову модуляцію ($M=4$), в якій фаза високочастотного сигналу може приймати чотири різних значення кратних $\pi/2$.

Співвідношення між позиціями фази модульованого сигналу із множини $\{\pm \pi/4, \pm 3\pi/4\}$ з множиною символів цифрового повідомлення $\{00, 01, 10, 11\}$ встановлюються протоколом обміну даними в радіоканалі. Дане співвідношення наочно відображається у вигляді сигнального сузір'я, який представлено на рис. 1. Стрілками показані напрямки можливих переходів з одного фазового стану в інший.

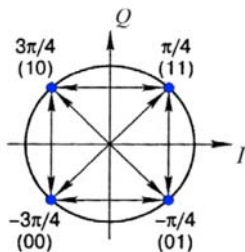


Рис. 1. Сигнальне сузір'я QPSK-модуляції

На рис. 1 відображається відповідність між значеннями символів і фазою сигналу, який встановлено таким чином, що значення відповідних символів в сусідніх точках сигнального сузір'я відрізняються тільки одним бітом. При передачі сигналів в умовах високоінтенсивних шумів найбільш ймовірною помилкою є детектування фази, яка відповідає сусідній точці сигнального сузір'я. При зазначеному способі кодування, незважаючи на можливі символні помилки, помилки в прийнятих даних будуть відповідати тільки одному біту, а не двом. Цим досягається зниження ймовірності виникнення помилок прийнятих даних на біт. Цей спосіб кодування отримав найменування *код Грея*.

Кожній позиції фази модульованого сигналу відповідає 2 біти інформації, яка кодується, тому швидкість передачі даних при QPSK-модуляції в 2 рази вище, ніж при BPSK-модуляції, але при цьому менша стійкість до шумових завад. Відомо [3, 4, 6], що спектральна щільність по потужності багатопозиційного сигналу збігається зі спектральною щільністю по потужності бінарного сигналу за умови заміни бітового інтервалу T_b на символний $T_s = T_b \log_2 M$, для чотирихпозиційної модуляції $M=4$, а $T_s = 2T_b$.

Спектральна щільність по потужності сигналу із QPSK-модуляцією, який промодульований імпульсним сигналом визначається виразом:

$$PSD(f) = 2A^2 T_b \left[\frac{\sin(\pi |f_c - f| 2T_b)}{\pi |f_c - f| 2T_b} \right]^2. \tag{4}$$

Ця формула наочно демонструє, що відстань між першими нулями спектральної щільності QPSK сигналу по потужності дорівнює $\Delta f = 1/T_b$. По виду сигнального сузір'я QPSK неважко визначити значення уявної і дійсної складових сигналів $I(t)$ і $Q(t)$ на виході модулятора, які відповідають символам інформаційної послідовності сигналу на вході [8]. Фаза промодульованого коливання з точністю до початкового зсуву φ_0 визначається сигнальним сузір'ям як кут вектора (I, Q) , який відкладається від осі абсцис. Звідки отримуємо, що $I(t) = \cos(\varphi(t))$, $Q(t) = \sin(\varphi(t))$, у відповідності до цього проводиться побудова таблиці 1.

Таблиця 1

Формування QPSK-сигналу

Сигнал	Значення			
Дібіт цифрового повідомлення	00	01	11	10
Модульований сигнал	1	3	-3	-1
Фаза φ_k	$\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$
$I_k = \cos(\varphi_k)$	$1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$
$Q_k = \sin(\varphi_k)$	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$

Алгоритм, у відповідність з яким передавач каналу аналізує вхідну інформаційну послідовність у вигляді потоку бітів та генерує синусоїдальний сигнал $I(t)$ і $Q(t)$, організує свою роботу згідно таблиці 1. Наступним етапом є виконання каналної фільтрації, сутність якої полягає в обмеженні смуги частот для кожного сигналу.

Мінімальне число символних помилок досягається при виконанні умови рівності відстаней між сусідніми точками сигнального сузір'я, тобто розподіл позицій фази сигналу буде рівномірним на координатній площині. Звідси випливає висновок, що вид сигнального сузір'я повинен бути максимально наближений до ґратчастого. Модуляція, яка має подібний вид сигнального сузір'я, називається квадратурної. Одним із варіантів квадратурних різновидів модуляцій є квадратурна амплітудна модуляція (QAM – Quadrature Amplitude Modulation) [3, 4, 7, 8].

QAM-модуляція є багатопозиційною. При $M=4$ вона є порівнянною із QPSK-модуляцією, тому на практиці використовуються сигнали із QAM-модуляцією при $M \geq 8$. Оскільки кількість біт на символ $k = \log M$, $k \in \mathbb{N}$, тоді M може приймати значення степенів, які дорівнюють 2, 4, 8, 16 і т.д. На рис. 2 представлено сигнальне сузір'я для 16-QAM із кодуванням по коду Грея.

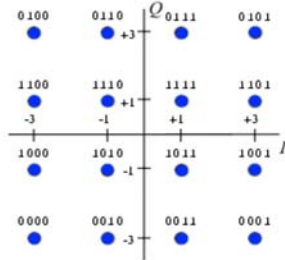


Рис. 2. Сигнальне сузір'я модуляції 16-QAM

При використанні QAM-модуляції досить часто використовуються великі значення M , аж до 1024-QAM. Це дозволяє досягти високої ефективності використання частотного спектру. Однак, оскільки інформаційна послідовність кодується амплітудою синусоїдального сигналу, а зміни амплітуди є великими, тоді використання QAM-модуляції пред'являє високі вимоги до лінійності характеристик підсилювача потужності в динамічному діапазоні і стабільності параметрів каналу передачі, особливо для великих значень M [3, 4, 6–8].

Процес $y(t)$, який реєструється на приймальній стороні каналу передачі даних, представляє собою результат адитивної взаємодії корисного сигналу $u_c(t, x_c, \alpha_c)$ та завад. Сукупність складових процесу $y(t)$ відображає структуру [9] каналу передачі даних $y^s(t)$, де s – номер структури. Під структурою розуміють стан каналу передачі даних, який визначається діючою сигнально-завадовою обстановкою (СЗО). Враховуючи обмеження, які прийняті у поставленні задачі, можна виділити три структури каналу передачі даних [10].

Першій структурі каналу передачі даних відповідає СЗО, при якій в $y(t)$ присутній корисний сигнал і природна адитивна шумова завада $u_{ш}(t)$ (у вигляді білого шуму):

$$y^1(t) = u_c(t, x_c, \alpha_c) + u_{ш}(t) \quad (5)$$

Другій структурі каналу передачі даних відповідає СЗО, яка обумовлена дією навмисно імітаційної завади $u_3(t, x_3, \alpha_3)$ спільно з корисним сигналом і природним шумом:

$$y^2(t) = u_c(t, x_c, \alpha_c) + u_3(t, x_3, \alpha_3) + u_{ш}(t) \quad (6)$$

Слід зазначити, що імітаційна завада $u_3(t, x_3, \alpha_3)$ за своєю структурою повністю повторює корисний сигнал і має у своєму складі аналогічно корисному сигналу повідомлення $x_3(t)$ та вектор невідомих у місці прийому неінформаційних параметрів сигналу α_3 .

Третій структурі відповідає СЗО, яка обумовлена дією навмисної імітаційної завади $u_3(t, x_3, \alpha_3)$ сумісно з шумовою завадою $u_{ш.3}(t)$, корисним сигналом і природним шумом:

$$y^3(t) = u_c(t, x_c, \alpha_c) + u_3(t, x_3, \alpha_3) + u_{ш}(t) + u_{ш.3}(t) \quad (7)$$

Формули (5–7) представляють собою можливі реалізації процесу $y(t)$ - структури каналу передачі даних за умови присутності корисного сигналу. Інші варіанти взаємодії компонентів сигналу в даній статті розглядатися не будуть.

Процес функціонування ЦРРС каналу передачі даних в умовах дії імітаційних завад за своїм характером відповідає радіоелектронному конфлікту, в якому з одного боку приймають участь передавальна і приймаюча цифрові радіорелейні станції каналу, а з іншого боку система радіопротидії третіх осіб, яка складається із станції радіотехнічної розвідки та станції постановки завад (рис. 3). Постановкою імітаційної завади $u_3(t, x_3, \alpha_3)$ одночасно з корисним сигналом $u_c(t, x_c, \alpha_c)$ переслідується мета передачі хибних даних за рахунок забезпечення переваги імітаційного сигналу в порівнянні з корисним.

На рис. 3 позначено: ПРД, ПРМ – передавальна і приймаюча цифрові радіорелейні станції каналу передачі відповідно, $u_c(t, x_c, \alpha_c)$ – корисний сигнал, $u_{ш}(t)$ – природна адитивна завада у вигляді білого шуму, $u_3(t, x_3, \alpha_3)$ – імітаційна завада, $y(t)$ – випадковий процес на вході приймаючої цифрової радіорелейної станції.

Кожній структурі каналу передачі даних, в залежності від виду діючих завад, може відповідати ряд ситуацій i СЗО. Виходячи з представленої картини можливих взаємодій корисного сигналу і завад, можна виділити наступні ситуації i (нижній індекс $y(t)$) СЗО (на рис. 4–9 корисний сигнал показаний штрих пунктирною лінією, приймальний сигнал показаний червоною лінією, імітаційний пунктирною зеленою) [10]:

1) беззавадова (5), на виході антени є присутній сигнал правильної форми з несуттєвим шумом:

$$y_1(t) = A_c \cos(\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_{c,0}) + u_{1,u}(t) \tag{8}$$

де A_c – амплітуда корисного сигналу, ω_c – циклічна частота корисного сигналу, φ_c – фаза корисного сигналу, $\varphi_{c,0}$ – початкова фаза корисного сигналу, $u_{1,\emptyset}(t)$ – рівень природного шуму; найбільшу небезпеку мають ситуації СЗО, які обумовлені дією навмисних імітаційних завад;

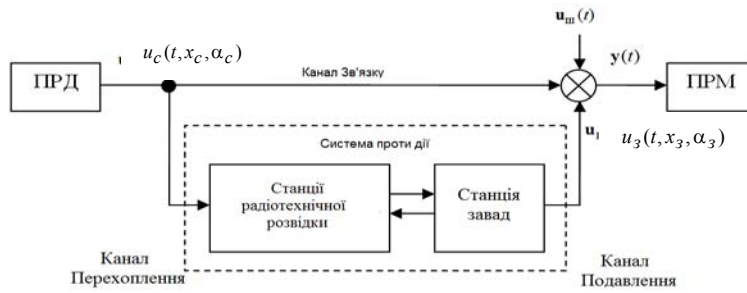


Рис. 3. Структурна схема радіоелектронного конфлікту

2) імітаційна завада на субчастоті (рис. 4)

$$y_2(t) = A_c \cos(\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_{c,0}) + A_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3(t) + \varphi_{3,0}) + u_{1,u}(t) \quad \text{при} \quad \omega_c \approx \omega_3, \omega_c \neq \omega_3 \tag{9}$$

де A_3 – амплітуда імітаційного завадового сигналу, ω_c – циклічна частота завадового сигналу, φ_c – фаза завадового сигналу, $\varphi_{3,0}$ – початкова фаза сигналу завади, $u_{1,u}(t)$ – рівень природного шуму по потужності;

3) імітаційна завада на субчастоті з шумом високої інтенсивності (рис. 5):

$$y_3(t) = A_c \cos(\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_{c,0}) + A_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3(t) + \varphi_{3,0}) + u_{1,3}(t) + u_{1,u,3}(t)$$

при

$$\omega_c \approx \omega_3, \omega_c \neq \omega_3, u_{1,u}(t) \ll u_{1,u,3}(t) \tag{10}$$

де $u_{1,u,3}(t)$ – рівень шумової завади за потужністю;

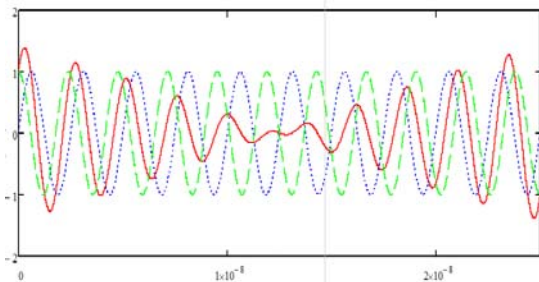


Рис. 4. Взаємодія сигналів. Ситуація 2

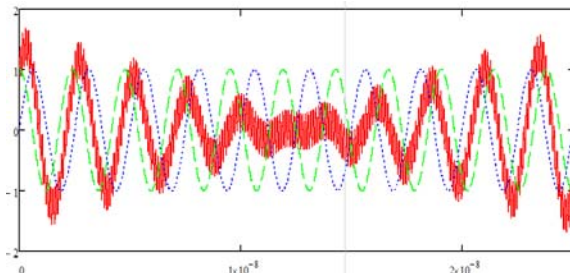


Рис. 5. Взаємодія сигналів. Ситуація 3

4) імітаційна завада, яка перевищує за рівнем корисний сигнал (рис. 6):

$$y_4(t) = A_c \cos(\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_{c,0}) + A_\zeta \cos(\omega_\zeta t + \varphi_\zeta(t) + \varphi_{\zeta,0}) + u_{1,\emptyset}(t) \quad \text{при} \quad A_c < A_\zeta \tag{11}$$

5) імітаційна завада, яка перевищує за рівнем корисний сигнал із шумом високої інтенсивності (рис. 7):

$$y_5(t) = A_c \cos(\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_{c,0}) + A_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3(t) + \varphi_{3,0}) + u_{1,u}(t) + u_{1,u,3}(t)$$

при

$$A_c < A_3, u_{1,u}(t) \ll u_{1,u,3}(t) \tag{12}$$

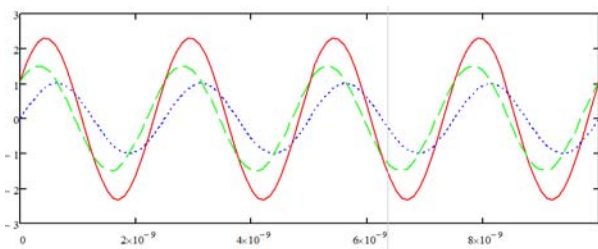


Рис. 6. Взаємодія сигналів. Ситуація 4

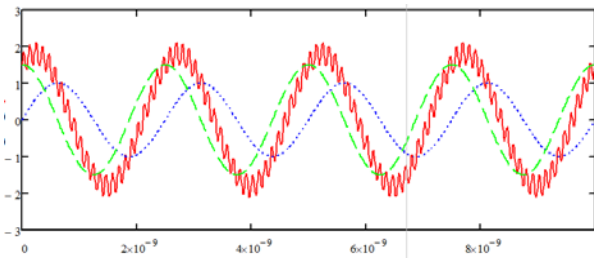


Рис. 7. Взаємодія сигналів. Ситуація 5

6) імітаційна завада на субчастоті, яка перевищує за рівнем корисний сигнал (рис. 8):

$$y_6(t) = A_c \cos(\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_{c,0}) + A_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3(t) + \varphi_{3,0}) + u_{1,u}(t)$$

при

$$A_c < A_3, \omega_c \approx \omega_3, \omega_c \neq \omega_3 \quad (13)$$

7) імітаційна завада на субчастоті, яка перевищує за рівнем корисний сигнал із шумом високої інтенсивності (рис. 9):

$$y_6(t) = A_c \cos(\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_{c,0}) + A_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3(t) + \varphi_{3,0}) + u_{1,u}(t)$$

при

$$A_c < A_3, \omega_c \approx \omega_3, \omega_c \neq \omega_3, u_{1,u}(t) \ll u_{1,u,3}(t) \quad (14)$$

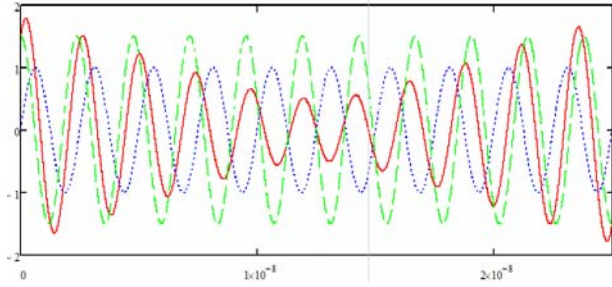


Рис. 8. Взаємодія сигналів. Ситуація 6

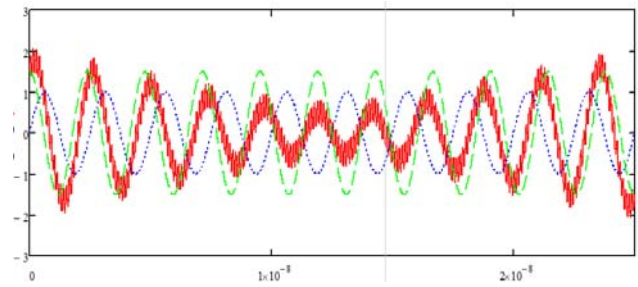


Рис. 9. Взаємодія сигналів. Ситуація 7

Першій ситуації СЗО відповідає нормальне функціонування каналу передачі даних зі стійким сигналом і адитивним шумом низької інтенсивності.

Другий і третій ситуації відповідає адитивна суміш корисного сигналу та імітаційної завади на субчастоті. В останньому випадку із шумом високої інтенсивності. Найбільший ефект дії імітаційної завади, вданому випадку, досягається при періодичній зміні цих ситуацій. При різкій зміні рівня шуму дією імітаційної завади на субчастоті треті особи намагаються видати заваду за корисний сигнал. У цей час індикаторами фіксується биття амплітуди сигналу; більше відхилення фази від номінальних значень як результат складання сигналів з різними фазами; високе число помилок при декодуванні.

Четвертій ситуації відповідає адитивна суміш корисного сигналу та імітаційної завади, яка за рівнем перевищує корисний сигнал. При цьому індикатори фіксують високий рівень сигналу і биття амплітуди, оскільки сигнали з різними фазами.

У п'ятій ситуації шум подавляє корисний сигнал, роблячи його рівень нижче порога чутливості приймача. У той час як співвідношення сигнал/шум завадового сигналу відповідає впевненому прийому. Фіксується високий рівень сигналу і шуму, можливо биття амплітуди, зсув фази, високе число помилок.

Шоста і сьома ситуації представляють собою комбінації із вище перерахованих ситуацій.

Найбільш небезпечною і ймовірною слід вважати п'яту ситуацію СЗО, при якій діє імітаційна завада, яка перевищує за рівнем корисний сигнал із шумом високої інтенсивності. Менш ймовірною, але не менш небезпечною слід вважати сьому ситуацію СЗО, при якій діє імітаційна завада на субчастоті, яка перевищує за рівнем корисний сигнал із шумом високої інтенсивності.

Завади представляють собою складову спостережуваного процесу, які у результаті взаємодії із сигналом заважають достовірному сприйняттю сигналу.

Таким чином, незалежно від того, чи випадковий або ні є корисний сигнал, спостережуваний процес завжди є випадковим, оскільки він містить випадкову завадову складову. Ситуації утворюють повну групу несумісних подій [9].

Розрізнення та оцінювання (розпізнавання) ситуацій СЗО здійснюється з використанням наявної апіорної інформації.

Незважаючи на те, що класична теорія виявлення, розрізнення та оцінювання сигналів призначена для роботи в умовах повної апіорної визначеності, у дійсності завжди має місце апіорна невизначеність [9]. Як було показано вище, неперервні у часі сигнали на виході антени приймача каналу передачі даних, які піддаються цифровій обробці, перетворюються до дискретного виду. У цьому випадку має місце задача обробки інформації, яка полягає у знаходженні ймовірнісних характеристик вектора поточного стану об'єкта $[y_k^t, s_k^t]$ у момент часу k на основі спостережень z_k, r_k , які здійснюються вимірювачами фазових координат та індикаторами структури [9]. Згідно з [9], під індикаторами структури розуміють ймовірність стану об'єкта в тій чи іншій структурі. Для оцінювання станів і структури об'єкта пропонується використовувати математичний апарат із [9]. Динамічний об'єкт, яким є канал передачі, описується виразами [9]:

$$Y_{k+1} = \gamma_k(s_{k+1}, y_k, s_k, \xi_k) \quad (15)$$

$$q_k(s_{k+1} | y_k, s_k) \quad (16)$$

Вимірювач фазових координат – рівнянням

$$z_{k+1} = \psi_k(s_{k+1}, y_{k+1}, r_{k+1}, y_k, s_k, z_k, r_k, \zeta_k) \quad (17)$$

а індикатор структури виразом:

$$\pi_k(r_{k+1} | y_{k+1}, s_{k+1}, y_k, s_k, z_k, r_k),$$

$$s_k = 1, n^{(s)}, r_k = 1, n^{(r)}, k = 0, 1, \dots \quad (18)$$

Об'єкт і система спостереження зображена на рис. 10.

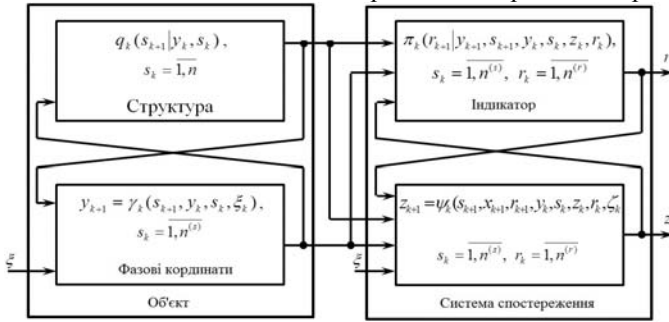


Рис. 10. Математична модель об'єкту та спостереження в системі із випадковою стрибкоподібною структурою

У виразах (15)–(18): y_k – вектор фазових координат об'єкта; s_k – вектор стану структури об'єкту; z_k – вектор вимірювання фазових координат; r_k – вектор індикації структури; ξ_k та ζ_k – вектори збуджень і завад, які діють відповідно на об'єкт та на вимірювач; розмірність векторів дорівнює відповідно $n_x, n_s, n_z, n_r, n_{\xi}, n_{\zeta}$.

Збудження ξ_k і завadi ζ_k представляють собою послідовності векторних випадкових величин, які є незалежними при різних k ; $q(\cdot)$ та $\pi(\cdot)$ задані умовні ймовірності

переходів індексу структури s_k і вихідного сигналу індикатора r_k .

Відомі також $\gamma(\cdot)$ та $\psi(\cdot)$ – векторні детерміновані функції, $\tilde{f}_0(x_0, s_0)$ – початкова щільність ймовірності стану об'єкта та $\Phi_K(\xi_K, \zeta_K)$ – спільна функція розподілу збуджень і завад.

Потрібно знайти апостеріорний розподіл вектора стану об'єкта $[y_k^t, s_k^t]$ та його компонент y_k і s_k в момент часу k , які основані на спостереженнях вимірювача $z_{0,k} = z_0, z_1, \dots, z_k$ та індикатора $r_{0,k} = r_0, r_1, \dots, r_k$ на інтервалі $[0, k]$.

Деякі різні щільності (для неперервних випадкових величин) або ряди розподілів (для дискретних випадкових величин), для внесення ясності, позначаються символом f і відрізняються лише формою запису аргументів. Аналогічно символом Φ позначаються всі функції розподілу. Якщо взяти до уваги той факт, що вимірювання фазових координат і індикаторів структури відбувається без запізнення, тоді

$$z_{k+1} = \Psi_{k+1}(s_{k+1}, y_{k+1}, r_{k+1}, z_k, r_k, \xi_{k+1})$$

$$\pi_{k+1}(r_{k+1} | y_{k+1}, s_{k+1}, z_k, r_k) \quad s_k = 1, n^{(s)}, r_k = 1, n^{(r)}, k = 0, 1, \dots \quad (19)$$

Інакше кажучи, на відміну від (17), (18) показання вимірювача і індикатора в момент $k+1$ безпосередньо не залежать від y_k і s_k , хоча статистична залежність (через z_k і r_k) зберігається. Вивід рівнянь для апостеріорної щільності стану об'єкта ґрунтується на відомій формулі Байеса [9]:

$$f_{k+1}(y_{k+1}, s_{k+1} | z_{0,k+1}, r_{0,k+1}) = \frac{f_{k+1}(z_{k+1}, r_{k+1} | y_{k+1}, s_{k+1}, z_{0,k}, r_{0,k}) f_{k+1}(y_{k+1}, s_{k+1} | z_{0,k}, r_{0,k})}{f_{k+1}(z_{k+1}, r_{k+1} | z_{0,k}, r_{0,k})} \quad (20)$$

З урахуванням (19) оптимальний алгоритм фільтрації та нормувальний коефіцієнт, які отримуються на основі (20), має вигляд:

$$\hat{f}(y_{k+1}, s_{k+1}) = \bar{f}^{-1}(z_{k+1}, r_{k+1}) f(z_{k+1} | y_{k+1}, s_{k+1}, r_{k+1}, z_k, r_k) \times \pi(r_{k+1} | y_{k+1}, s_{k+1}, z_k, r_k) \tilde{f}(y_{k+1}, s_{k+1})$$

$$\tilde{f}(y_{k+1}, s_{k+1}) = \sum_{s_k=-\infty}^{\infty} \int f(y_{k+1}, s_{k+1} | s_k, z_{k-1}, r_{k-1}) q(s_{k+1} | y_k, s_k) \times \tilde{f}(y_k, s_k) dy_k$$

$$s_{k+1} = 1, n^{(s)}, k = 0, 1, \dots,$$

$$\bar{f}(z_{k+1}, r_{k+1}) = \sum_{s_{k+1}=-\infty}^{\infty} \int f(z_{k+1}, r_{k+1} | y_{k+1}, s_{k+1}, r_{k+1}, z_k, r_k) \times \pi(r_{k+1} | y_{k+1}, s_{k+1}, z_k, r_k) \tilde{f}(y_{k+1}, s_{k+1}) dy_{k+1},$$

де

$$f(z_{k+1}, r_{k+1} | y_{k+1}, s_{k+1}, r_{k+1}, z_k, r_k) = (2\pi)^{-n} \int \int \exp\left\{i\omega^t [\psi(y_{k+1}, s_{k+1}, r_{k+1}, z_k, r_k, \zeta_{k+1}) - z_{k+1}]\right\} d\Phi(\zeta_{k+1}) d\omega$$

$$f(y_{k+1}, s_{k+1} | s_k, z_{k-1}, r_{k-1}) = (2\pi)^{-n} \int \int \exp\left\{i\omega^t [\gamma(s_{k+1}, y_k, s_k, \xi_k) - x_{k+1}]\right\} d\Phi(\xi_k | \zeta_k) d\omega$$

$$\Phi(\zeta_k) = \Phi(\xi_k, \zeta_k) |_{\xi_k = \infty}, \Phi(\xi_k | \zeta_k) = \Phi(\xi_k, \zeta_k) | \Phi^{-1}(\zeta_k);$$

$\tilde{f}(y_{k+1}, s_{k+1}) = f_{k+1}(y_{k+1}, s_{k+1} | z_{0,k}, r_{0,k})$ – щільність вектора стану, яка є прогнозованою на один крок

дискретності; ω – векторний аргумент характеристичної функції, $i = \sqrt{-1}$, $\sum_{s_k} = \sum_{s_k=1}^{n^{(s)}}$.

Знаючи $f(y_k, s_k)$ можна знайти умовні і маргінальні розподіли векторів y_k і s_k та їх оцінки і коваріації помилки оцінювання вектора y_k в момент часу k [9]:

$$p(s_k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(y_k, s_k) dx_k, \quad f(y_k | s_k) = p^{-1}(s_k) f(y_k, s_k),$$

$$y(s_k) = \int_{-\infty}^{\infty} y_k f(y_k | s_k) dy_k, \quad R(s_k) = \int_{-\infty}^{\infty} [y_k - y(s_k)][y_k - y(s_k)]^T f(y_k | s_k) dy_k,$$

$$s_k = \arg \max_{s_k} p(s_k), \quad s_k = \overline{1, n^{(s)}}, \quad f(y_k) = \sum_{s_k} f(y_k, s_k), \quad y_k = \sum_{s_k} y(s_k) p(s_k),$$

$$R_k = \sum_{s_k} [R(s_k) + y(s_k) y^T(s_k)] \quad p(s_k) - y_k y_k^T,$$

де $p(s_k)$ – ймовірність s_k -го стану структури; s_k – оцінка стану структури; $f(y_k | s_k)$, $y(s_k)$, $R(s_k)$ – умовні при фіксованому s_k -му стані структури, $f(y_k)$, y_k , R_k – безумовні відповідно щільності ймовірності, оцінки та коваріації помилки оцінювання вектора y_k .

За оцінку вектора y_k в даному випадку приймається математичне сподівання, а за оцінку стану структури – значення індексу s_k , ймовірність якого є максимальною.

При спостереженні без запізнювання в алгоритмі можна виділити два послідовних етапи обчислень: прогноз і корекцію.

Прогнозована на момент часу $k+1$ щільність $\tilde{f}(y_{k+1}, s_{k+1} = j), j = \overline{1, n^{(s)}}$ обчислюється на основі апіорних для цього моменту часу даних про об'єкт $\tilde{f}(y_{k+1} | y_k, z_k, s_{k+1} = j, s_k = i)$, $q(s_{k+1} = j | y_k, s_k = i)$ та апостеріорної щільності $f(y_k, s_k = i), i = \overline{1, n^{(s)}}$ обчисленої на попередньому кроці k [9].

На етапі прогнозу кожен j -й канал $j = \overline{1, n^{(s)}}$ містить $n^{(s)}$ i -х каналів, вихідні сигнали яких, підсумовані по i та проінтегровані по y_k , дають $\tilde{f}(y_{k+1}, s_{k+1} = j)$.

На етапі корекції прогнозована щільність $\tilde{f}_{k+1}(y_{k+1}, s_{k+1} = j)$ коригується показами вимірювача z_{k+1} та індикатора r_{k+1} , що в свою чергу дає апостеріорну щільність $f_{k+1}(y_{k+1}, s_{k+1} = j), j = \overline{1, n^{(s)}}$.

В цілому, при спостереженні без запізнювання, алгоритм розпізнавання та оцінювання представляється менш складним, що спрощує його технічну реалізацію.

Наведені вище вирази із [9], написані стосовно до щільностей ймовірностей, також будуть справедливими і до ймовірностей.

Захист від імітаційних завдань більшості систем передачі даних має дуже обмежені можливості, оскільки для виявлення завдань в каналі передачі використовуються тільки послідовності спостережуваних даних, які містять інформацію передану по каналу, без залучення додаткових відомостей. Однак, у багатьох випадках наряду із спостереженням за інформаційною складовою послідовності є можливість реєстрації ознак, стохастично пов'язаних із спостережуваною послідовністю даних, які супроводжують зміні СЗО. Подібні ознаки можуть бути виявлені шляхом індикації явищ, які пов'язані із впливом на канал передачі завдань. Для індикації ознак можуть використовуватися, у тому числі, і неінформаційні параметри сигналу.

Індикатори, які супроводжують ознаки представляють собою пристрої реєструючого типу, що сигналізують про наявність або відсутність ознаки. Найбільш часто індикаторами супутніх ознак є вимірювальні датчики із визначеним порогом спрацьовування.

Незалежно від типу індикатора його функціонування може бути описано умовною ймовірністю переходу зі стану r_k у стан r_{k+1} [9]:

$$\pi(r_{k+1}, k+1 | J_k, p_r, r_k, k) \quad (21)$$

де k – крок підрахунку, який отримується при дискретизації у часі; J_k – індикаторна функція (наприклад, амплітуда сигналу), яка відповідає l -й ознаці (наприклад, перевищення встановленого значення амплітуди); p_r – реєстрована ознака, $p_r = \overline{0, 1}$ (1 – якщо реєструється наявність ознаки, 0 – якщо ознака відсутня); r_k, r_{k+1} – вихідні сигнали індикатора на k -му та $(k+1)$ -му кроці відповідно, $r_k, r_{k+1} = \overline{0, 1}$.

Умова в (21) відображає наступне: в k -й момент часу на вході індикатора супутньої ознаки присутня індикаційна функція J і реєструється наявність або відсутність зацікавленого признаку $p_r = \overline{0, 1}$, вихідний сигнал індикатора r на k -м кроці рахунку може приймати одне з двох станів $r_k = \overline{0, 1}$, які не обов'язково збігаються із $p_r = \overline{0, 1}$. Умовна ймовірність переходу у стан r_{k+1} можна представити у вигляді:

$$\pi(r_{k+1}, k+1 | J_k, p_r, r_k, k) = \begin{cases} p(J_k)p(p_r=1)p(r_{k+1} | r_k) \\ p(J_k)p(p_r=0)p(r_{k+1} | r_k) \\ p(J_k)p(p_r=1)p(s_{k+1} | r_k) \\ p(J_k)p(p_r=0)p(s_{k+1} | r_k) \end{cases} \text{ при } r_{k+1} = r_k \quad (22)$$

де $p(J_k)$ – ймовірність наявності індикаторної функції на вході індикатора; $p(p_r=1), p(p_r=0)$ – ймовірності наявності і відсутності в індикаторній функції реєстрованої ознаки відповідно; $p(r_{k+1} | r_k), p(s_{k+1} | r_k)$ – ймовірності збереження і зміни вихідного сигналу індикатора ознаки відповідно.

Праву частину (22) можна представити у вигляді:

$$\pi(r_{k+1} | r_k) = \begin{cases} p(p_r=1)p(r_{k+1} | r_k); \\ p(p_r=0)p(r_{k+1} | r_k); \end{cases} r_k, r_{k+1} = \overline{0,1}, \quad (23)$$

$$\pi(s_{k+1} | r_k) = \begin{cases} p(p_r=1)p(s_{k+1} | r_k); \\ p(p_r=0)p(s_{k+1} | r_k); \end{cases} r_k, s_{k+1} = \overline{0,1}, \quad (24)$$

де (23) описує правильне функціонування індикатора, а (24) – помилкове. При підстановці (23) і (24) в (22), можна отримати:

$$\pi(r_{k+1}, k+1 | J_k, p_r, r_k, k) = \begin{cases} p(J_k)\pi(r_{k+1} | r_k) \\ p(J_k)\pi(s_{k+1} | r_k) \end{cases} \text{ при } r_{k+1} \neq r_k \quad (25)$$

або, використовуючи статичні характеристики індикатора ознаки:

$$\pi(r_{k+1}, k+1 | J_k, p_r, r_k, k) = \begin{cases} p(J_k)\pi(r_{k+1} | r_k) [1 - \exp(-\Delta t T^{-1})] + \exp(-\Delta t T^{-1}) \\ \text{при } r_{k+1} = r_k = \overline{0,1}; \\ p(J_k)\pi(s_{k+1} | r_k) [1 - \exp(-\Delta t T^{-1})] + \exp(-\Delta t T^{-1}) \\ \text{при } r_{k+1} \neq r_k, r_k, s_{k+1} = \overline{0,1}, \end{cases} \quad (26)$$

де $\pi(0|0)$ – ймовірність правильного виявлення супутньої ознаки; $\pi(1|1)$ – ймовірність правильного виявлення супутньої ознаки; $\pi(0|1)$ – ймовірність пропуску супутньої ознаки; $\pi(1|0)$ – ймовірність хибної реєстрації супутньої ознаки. Процедури отримання статичних характеристик простих технічних пристроїв є відомими із [2, 4, 7], також вони можуть бути визначені експериментальним шляхом.

Грунтуючись на фізиці процесів передачі інформації електромагнітними хвилями [2, 4, 7], для сигналу із QPSK-модуляцією виберемо шість індикаторів ознак, які є супутніми зміні ситуацій СЗО. Спільне спрацьовування індикаторів вказує на сформовану ситуацію СЗО. У зв'язку з цим, виникає необхідність використання математичного апарату індикаторів супутніх ознак для розпізнавання ситуацій СЗО i в рамках структур s .

При дії імітаційних завад у каналі виникають динамічні зміни кутових і амплітудних параметрів сигналу. Найбільш стійкими є амплітудні ознаки, які при постійних параметрах каналу залежать тільки від рівня корисного сигналу. Його величина, як правило, відповідає сталому прийому в умовах ненавмисних завад, що обґрунтовує пріоритет вибору амплітудних ознак в якості основних.

Можна вважати, що збільшення рівня сигналу може бути викликане дією інших передавачів у режимі передачі, у тому числі і третіх осіб. Для нав'язування приймачу каналу передачі хибного інформаційного символу треті особи змушені транслювати сигнал із зсувом фази, який забезпечує при складанні з корисним сигналом прийняття хибного символу. Це, в свою чергу, викликає биття амплітуди прийнятого сигналу, про що свідчить більше відхилення фази від номінальних значень.

Про дію завад свідчить і наявність сигналів на субчастотах, що також викликає биття амплітуди прийнятого сигналу і більший порівняно із нормальним режимом функціонування коефіцієнт бітових помилок (Bit Error Ratio, BER). Під BER слід розуміти відношення кількості помилкових бітів до їх загального переданого числа.

Зазвичай, побудова імітаційних завад супроводжується шумовими завадами, що дає перевагу більш потужним сигналам третіх осіб.

Метод розпізнавання ситуацій сигнально-завадової обстановки. Попередні дослідження алгоритмів розпізнавання СЗО показали, що швидкодія і точність є незадовільними для своєчасного виявлення фактів дії імітаційних завад. Необхідна модернізація методу розпізнавання дії СЗО для підвищення завадостійкості ЦРПС. У зв'язку з цим, потрібна модернізація методу оцінки дії СЗО на основі Байєсівського підходу для підвищення швидкодії [10, 13]. Однак, метод із [9], є описаним стосовно до щільностей ймовірностей структур об'єкта. Далі у статті пропонується використовувати безпосередньо ймовірності станів СЗО i , наперед визначаючи їх приналежність до тієї або іншої структури s_k каналу передачі даних, яка обумовлена дією завад. Передбачається, що збудження ξ_k і завади ζ_k , є малої інтенсивності.

Домогтися підвищення швидкодії виявлення імітаційних завад, пропонується за рахунок

комплексної обробки інформації вимірювачів та індикаторів супутніх ознак.

Вихідний сигнал індикатора буде описуватися функцією з двох станів.

$$r = \begin{cases} 0, & \text{порог спрацювання не перевищено;} \\ 1, & \text{порог спрацювання перевищено.} \end{cases}$$

Сукупна обробка індикаторів π , які породжуються впливом на канал імітаційної завади, може бути представлена у вигляді:

$$\pi_l(\eta_{l,k+1}, k+1 | J_{l,k}, p_r, \eta_{l,k}, k), \tag{27}$$

де $i = \overline{0, L}$ – номер одного із L індикаторів; k – поточний крок підрахунку, ($k = \overline{1, k}$); J – індикаторна функція, яка відповідає l -й ознаці; p_r – ймовірність правильного виявлення ознаки індикатором; r – вихідний сигнал індикатора, ($r = \overline{0, 1}$), i -номер ситуації СЗО. Ситуації СЗО відображають всі можливі варіанти впливу імітаційних завод із урахуванням накладених в постановці задач обмежень і утворюють повну групу несумісних подій.

Якщо взяти до уваги вище сказане, тоді основна частина інформації про ситуації СЗО міститься в $[z_k, \pi_k]$, що в кінцевому підсумку повинно представляти можливість виводу про діючі ситуації i . Час на прийняття рішення на користь тієї чи іншої ситуації СЗО може виявитися невиправдано великим за рахунок малих відмінностей між ймовірностями станів. Вирішити дану проблему можна уведенням у метод оцінки інформації індикаторів супутніх ознак.

Нехай, на основі статистичних даних, є апіорні ймовірності $p_0(i)$ про відповідність векторів z_k і π_k заздалегідь визначеним станам при $i = \overline{0, 1}$. Позначимо через B подію, яка полягає у тому, що на $k+1$ -му кроці підрахунку діє імітаційна завада. Висунемо гіпотези H_i , ($i = \overline{0, 1}$) на користь відповідних станів СЗО i . Умовна ймовірність $p(B | i)$ по групі параметрів може бути отримана як

$$p(B | i) = \prod_1^N p(z_n). \tag{28}$$

Припускаючи, що всі параметри z_n вектора z_k , які підлягають оцінці, мають нормальний закон розподілу, умовна ймовірність для кожного n -го параметру може бути представлена у вигляді

$$p(z_N) = \frac{1}{\sigma_{z_n} \sqrt{2n}} \exp\left(-\frac{(z_n - M_{z_n})^2}{2\sigma_{z_n}^2}\right), \tag{29}$$

де M_{z_n} – математичне сподівання z_n ; σ_{z_n} – середньоквадратичне відхилення z_n . На основі (23) і (24), з врахуванням заданих інтенсивностей переходів $q(i)$ в i -ю ситуацію апостеріорні ймовірності гіпотез на $k+1$ -му кроці будуть дорівнювати

$$p(i | B)_{k+1} = \frac{P_0(i)q_i \cdot \prod_1^L \pi_l \cdot \prod_1^N \exp\left(-\frac{(z_n - M_{z_{ni}})^2}{2\sigma_{z_{ni}}^2}\right)}{\sum_0^l p_0(i)q_i \cdot \prod_1^L \pi_l \cdot \prod_1^N \exp\left(-\frac{(z_n - M_{z_{ni}})^2}{2\sigma_{z_{ni}}^2}\right)}. \tag{30}$$

де π_l – вагові коефіцієнти індикаторів супутніх ознак.

Вагові коефіцієнти індикаторів супутніх ознак враховуються у формулі (30) тільки у випадку «спрацювання» відповідного індикатора, збільшуючи «вагу» на користь тієї чи іншої гіпотези. Значення коефіцієнтів забезпечують більш різку зміну ймовірностей ситуацій СЗО каналу передачі даних. В цілому, ефективність (30) буде визначатися швидкістю зміни ситуацій i при СЗО.

Для підвищення заводостійкості ЦРПС на рівні каналів передачі даних потрібна розробка алгоритму, який реалізує модернізований метод із заявленими перевагами, що забезпечує підвищення швидкодії виявлення ознак впливу імітаційних завод в прийнятому сигналі та оцінку ситуації в поточний момент часу ситуації СЗО.

Блок-схема алгоритму, який реалізує оцінку ймовірностей ситуації СЗО (розпізнавання СЗО) та керування каналами передачі, представлена на рис. 11.

У відповідності до блок-схеми алгоритму вихідними даними є покази вимірювачів, вагові значення супутніх ознак, апіорна інформація про ймовірності ситуацій СЗО, математичні сподівання та середньоквадратичне відхилення вимірюваних величин.

По черзі здійснюється індикація L супутніх ознак функціями r_l , $l = \overline{0, L}$ і при спрацюванні відповідний ваговий коефіцієнт $\pi_l = const$ з'являється у формулі для оцінювання ймовірностей ситуацій СЗО, додаючи вагу на користь тієї чи іншої ситуації.

Далі на основі показів вимірювачів та індикаторів супутніх ознак здійснюється почерговий розрахунок ймовірностей ситуацій i СЗО.

У результаті обробки розраховуються апостеріорні ймовірності ситуацій. В якості діючої

приймається ситуація, яка має апостеріорну максимальну ймовірність $p(i|B)_{k+1} = p_{max}$.

Якщо ситуація без завад $i=1$, тоді здійснюється перехід на наступний крок підрахунку. Якщо завади $i \neq 1$, приймальна та передавальна станції переключаються на інший канал передачі $e+1$, і далі по закінченню ліміту яких $e=E$ приймається рішення про припинення зв'язку до з'ясування причин та відмов від даних, які отримують після і під час виявлення дії імітаційних завад. Враховуючи те, що у цифрових радіорелейних станціях використовується пакетна передача даних, тоді і відмова від прийому і використання даних слід проводити з моменту приходу пошкоджених пакетів даних за фактом зміни СЗО.

Застосування інших мір, наприклад, підвищення скритності сигналу на даному каналі передачі даних, застосування режиму з псевдовипадковою змінною робочої частоти та інших вважається нереалізованим у даному класі радіорелейних станцій і невиправданим через громадянське призначення останніх.

Ефективне вирішення завдань керування в інформаційних системах у теперішній час є нереалізованим без залучення засобів обчислювальної техніки та автоматизованих інформаційно-вимірювальних і керуючих систем (ІВКС), оскільки вимоги по швидкодії обробки інформації та достовірності отриманої інформації постійно підвищуються.

Особливо високі вимоги пред'являються до інформаційно-вимірювальних і керуючих систем каналами передачі даних цифрових радіорелейних станцій, задача яких полягає у своєчасному розпізнаванні зміни ситуації СЗО, яка обумовлена дією імітаційних завад у відповідному каналі передачі.

Запропонована ІВКС каналами передачі даних включає до свого складу дві підсистеми: вимірювальну (ВП) і керуючу (КП). Структурна схема інформаційно-вимірювальної і керуючої системи представлена на рис.12.

Ядром цих підсистем є бази пам'яті і бази даних. Бази пам'яті містять необхідний об'єм апіорної і апостеріорної інформації для розпізнавання ситуації СЗО і керування каналами передачі. Бази даних зберігають у собі покази вимірювачів, індикаторів, стан каналів передачі даних, керуючі впливи на попередніх кроках розрахунку.

Вимірювальна підсистема складається з первинних вимірювачів параметрів сигналу, індикаторів супутніх ознак, бази пам'яті, бази даних та модуля розрахунку ситуацій СЗО. Керуюча підсистема включає до свого складу модуль оцінювання ситуацій СЗО та ідентифікації структури каналу передачі даних, базу пам'яті, базу даних, модуль керування каналами передачі даних ЦРРС.

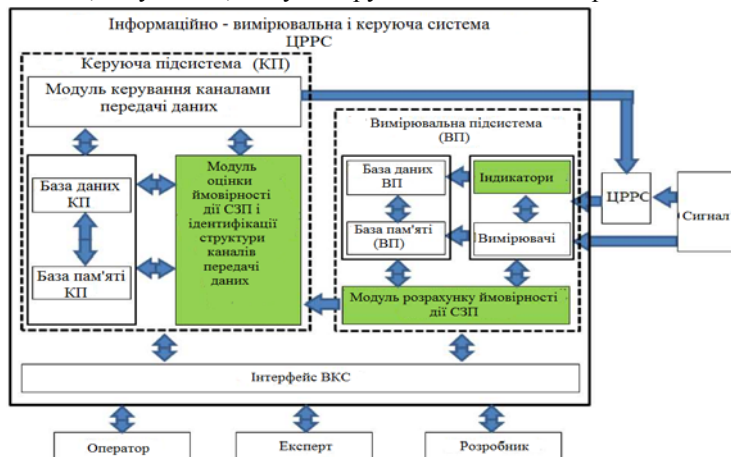


Рис. 12. Структурна схема інформаційно-вимірювальної та керуючої системи ЦРРС

наступних кроках розрахунку і одночасно надходить на модуль розрахунку ймовірностей ситуацій СЗО. База пам'яті ВП зберігає в собі відомості про математичне сподівання, середньоквадратичне відхилення параметрів, які спостерігаються, а також про вагові значення індикаторів супутніх ознак для всіх СЗО.

Розраховані значення ймовірностей ситуацій СЗО передається в керуючу підсистему, де у модулі оцінювання ситуацій СЗО та ідентифікації структури каналу передачі даних здійснюється оцінювання

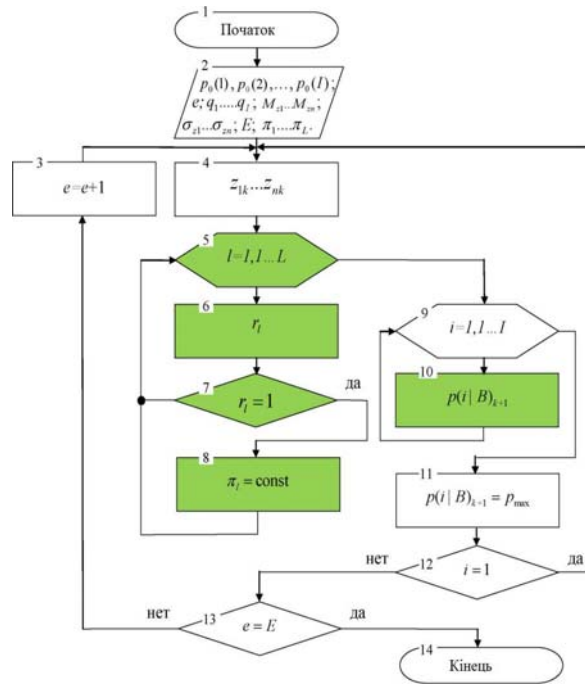


Рис. 11. Алгоритм розпізнавання СЗО

Для взаємодії із користувачами ІВКС має відповідний інтерфейс. На вхід вимірювальної підсистеми надходить сигнальна сукупність каналу передачі даних і оброблений низькочастотний (НЧ) сигнал прийнятий цифровою радіорелейною станцією.

Первинними вимірювачами здійснюється вимірювання інформаційних та неінформаційних параметрів, прийнятої сигнальної сукупності і НЧ – сигналу ЦРРС. Інформація вимірювачів та індикаторів відображається на предмет наявності супутніх ознак, після чого вона заноситься в базу даних ВП для формування апіорних відомостей на

ймовірностей. В якості діючої приймається ситуація СЗО, яка має максимальну ймовірність. Залежно від приналежності цієї ситуації до заводових або без заводових ситуацій, ідентифікується діюча структура каналу передачі даних. Інформація про діючі ситуації СЗО розміщується у базу даних КП. База пам'яті КП зберігає у собі інформацію про сигнально-заводові ситуації та ідентифіковані структури, апіорні та апостеріорні відомості про ситуації СЗО, поточної структури каналу передачі даних.

Інформація про поточну структуру каналу передачі даних надходить на модуль керування каналами передачі даних, за сигналами якого здійснюється припинення роботи відповідного каналу і перемикавання на резервний канал передачі даних ЦРПС. Для користування ІВКС, формування баз пам'яті, корекції роботи, зміни структури в ІВКС передбачений інтерфейс користувача. В якості користувача можуть виступати як розробники та експерти, так і оператори ІВКС.

Висновки

1. Існуючий науково-методичний апарат, який використовується для розпізнавання ситуації СЗО, нездатний у повній мірі забезпечити необхідну стійкість до дії імітаційних завод, наслідком чого є великі затримки у виявленні дії завод і прийом помилкових даних.

2. Для скорочення часу, який витрачається на розпізнавання ситуації СЗО, є доцільним використання інформації індикаторів супутніх ознак.

3. Під час впливу імітаційних завод в каналі виникають динамічні зміни кутових і амплітудних параметрів сигналу.

4. Найбільш інформативним в ході розв'язування задачі розпізнавання ситуації СЗО, яка враховує вимірювальну, індикаторну і апіорну інформацію, є Байєсовський підхід.

5. Вагові коефіцієнти індикаторів супутніх ознак враховуються при розрахунку ймовірностей тільки у випадку «спрацьовування» відповідного індикатора, збільшуючи при цьому «вагу» на користь тієї чи іншої ситуації СЗО.

6. Вдосконалений метод розпізнавання ситуації СЗО та реалізоване його алгоритмічне забезпечення ІВКС каналами передачі даних ЦРПС, які дозволяють скоротити затримку у виявленні дії імітаційних завод за рахунок комплексування інформації вимірювачів та індикаторів супутніх ознак.

7. Для реалізації методу розпізнавання ситуації СЗО в структурну схему ІВКС каналами передачі даних ЦРПС введені індикатори супутніх ознак, модуль розрахунку ймовірностей ситуації СЗО, модуль оцінювання ситуації СЗО та ідентифікації структури каналів передачі даних.

Література

1. Павлов В.И. Оптимизация функционирования измерительных систем / В.И. Павлов, В.В. Аксенов, Т.В. Белова // Известия Томского политехнического университета. – Томск : Изд-во «Известия ТПУ», 2010. – Т. 317. № 4. – С. 104–106.

2. Теория обнаружения сигналов / под редакцией П.А. Бакута. – М. : Радио и связь, 1984. – 440 с.

3. Крухмалев В.В. Цифровые системы передачи / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов. – М. : Горячая линия - Телеком, 2007. – 351 с.

4. Бойко Ю.М. Дослідження способів заводостійкого кодування для захисту від помилок у цифрових каналах передавання інформації / Ю.М. Бойко, Д.А. Макаришкін // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. Радіотехніка, електроніка та телекомунікації. – 2013. – № 2. – С. 123–130.

5. Бойко Ю. М. Підвищення заводостійкості блоків оброблення сигналів супутникових засобів телекомунікацій на основі модифікованих схем синхронізації / Ю. М. Бойко // Вісник НТУУ КПІ. Телекомунікації, радіолокація і навігація, електроакустика. – К., 2015. – № 61. – С. 91–107.

6. Карпова Л.В. Дослідження ефективної ширини спектру вузькосмугового імпульсного сигналу в умовах нелінійної частотної модуляції / О.М. Шинкарук, І.І. Чесановський, Л.В. Карпова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2016. – № 2. – С. 14–18.

7. J.M. Voiko, A.I. Eromenko, “Solutions Improve Signal Processing In Digital Satellite Communication Channels“, 20th International IEEE conference on microwaves, radar and wireless communications. MIKON-2014. June, Gdansk – Poland, pp. 126–129.

8. Иванов В.И. Цифровые и аналоговые системы передачи : учебник для вузов / В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др. ; под ред. В.И. Иванова. – 2-е изд. – М. : Горячая линия –Телеком, 2003. – 232 с.

9. Бухалев В.А. Распознавание, оценивание и управление в системах случайной скачкообразной структурой / Бухалев В.А. – М. : Наука. Физматлит, 1996. – 288 с.

10. Аксенов В.В. Функционирование радиоканала передачи данных при действии имитационных помех / В.В. Аксенов // Информационные технологии XXI века : материалы международной научной конференции, Хабаровск, 20–24 мая 2013 г. – Хабаровск : Изд.-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 182–187.

Рецензія/Peer review : 16.10.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Мартинюк В.В.

ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ВІД ОСНОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ У ВУЗЬКОСМУГОВИХ РАДІОКАНАЛАХ

В даній статті проведено теоретичну оцінку потенційної пропускної здатності та її залежність від впливу основних шкідливих чинників, які діють в каналі зв'язку. Розглянуто критерії оцінки потенційної пропускної здатності вузькосмугових каналів під час застосування дискретних та аналогових видів модуляції. Досліджено існуючі різновиди класичних методів модуляції (амплітудної, кутової та імпульсної) на предмет їх потенційних можливостей у випадку вузькосмугових каналів.

Ключові слова: вузькосмуговий радіоканал, сигнал, модуляція, спектр, виграв, завада.

I.I. CHESANOVSKYY

National Academy of State Border guard service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi
L.V. KARPOVA, D.O. LEVCHUNETS
Khmelnytsky National University**EVALUATION OF THE THROUGHPUT OF BASIC ENERGY CORRELATIONS IN NARROW-BAND RADIO CHANNELS**

This article provides a theoretical assessment of the potential bandwidth and its dependence on the impact of the main harmful factors existing in the communication channel. Describes the criteria for evaluating the potential bandwidth of narrowband channels in the application of digital and analogue modulation types. Studied the existing kinds of classic modulation techniques (amplitude, angular and pulse) in terms of their potential capability in case of narrowband channels.

Keywords: narrow-band radio channel, signal, modulation, spectrum, win, hindrance.

Постійно зростаючі вимоги до пропускної здатності каналів зв'язку обумовлені значним розширенням спектру телекомунікаційних послуг і підвищенням вимог до їх якості. З огляду на це, на кожному етапі впровадження нових підходів передачі сигналів по електричних каналах зв'язку (застосування нових видів модуляції, запровадження високоефективних завадостійких і ущільнюючих кодів, тощо) важливо мати реальну теоретичну оцінку потенційної пропускної здатності і її залежність від впливу основних шкідливих чинників, які діють в каналі зв'язку.

Відсутність чітких критеріїв проведення сумісної порівняльної оцінки пропускної здатності аналогових і дискретних каналів зв'язку, достатньо гостро відчувається в галузі систем професійного УКХ зв'язку, які сьогодні знаходяться на етапі впровадження додаткових сервісів з використанням цифрових стандартів. Цифрові системи радіозв'язку мають безліч переваг перед аналоговими, проте вони досяжні лише в широкосмуговій реалізації радіоканалів. У випадку вузькосмугових радіоканалів, застосування цифрових методів передачі даних не завжди себе виправдовує, тому актуальним, є збереження аналогового режиму роботи. Для визначення чітких критеріїв оцінки потенційної пропускної здатності вузькосмугових каналів при застосуванні дискретних та аналогових видів модуляції і встановлення залежності цієї пропускної здатності від основних енергетичних співвідношень в каналі необхідно дослідити існуючі різновиди класичних методів модуляції (амплітудної, кутової та імпульсної) на предмет їх потенційних можливостей у випадку вузькосмугових каналів.

У випадку передачі аналогових сигналів, найкращою системою радіозв'язку вважається передача інформації однією бічною смугою [1–3], яка займає найменшу смугу частот, що визначило її найвищу спектральну ефективність серед різновидів амплітудної модуляції і як наслідок вважати даний вид модуляції таким, що дає змогу забезпечити найбільше відношення сигнал/шум. Проте, дослідження в області теорії модуляції, на певному етапі розвитку радіотехніки [4, 5], та розробка різних видів кутової (квадратурні методи) й імпульсної модуляції змусили переглянути, сталі погляди про залежності між потужністю сигналу, смугою частот й відношенням сигнал/шум.

Питання збільшення завадостійкості під час радіоприймання надзвичайно важливі. Згідно з принципом невизначеності в теорії сигналів, аксіоматичним вважається вираз, що встановлює граничне співвідношення між часом передачі повідомлень і шириною частотного спектру [3, 4], що при цьому використовується:

$$2\Delta f \Delta t \geq 1,$$

де Δt – ефективна тривалість сигналу, Δf – ефективна смуга частот сигналу, які визначаються із виразів [5]:

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{\int_0^{\infty} G^2(\omega) d\omega}{G_{\max}^2}; \quad \Delta t = \frac{2}{E} \int_0^T \int_0^{T-\tau} u(t)u(t+\tau) dt d\tau,$$

де $G(\omega), G_{\max}$ – енергетичний спектр сигналу $u(t)$ і його максимальне значення відповідно; E – енергія сигналу.

Даний вираз, є аналогічним співвідношенню невизначеності Гейзенберга, який при цьому показує, що в радіотехніці, в принципі, неможливе спільне точне визначення часу передачі й частоти сигналу.

Розглянемо енергетичні критерії у контексті типової лінії радіозв'язку, схема якої наведена на рис. 1.

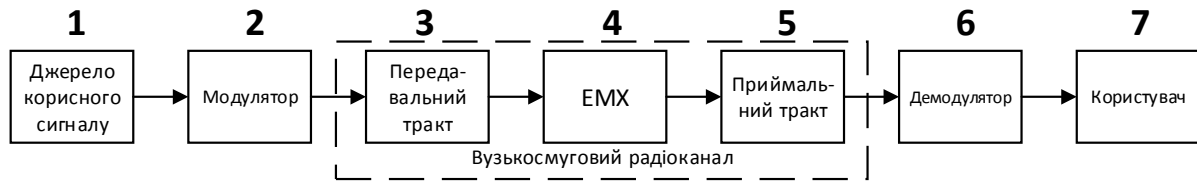


Рис. 1. Узагальнена блок-схема лінії радіозв'язку

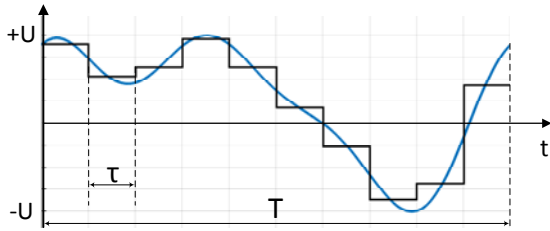


Рис. 2. Дискретизація аналогового повідомлення

Повідомленням ми будемо називати одиничну радіопередачу, (наприклад, передачу одного фрагменту мови, відеоповідомлення або телеметричного сигналу). З метою застосування більш зручного апарату дискретної математики в частині чисельних методів, неперервну функцію напруги у часі на рис. 2 легко апроксимувати сходиною функцією Хевісайда [1–3]. Для цього інтервал часу T , що вимагається для передачі даного повідомлення розділимо на $n = T/\tau$ – рівних проміжків

часу. Протягом елементарного проміжку τ напруга залишається на постійному рівні, одного з можливих дискретних значень напруги U . Позначивши різницю між значеннями сусідніх рівнів напруги через ΔU , одержимо загальне число m можливих значень напруги за час τ у вигляді:

$$m = 2 \frac{U_m}{\Delta U} + 1. \quad (1)$$

Величини τ і ΔU визначаються характером передачі і заданим рівнем шумів квантування, або необхідною точністю її відтворення, що є тотожним. Якщо максимальна присутня в повідомленні частота рівна F_m , то у відповідності до теореми Котельнікова, максимальний період дискретизації, що відповідає мінімальній частоті дискретизації визначається як,

$$\tau = \frac{1}{2F_m}.$$

Таким чином, максимально можлива кількість роздільно переданих повідомлень тривалістю T , що може дати джерело корисного сигналу на фоні завад, складає m^n . А отже, продуктивність джерела аналогових повідомлень ω , в дискретному представленні може бути визначена наступним чином:

$$\omega = m^n = \left(2 \frac{U_m}{\Delta U} + 1\right) = \left(2 \frac{U_m}{\Delta U} + 1\right). \quad (2)$$

Відповідно даного співвідношення, чим більше ω , тим більше інформації може одержати споживач від даного джерела в заданий інтервал часу. При цьому слід зазначити, що із загальної кількості ω можливих повідомлень у певний відрізок часу T передається лише одне повідомлення, що складається з n елементів повідомлень.

При передачі мови та багатосимвольної послідовності зазвичай окремі букви, слова й фрази зустрічаються частіше від інших. Враховуючи це й відкидаючи мало ймовірні в даній мові або типі передачі комбінації елементів повідомлень, можна полегшити роботу радіоканалу й підвищити його якість. Зазначені питання, що відносяться до специфіки роботи самого джерела корисного сигналу, та специфіки мови, у даній роботі не розглядаються й усі повідомлення (m можливих значень) будемо вважати рівноймовірними.

Цілком очевидно, що пропускна спроможність радіоканалу C , тобто максимальна кількість повідомлень тривалістю T , кожне з яких може пройти через радіоканал у присутності завад з інтенсивністю U_n при заданій імовірності правильного відтворення p , має бути не менше продуктивності джерела повідомлень ω

$$\omega \leq C. \quad (3)$$

У правильно розрахованій лінії радіозв'язку продуктивність джерела повідомлень ω повинна бути рівною пропускній здатності радіоканалу C . Якщо ємність радіоканалу менше цієї величини, то він не зможе забезпечити правильне відтворення кожного з ω можливих повідомлень і буде вносити в передачу викривлення. Якщо пропускна здатність більше – у каналі є резерви, які можуть бути використані при розрахунках лінії.

Розкладемо напругу, що формується джерелом повідомлень (ступінчато-апроксимований сигнал на рис. 2) у ряд Фур'є. Для цього припустимо, що дана передача повторюється по осі t через проміжки часу, кратні T . Тоді після розкладання ми одержимо:

$$f(t) = a + a \sin \frac{2\pi}{T}t + a \sin \frac{4\pi}{T}t + \dots + b \cos \frac{2\pi}{T}t + b \cos \frac{4\pi}{T}t + \dots$$

Оскільки повідомлення не містить частот вище F_m , то загальна кількість незалежних доданків або елементів повідомлень n , так як і згідно виразу (2) буде дорівнювати:

$$n = 1 + 2F_m T \approx 2F_m T$$

Їх комбінації дадуть m^n можливих повідомлень. Після модуляції, низькочастотне повідомлення перетвориться у високочастотний сигнал, тривалістю T . Представимо флукуаційні завади у вигляді ряду Фур'є, також допустивши, що вони повторюються через інтервали T . Після розкладання одержимо компоненти завад з тими ж частотами від $2\pi/T$ до ∞ з випадковими, але для даного конкретного випадку постійними, амплітудами. Таким чином, у смузі пропускання радіоканалу ми одержимо доданки сигналу із частотами від ω_p до ω_q а також завади з ідентичними частотами. Інтенсивність завади в межах смуги пропускання будемо вважати розподіленою рівномірно. Отже, сумарну напругу сигналу і завади в радіоканалі можна представити у вигляді комплексу дискретних частот, кожна з яких складається із суми двох складових: завади з випадковою амплітудою і сигналу, амплітуда складової якого визначається переданим повідомленням. Чим менша ймовірність помилки необхідна, тим більше слід обрати розрахункове значення N_i у порівнянні з його середнім значенням. Вважатимемо заданою дану ймовірність, а отже і N_i .

На рис. 3 представлена комплексна площина однієї із частот ω_i . Вектор A_i характеризує складову напругу сигналу частоти ω_i , вектор N_i – складову завад тієї ж частоти.

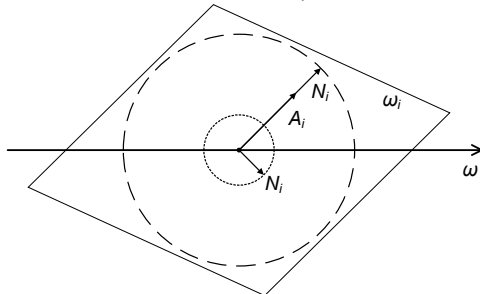


Рис. 3. Вісь проєкцій частоти ω_i у полярних координатах

Згідно з методом багатомірного простору з вектор-функціями, кількість розрізнявальних точок, що характеризує канал зв'язку, або, що те ж саме, кількість символів, що можуть бути передані через даний канал за наявності в ньому завад потужністю P_N , буде дорівнювати кількості сфер радіусом $\sqrt{P_N}$ (напруга завади), що вміщуються в сфері, радіус якої дорівнює сумі напруг сигналу й завади. Таким чином, кількість розрізнявальних точок дорівнює кількості кіл з радіусом N_i , що вміщуються на використовуваній при даній максимальній амплітуді A_i площі. Отже, площу кола радіусом $A + N$ слід розділити на

площу кіл радіусом N_i , тобто

$$m_i = \frac{(A_i + N_i)^2}{N_i^2} \tag{4}$$

Якщо сигнал містить n_k частот ω_p до ω_q то загальна кількість символів, що можуть бути передані через даний канал, та розрахункові величини N_i рівні, а $\sum A_i^2 = U_c^2 = const$, де U_c – максимальне значення напруги сигналу, то максимальне значення ємності буде мати місце при рівності всіх m_i . Тоді

$$c = (m_i)^{n_k} = \left(1 + \frac{A_i}{N_i}\right)^{2n_k},$$

де n_k – кількість окремих частот у смузі пропускання каналу, що дорівнює

$$n = \frac{\Delta F}{1/T} = \Delta F T,$$

де ΔF – смуга пропускання радіоканалу.

Замінімо A_i через напругу сигналу U_c ($U_c = A_i \sqrt{n_k}$) і N_i – через напругу завад у смузі пропускання радіоканалу

$$U_N = N_i \sqrt{n_k}.$$

Тоді остаточно

$$c = \left(1 + \frac{U_c}{U_N}\right)^{2\Delta F T} \tag{5}$$

Прирівнявши відповідно до формули (3) продуктивність джерела повідомлень пропускну здатність каналу і враховуючи, що напруга завад на виході приймача $U_n = \frac{\Delta U}{2}$, одержимо наступне співвідношення

$$\left(1 + \frac{U_m}{U_n}\right)^{2F_m T} = \left(1 + \frac{U_c}{U_N}\right)^{2\Delta F T} \tag{6}$$

Отримана формула показує, що як і для дискретного каналу, можна зменшити смугу частот, зробивши її в кілька разів менше смуги частот джерела повідомлень за рахунок різкого збільшення напруги (або потужності) сигналу U_C . Збільшуючи смугу частот ΔF , що займається сигналом в каналі зв'язку можна збільшити відношення сигнал/шум на виході приймача U_m/U_n . При заданому U_C можна зменшити ΔF за рахунок зменшення відношення сигнал/шум на виході приймача U_m/U_n .

При цьому, відповідно отриманого співвідношення, можливо отримати суттєве підвищення відношення сигнал/шум на виході приймача за рахунок незначного розширення смуги ΔF внаслідок експонентної залежності цього відношення від ΔF , що повністю доводить високий потенційний вигравш від розширення смуги частот сигналів. Звуження ж смуги ΔF за рахунок зменшення U_m/U_n можливо лише у випадку наявності значного запасу завадостійкості, тобто в тому випадку, коли завади слабкі або передавач має надлишкову потужність.

Позначимо через U'_C напругу сигналу, необхідну для звуження смуги в k разів. Тоді з (6) одержимо:

$$\frac{U'_C}{U_C} = \frac{U_N}{U_C \sqrt{k}} \left(\frac{U_N + U_C}{U_N} \right)^k, \quad (8)$$

На рис. 4 наведені криві залежності U'_C/U_C від k для трьох значень $U_C/U_N = 20, 10, 3$.

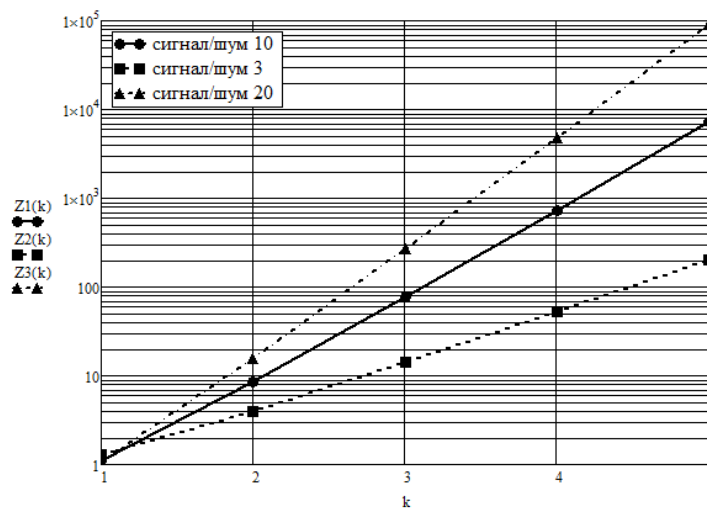


Рис. 4. Залежність відношення напруг для звуження смуги частот в k разів

Із кривих видно, що при порівняно високоякісному прийомі ($U_C/U_N = 10$) для звуження смуги потрібне суттєве збільшення потужності; так для звуження смуги в 2 рази слід збільшити потужність в 50 раз, для звуження в 4 рази – в близько 250000 раз.

При задовільному прийомі ($U_C/U_N = 3$) умови стають більш сприятливими; так для звуження смуги в 2 рази потрібно збільшити потужність лише в 10 разів, для звуження в 4 рази — 1600 разів, що в певних умовах вже може мати практичний сенс.

Вивчивши властивості «ідеальної» системи радіозв'язку, перейдемо до розгляду існуючих систем модуляції, а також визначимо ступінь їх наближення до «ідеальної» системи. Встановимо критерій, згідно якого буде проводитись оцінка. По-перше, цікаво зрівняти потужності, що потрібні для одержання в обох випадках згаданого відношення сигнал/шум на виході приймача і по-друге, смуги частот в ефірі при однаковій потужності випромінювання та однаковому відношенні сигнал/шум на виході приймача. Крім того, необхідно порівняти здатність систем зменшувати завади на виході приймача за рахунок збільшення смуги частот і навпаки – можливості звуження смуги частот за рахунок збільшення потужності сигналу. Ці властивості, в повній мірі, притаманні «ідеальній» системі.

При порівняннях будемо вважати інтенсивність і частотний спектр завад однаковими $N_{iu} = N_{ix}$. Значком u будемо позначати величини, що відносяться до «ідеальної» системи, значком x — до порівнюваної. Джерело повідомлень вважається сталим і порівняння проводиться при передачі в усіх випадках того ж самого повідомлення

$$F_{mu} = F_{mx} \cdot T_u = T_x \cdot$$

Уведемо позначення $\gamma = U_{Cu}/U_{Cx}$. Тоді вигравш по потужності, що досягається «ідеальною» системою, буде рівний γ^2 . Позначимо через η відношення смуги частот ідеальної системи до смуги частот даної системи при однаковій потужності

$$\eta = \frac{\Delta F_u}{\Delta F_x}$$

Позначимо відношення сигнал/шум на виході «ідеального» приймача, рівним відношенню сигнал/шум даного приймача, через S , тобто $S = U_m / U_n$.

Для початку розглянемо амплітудну модуляцію. При амплітудній модуляції $S = U_i / U_N$ (при $M=1$, де U_n – напруга носійної частоти). Тоді

$$(1+S)^{F_m} = \left(1 + \frac{U_{Cu}}{U_N}\right)^{2F_m},$$

звідки

$$U_{Cu} = (\sqrt{1+S} - 1)U_N.$$

При $M=1$ ефективне значення модульованої напруги сигналу $U_{CA}=1,23U_n$ а отже,

$$\gamma = \frac{U_{Cu}}{U_{CA}} = \frac{\sqrt{1+S} - 1}{1,23S}. \tag{9}$$

Таким чином, «ідеальна» система дає тим більший вигравш у порівнянні з АМ, чим вище необхідна якість прийому S .

Знайдемо тепер η , знаючи, що $\eta = \frac{\Delta F_u}{2F_m}$. Приймавши $U_{cu}=1,23U_n$ одержимо:

$$\eta = \frac{1}{2} \frac{\ln(1+S)}{\ln\left(1 + \frac{1,23}{\sqrt{\eta}} S\right)}, \tag{10}$$

тобто «ідеальна» система, що має однакову потужність сигналу, до амплітудно-модульований сигнал при 100-відсотковій модуляції, буде займати смугу частот дещо меншу, ніж F_m .

Аналогічно проведено дослідження інших видів модуляції. Результати цих досліджень приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Аналітичні вирази залежності відносних вигравшів для різних видів модуляції

Вид модуляції	Вихідні умови	Вигравш по амплітуді	Вигравш по частоті
ОБС	$S = \frac{U_C}{U_N}, \Delta F = F_m$ $\left(1 + \frac{U_m}{U_n}\right)^{F_m} = \left(1 + \frac{U_{Cu}}{U_N}\right)^{F_m}$	$\frac{U_{Cu}}{U_C(i \dot{A} \ddot{i})} = \gamma = 1,$ $\frac{P_{Cu}}{P_C(i \dot{A} \ddot{i})} = \gamma^2 = 1$	$(1+S)^{F_m} = \left(1 + \frac{S}{\sqrt{\eta}}\right)^{\Delta F}$ $\Delta F = F_m, \eta = 1.$
ЧМ	$S = \sqrt{3}\alpha^{3/2} \frac{U_C \times i}{U_N},$ $\alpha = \frac{F_d}{F_m}, \Delta F(\times i) = 2F_d$	$\gamma = \sqrt{3}^{3/2} \frac{2\alpha\sqrt{1+S}-1}{S}$	$\eta = \frac{1}{2\alpha} \frac{\ln(1+S)}{\ln\left(1 + \frac{S}{\sqrt{3}\eta\alpha^{3/2}}\right)}$
АІМ, ФІМ, ЧІМ	$U_i = \frac{S U_{N1}}{\sqrt{k}}$ $(1+S)^{F_m} = \left(1 + \frac{U_{Cu}}{U_{N1}}\right)^{2kF_m}$	$\gamma = \frac{2k\sqrt{1+S}-1}{1,23S} \sqrt{k}$	$\eta = \frac{1}{2k} \frac{\ln(1+S)}{\ln\left(1 + \frac{1,23S}{\sqrt{k}\eta}\right)}$
ІКМ	$L = 2^{v-1} M, \frac{2^{v-1}}{\sqrt{v}}$ – вигравш відносно ОБС по частоті	$\gamma^2 = 0,1$	$\eta \approx \frac{\ln S 2^v}{\ln \sqrt{10} S 2^v}$

Як видно з результатів, оптимальна ширина спектру радіосигналу не може мати смугу частот вужчу, ніж при ОБС, за потреби забезпечення ідентичного відношення сигнал/шум на виході приймача. Отже, система ОБС повністю використовує смугу частот і забезпечує максимальну в даних умовах завадостійкість.

Як і АМ система, ОБС модуляція не дозволяє взаємно варіювати відношення сигнал/шум та ширину смуги.

При частотній модуляції вигравш значно вищий за той, що можна отримати при АМ, проте, для його досягнення необхідно забезпечити відношення сигнал/шум вище певного порогового рівня, що відомо в

радіотехніці під назвою «пороговий ефект».

Якісно інші висновки можна робити про імпульсні види модуляції (АІМ, ФІМ, ЧІМ та ІКМ).

Для співставлення результатів, що отримані для різних видів модуляції, проаналізуємо криві, приведені на рис. 5, залежності γ від S при різних видах модуляції.

Як видно із графіків, потужність у робочій смузі частот гірше за все використовується в системах рис. 5 АІМ, що і пояснює її непопулярність на сьогоднішній день. Якщо потрібно одержати відношення сигнал/шум на виході приймача рівним 4, то за однакових умов АІМ програє в порівнянні з «ідеальною» системою за потужністю в 100 разів. Зі збільшенням S програш для всіх систем збільшується. Краще всіх використовується потужність у кодово-імпульсній системі, що, правда, при значно більших S .

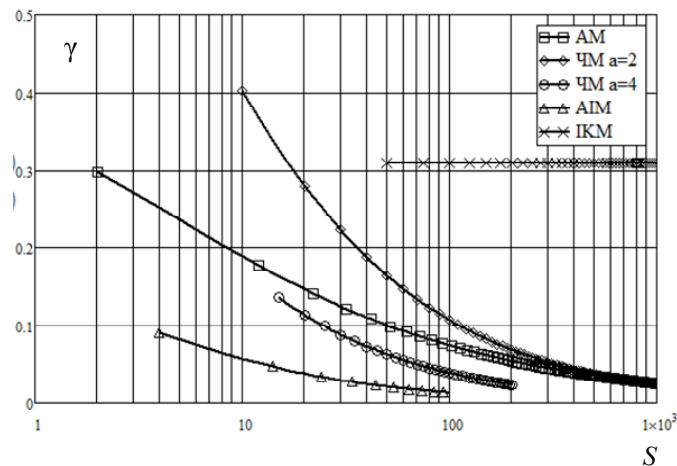


Рис. 5. Залежність відносного виграшу по частоті від енергетичних співвідношень

Ліворуч усі криві обриваються на рівні S , що приблизно відповідає значенню порогу чутливості до завад на вході.

Аналіз виразів по частотному виграшу показують, що всі системи слабо використовують смугу. Для АІМ програш по використанню смуги дещо збільшується зі зменшенням S , для ЧМ — навпаки. Це пояснюється тим, що у випадку АІМ при малих S смуга частот для ідеальної системи виходить меншою від F_m найбільш повно серед розглянутих систем використовується смуга частот при ІКМ.

Таким чином, теоретично можна підтвердити існуючий практичний результат, що полягає в застосуванні саме частотної модуляції в вузькосмугових системах зв'язку поряд із перспективними цифровими стандартами. З іншої сторони, не викликає сумніву ефективність застосування цифрових видів модуляції і безперспективність імпульсних методів, що на сьогоднішній день, принаймні на фізичному рівні систем зв'язку, повністю втрачають свою актуальність.

З огляду на те, що на сьогодні розроблено цілу низку різних видів модуляції, в основу яких покладено принципи ІКМ, залишається лише питанням часу повна відмова від аналогових підходів організації радіоканалів, не дивлячись навіть на відносну простоту і ефективність систем з частотною модуляцією, що повністю є обґрунтованим як з точки зору спектральної так і з точки зору енергетичної ефективності.

Література

1. Богданович В.А. Теория устойчивого обнаружения, различения и оценивания сигналов / Богданович В.А., Вострецов А.Г. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 320 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов / Гоноровский И.С. – 4-е изд., перер.и доп. – М. : Радио и связь, 1986. – 512 с.
3. Кук Ч. Радиолокационные сигналы / Кук Ч., Бернфельд М. ; пер. с англ. ; под ред. В.С. Кельзона. – М. : "Советское радио", 1971. – 568 с.
4. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях : в 2 т. Т. 1 / Макс Ж. ; пер с фр. – М. : Мир, 1983. – 312 с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / Сергиенко А.Б. – СПб : Питер, 2005. – 604 с.
6. Чесановський І.І. Дослідження ефективної ширини спектру вузькосмугового імпульсного сигналу в умовах нелінійної частотної модуляції / О.М. Шинкарук, І.І. Чесановський, Л.В. Карпова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2016. – № 2. – С. 14–18.

Рецензія/Peer review : 17.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 28.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Мартинюк В.В.

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ДОСТАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ЗВАЖЕНОЇ ОНТОЛОГІЇ

У статті вперше розроблено метод оцінювання вагових коефіцієнтів атрибутів якості програмного забезпечення та метод оцінювання достатності інформації для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010) на основі зваженої онтології, які дають можливість зменшити розмір розриву у знаннях про програмну систему, що призводить до підвищення якості та безпеки програмної системи.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), специфікація вимог до ПЗ, якість програмного забезпечення, онтологія, зважена онтологія, ISO 25010:2011.

T.O. NOVORUSHCHENKO, O.V. IVANOV, O.O. PAVLOVA
Khmelnitsky National University

METHOD OF EVALUATION OF SUFFICIENCY OF INFORMATION FOR THE SOFTWARE QUALITY ASSESSMENT BASED ON WEIGHTED ONTOLOGY

The article describes the first time developed method of evaluation of weights of software quality measures and method of evaluation of sufficiency of information for the software quality assessment based on weighted ontology, that provide to decrease the size of gap of knowledge about software system, that leads to increasing the software quality and safety. The method of evaluation of weights of software quality measures provides the evolutions of weights of software quality measures and the conclusion about the existence of which measures in SRS are necessary to ensure the appropriate level of veracity assessment of software quality. The method of evaluation of sufficiency of information for the software quality assessment based on weighted ontology provides the sorting of all absent in the SRS software quality measures in descending order the values of their weights, i.e. to prioritize their amendments in the software requirements specification.

Keywords: software, software requirements specification (SRS), software quality, ontology, weighted ontology, ISO 25010:2011.

Вступ

Найбільш використовуваною моделлю для оцінки якості ПЗ є модель якості зі стандарту ISO 25010 [1]. Модель ISO 25010 пропонує оцінити якість ПЗ як функцію від восьми характеристик, кожна з яких є функцією декількох підхарактеристик (всього 31 підхарактеристика), але підхарактеристики, в свою чергу, є функціями від декількох атрибутів – рис. 1. Аналіз робіт [2–5] та стандарту ISO 25023 [6] дав можливість визначити залежність підхарактеристик якості від атрибутів – наразі існує залежність характеристик та підхарактеристик якості ПЗ від 203 атрибутів (таблиця 1), але є атрибути, від яких залежать більше однієї підхарактеристики та характеристики якості ПЗ. Основна ідея полягає в тому, що оцінювання якості, а також її характеристик та підхарактеристик слід проводити комплексно, з врахуванням всіх зазначених характеристик, підхарактеристик та атрибутів відповідно.



Рис. 1. Оцінювання якості ПЗ

Таблиця 1

Кількість підхарактеристик та атрибутів для характеристик якості ПЗ

Характеристика якості ПЗ	Кількість підхарактеристик	Кількість атрибутів
Функційна придатність (Functional Suitability)	3	15
Ефективність (Performance Efficiency)	3	26
Зручність використання (Usability)	6	49
Надійність (Reliability)	4	30
Сумісність (Compatibility)	3	18
Захищеність (Security)	5	23
Супроводжуваність, ремонтпридатність (Maintainability)	5	33
Можливість переносу (Portability)	2	9

Сьогодні оцінювання атрибутів якості відбувається лише на етапі оцінювання якості ПЗ для готового програмного коду. Але всі атрибути якості закладено вже у специфікації вимог до ПЗ, тобто вже на основі специфікації вимог до ПЗ можна оцінити достатність інформації для майбутнього визначення якості

ПЗ і за відсутності важливих атрибутів внести необхідні корективи у специфікацію вимог.

Для усунення проблеми суб'єктивного оцінювання та формального задоволення якості було побудовано формалізовану модель якості ПЗ [7] за стандартом [1], яка доводить важливість оцінки взаємовпливу характеристик, а не лише впливу кожної окремої характеристики на якість ПЗ, тобто важливість враховувати як ступінь вираженості характеристик і підхарактеристик якості, так і їх значущість. Однією з проблем моделей якості є саме визначення значущості характеристик якості [8]. Характеристики якості можуть впливати одна на одну. Існування взаємозв'язків між характеристиками та підхарактеристиками впливає на значущість та вагу характеристик якості ПЗ [8]. Тому перспективним подальшим напрямком досліджень є виявлення спільних атрибутів для характеристик і підхарактеристик якості ПЗ, визначення значущості атрибутів якості ПЗ і забезпечення атрибутів якості ПЗ у специфікації вимог до ПЗ з врахуванням одержаних вагових коефіцієнтів значущості.

Отже, *актуальною* є задача оцінювання вагових коефіцієнтів атрибутів якості ПЗ на основі виявлення ступеня взаємовпливів характеристик та підхарактеристик якості ПЗ за атрибутами (на основі стандарту ISO 25010 [1]), а також оцінювання достатності інформації для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010 [1]) на основі зваженої онтології.

Метод оцінювання вагових коефіцієнтів атрибутів якості програмного забезпечення

Можливість прояву взаємної кореляції характеристик та підхарактеристик при використанні їх у моделі якості ПЗ є однією з основних властивостей базової онтології, тому для подальшої роботи використаємо базову онтологію предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Якість ПЗ»), представлену у [9].

Метод оцінювання вагових коефіцієнтів атрибутів якості програмного забезпечення складається з наступних кроків:

- 1) визначення спільних атрибутів для характеристик якості ПЗ на основі представленої у [9] базової онтології;
- 2) виявлення взаємовпливів характеристик якості ПЗ;
- 3) визначення спільних атрибутів для підхарактеристик якості ПЗ на основі представленої у [9] базової онтології;
- 4) виявлення взаємовпливів підхарактеристик якості ПЗ;
- 5) виявлення атрибутів, від яких залежать більше однієї підхарактеристики та характеристики якості;
- 6) розрахунок вагових коефіцієнтів атрибутів якості ПЗ на основі кількості підхарактеристик та характеристик, які залежать від цих атрибутів.

Побудована у [9] базова онтологія дала можливість визначити спільні атрибути для характеристик якості програмного забезпечення: 1) атрибут «час роботи (Operation time)» входить до підхарактеристик всіх восьми характеристик якості; 2) атрибут «кількість функцій (Number of functions)» входить до Функційної придатності, Надійності, Зручності використання, Супроводжуваності, Сумісності, Можливості переносу; 3) атрибут «кількість елементів даних (Number of data items)» входить до Функційної придатності, Ефективності, Супроводжуваності, Захищеності, Сумісності, Можливості переносу; 4) атрибут «кількість збоїв (Number of faults)» входить до Надійності, Можливості переносу; 5) атрибут «кількість відмов (Number of failures)» входить до Надійності, Ефективності, Супроводжуваності, Сумісності; 6) атрибут «кількість тестових випадків (Number of test cases)» входить до Надійності, Супроводжуваності, Захищеності; 7) атрибут «кількість фіксованих відмов (Number of resolved failures)» входить до Надійності, Супроводжуваності; 8) атрибут «кількість недозволенних операцій (Number of illegal operations)» входить до Надійності, Захищеності; 9) атрибути «кількість задач (Number of tasks)», «кількість помилок введення-виведення (Number of IO-related errors)» входять до Ефективності, Зручності використання.

Кількість спільних атрибутів для характеристик якості представлені у таблиці 2 (ФП – Функційна придатність, Н – Надійність, ЗВ – Зручність використання, З – Захищеність, Е – Ефективність, С – Супроводжуваність, МП – Можливість переносу, См – Сумісність).

Таблиця 2

Попарне порівняння характеристик якості ПЗ на предмет визначення кількості спільних атрибутів

	ФП	Н	ЗВ	З	Е	С	МП	См
ФП		2	2	2	2	3	3	3
Н	2		2	3	2	5	3	3
ЗВ	2	2		1	2	2	2	2
З	2	3	1		2	3	2	2
Е	2	2	2	2		3	2	3
С	3	5	2	3	3		3	4
МП	3	3	2	2	2	3		3
См	3	3	2	2	3	4	3	

На основі базової онтології було визначено спільні атрибути для підхарактеристик якості ПЗ:

- 1) характеристика Функційна придатність: підхарактеристики Функційна повнота, Функційна

доцільність мають 4 спільні атрибути («кількість функцій (Number of functions)», «повнота функційної реалізації (Functional implementation completeness)», «функційна адекватність (Functional adequacy)», «покриття функційної реалізації (Functional implementation coverage)»); підхарактеристики Функційна доцільність, Функційна коректність мають 2 спільних атрибути («час роботи (Operation time)», «точність (Precision)»);

2) характеристика Ефективність: підхарактеристики Поведінка у часі, Поведінка ресурсів мають 2 спільні атрибути («час роботи (Operation time)», «кількість оцінок (Number of evaluations)»); підхарактеристики Поведінка у часі, Ємність мають 1 спільний атрибут («середнє значення пропускнуої здатності (Mean amount of throughput)»);

3) характеристика Зручність використання: підхарактеристики Можливість вивчення, Керованість мають 2 спільних атрибути («кількість функцій (Number of functions)», «час роботи (Operation time)»); підхарактеристика Розпізнавання доцільності має 1 спільний атрибут («кількість функцій (Number of functions)») з підхарактеристиками Можливість вивчення, Керованість; підхарактеристики Керованість, Захист від помилок користувача мають 1 спільний атрибут («кількість помилок або змін користувача (Number of user errors or changes)»); підхарактеристики Керованість, Естетичність інтерфейсу користувача мають 1 спільний атрибут («кількість елементів інтерфейсу (Number of interface elements)»);

4) характеристика Надійність: підхарактеристики Зрілість, Наявність (доступність), Відновлюваність мають 1 спільний атрибут («час роботи (Operation time)»); підхарактеристики Зрілість, Відмовостійкість мають 2 спільних атрибути («кількість відмов (Number of failures)», «кількість тестових випадків (Number of test cases)»); підхарактеристики Відмовостійкість, Відновлюваність мають 1 спільний атрибут («кількість несправностей (Number of breakdowns)»);

5) характеристика Сумісність: підхарактеристики Співіснування, Взаємодія мають 1 спільний атрибут («час роботи (Operation time)»);

6) характеристика Захищеність: підхарактеристики Конфіденційність, Цілісність мають 8 спільних атрибутів («час роботи (Operation time)», «кількість недозволенних операцій (Number of illegal operations)», «кількість тестових випадків (Number of test cases)», «кількість випадків пошкодження даних (Number of instances of data corruption)», «кількість елементів даних (Number of data items)», «кількість типів доступу (Number of access types)», «кількість контрольованих вимог (Number of controllability requirements)», «керованість доступу (Access controllability)»);

7) характеристика Супроводжуваність: підхарактеристики Модульність, Можифікованість мають 3 спільних атрибути («час роботи (Operation time)», «кількість фіксованих відмов (Number of resolved failures)», «кількість функцій (Number of functions)»); підхарактеристика Тестованість має 2 спільних атрибути («час роботи (Operation time)», «кількість фіксованих відмов (Number of resolved failures)») з підхарактеристиками Модульність, Модифікованість; підхарактеристики Модульність, Аналізованість мають 1 спільний атрибут («кількість відмов (Number of failures)»); підхарактеристики Аналізованість, Модифікованість мають 1 спільний атрибут («час помилки (Error time)»);

8) характеристика Можливість переносу: підхарактеристики Адаптованість, Можливість заміни мають 2 спільних атрибути («кількість функцій (Number of functions)», «кількість елементів даних (Number of data items)»); підхарактеристики Адаптованість, Можливість інсталяції мають 1 спільний атрибут («кількість збоїв (Number of faults)»).

У [8] доведено, що існування взаємозв'язків між характеристиками та підхарактеристиками впливає на значущість характеристик якості ПЗ, котра виражається у вигляді вагових коефіцієнтів. Для подальшого розвитку методики оцінювання вагових коефіцієнтів характеристик якості ПЗ (за стандартом ISO 25010), необхідно оцінити вагові коефіцієнти атрибутів, на основі яких ці характеристики визначаються.

Враховуючи той факт, що є атрибути, від яких залежать більше однієї підхарактеристики якості ПЗ, для оцінки вагового коефіцієнту i -го атрибуту використаємо наступний вираз:

$$\omega_{m_i} = \frac{k_{sch_{m_i}}}{k_m}, \quad (1)$$

де $k_{sch_{m_i}}$ – кількість підхарактеристик, які залежать від i -го атрибуту; k_m – загальна кількість атрибутів (на сьогодні $k_m = 203$).

Вагові коефіцієнти атрибутів, які використовуються для обчислення більше однієї підхарактеристики, представлені у таблиці 3.

Оскільки всі інші атрибути використовуються при обчисленні лише однієї підхарактеристики якості, то вагові коефіцієнти решти атрибутів дорівнюють 1/203.

При оцінюванні характеристик якості ПЗ для забезпечення відповідного рівня достовірності важливо задовольнити наявність у специфікації вимог до програмного забезпечення тих атрибутів, які мають більші вагові коефіцієнти. Чисельник вагового коефіцієнту атрибуту якості вказує на кількість підхарактеристик або характеристик якості ПЗ, які неможливо обчислити без даного атрибуту

Вагові коефіцієнти спільних атрибутів

Атрибут	Ваговий коефіцієнт	Атрибут	Ваговий коефіцієнт
Кількість функцій	11/203	Покриття функційної реалізації	2/203
Повнота функційної реалізації	2/203	Час роботи	17/203
Функційна адекватність	2/203	Точність	2/203
Кількість елементів даних	8/203	Кількість задач	2/203
Кількість відмов	6/203	Кількість помилок, пов'язаних з введенням-виведенням	2/203
Кількість тестових випадків	5/203	Кількість випадків пошкодження даних	2/203
Кількість несправностей	2/203	Кількість типів доступу	2/203
Кількість збоїв	3/203	Кількість контрольованих вимог	2/203
Кількість фіксованих відмов	4/203	Керованість доступу	2/203
Кількість недозволенних операцій	3/203	Кількість оцінок	2/203
Кількість помилок користувача або змін	2/203	Середнє значення пропускну здатності	2/203
Кількість елементів інтерфейсу	2/203	Час помилки	2/203

Метод оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ (за стандартом ISO 25010 [1]) на основі зваженої онтології

При оцінюванні якості ПЗ за стандартом ISO 25010:2011 для забезпечення відповідного рівня достовірності важливо задовольнити наявність у специфікації вимог до програмного забезпечення тих атрибутів, які мають більші вагові коефіцієнти.

Визначення 1. Зваженою онтологією предметної галузі «Інженерія ПЗ» в частині «Якість ПЗ» називатимемо онтологію, в якій атрибути якості ПЗ мають вагові коефіцієнти з метою рекомендації подальшого задоволення цих атрибутів у специфікації вимог до ПЗ.

Метод оцінювання достатності інформації для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011) на основі зваженої онтології складається з наступних кроків:

- 1) побудова зваженої базової онтології для предметної галузі «Інженерія ПЗ» в частині «Якість ПЗ»;
- 2) аналіз специфікації вимог до ПЗ конкретного програмного проекту на предмет наявності атрибутів, необхідних для визначення підхарактеристик та характеристик якості програмного проекту та ПЗ;
- 3) розроблення онтології для визначення якості конкретного програмного забезпечення;
- 4) порівняння розробленої онтології для визначення якості конкретного програмного забезпечення із зваженою базовою онтологією для визначення якості ПЗ, складові частини якої наведені на рис. 2–9;
- 5) виявлення атрибутів, які відсутні в онтології для визначення якості конкретного ПЗ; сортування відсутніх атрибутів за спаданням значень вагових коефіцієнтів; при цьому чисельник вагового коефіцієнту кожного відсутнього атрибуту якості вказує на кількість підхарактеристик або характеристик якості ПЗ, які неможливо обчислити без даного атрибуту;
- 6) виявлення підхарактеристик та характеристик якості, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів;
- 7) прийняття рішення про необхідність доповнення специфікації вимог до ПЗ необхідними атрибутами за наявності підхарактеристик та характеристик, значення яких неможливо визначити на основі наявних у специфікації атрибутів; при цьому першими повинні розглядатись та вноситись у специфікацію атрибути з більшими ваговими коефіцієнтами (перші у сортованому списку відсутніх атрибутів);
- 8) повторення етапів 2–7 доти, доки не стане можливим визначити всі підхарактеристики та характеристики якості, або доки не буде сформовано висновок, що наявних даних достатньо для визначення якості ПЗ з певною достовірністю.

На основі базової онтології для предметної галузі «Інженерія ПЗ», представленої у [9], побудуємо зважену базову онтологію, у котрій є інформація щодо вагових коефіцієнтів атрибутів якості програмного забезпечення (рис. 2–9).

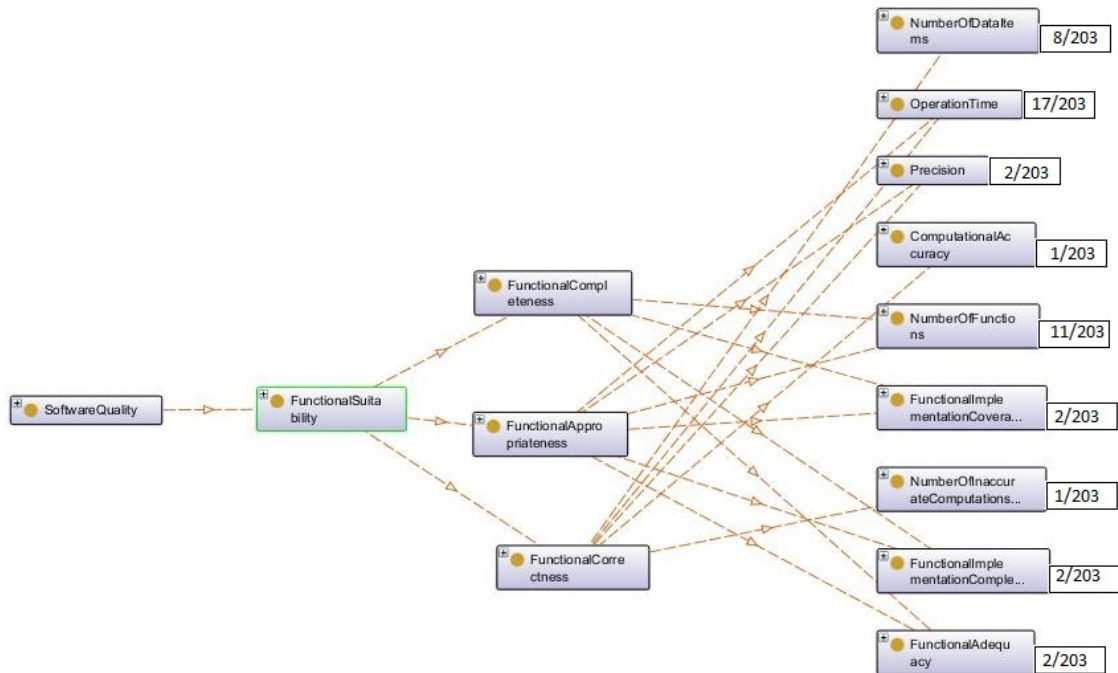


Рис. 2. Зважена базова онтологія для Функційної придатності

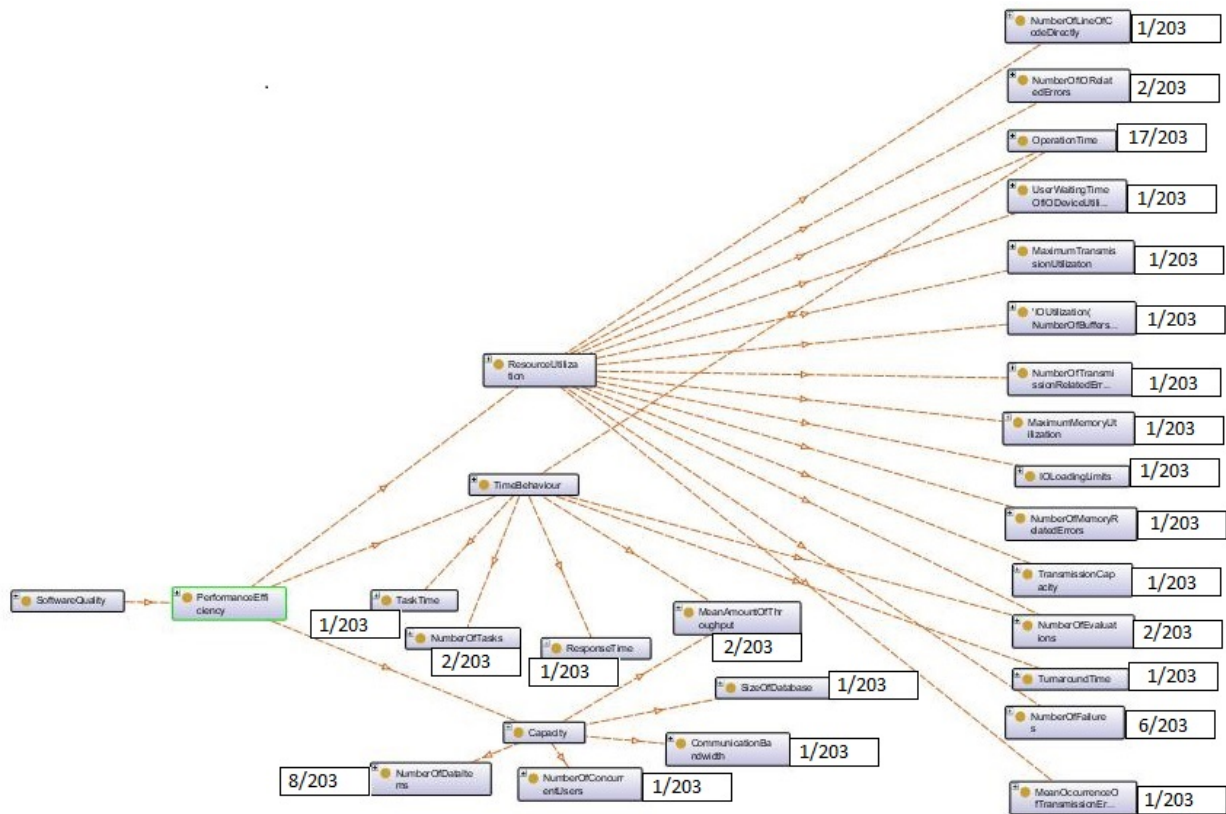


Рис. 3. Зважена базова онтологія для Ефективності

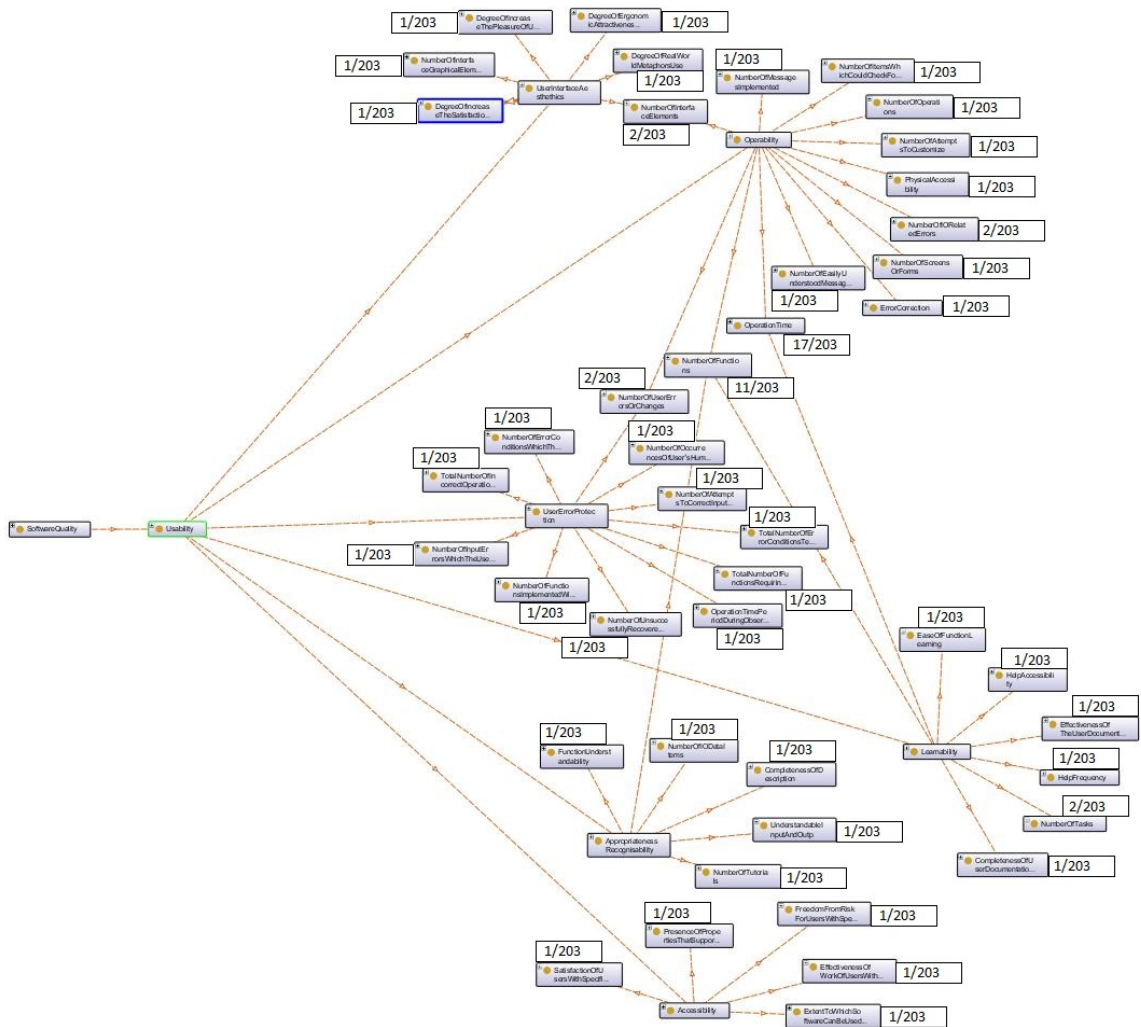


Рис. 4. Зважена базова онтологія для Зручності використання

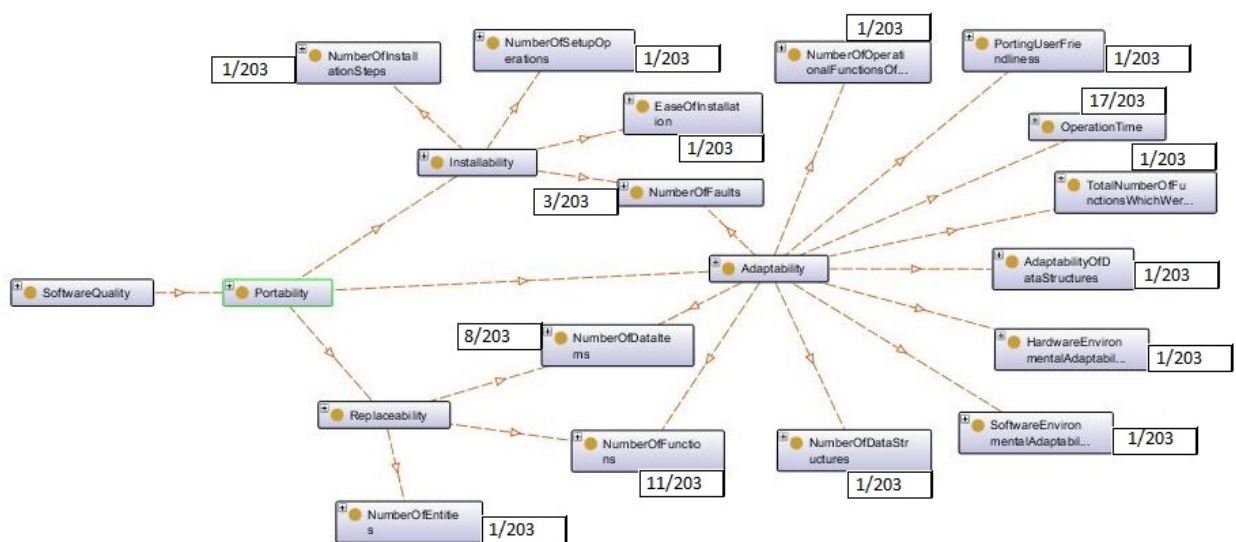


Рис. 5. Зважена базова онтологія для Можливості переносу

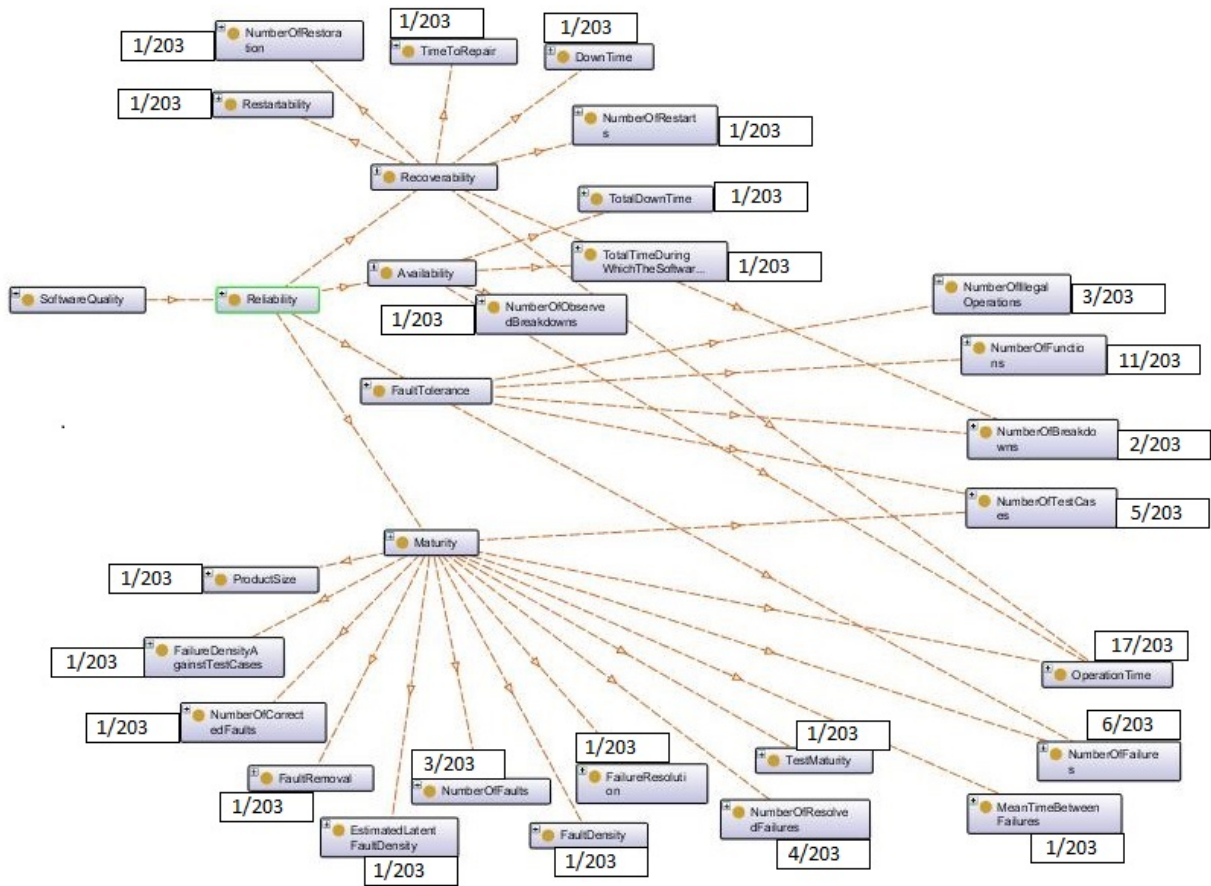


Рис. 6. Зважена базова онтологія для Надійності

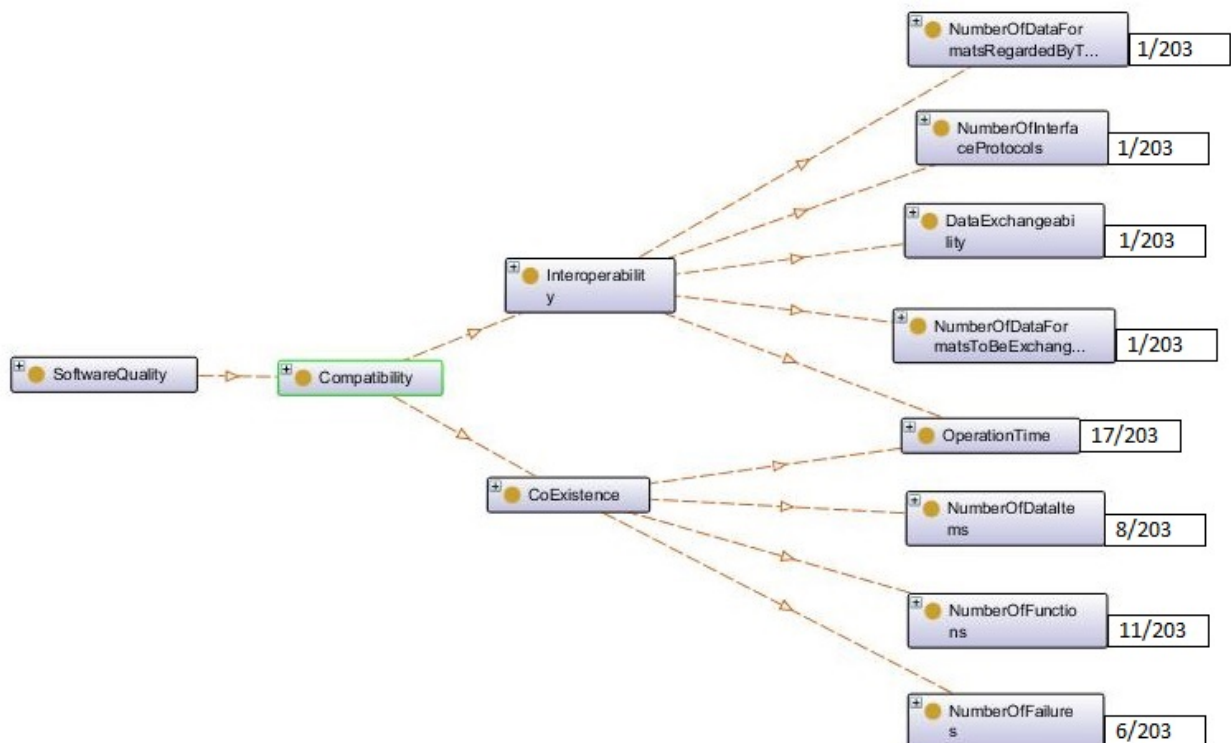


Рис. 7. Зважена базова онтологія для Сумісності

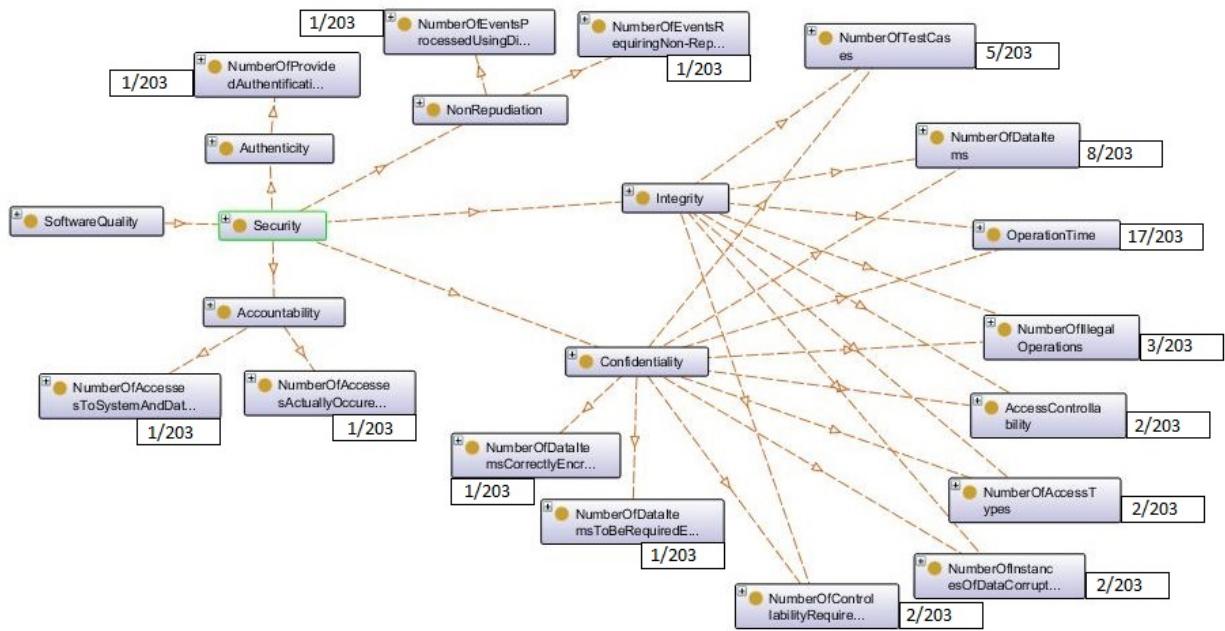


Рис. 8. Зважена базова онтологія для Захищеності

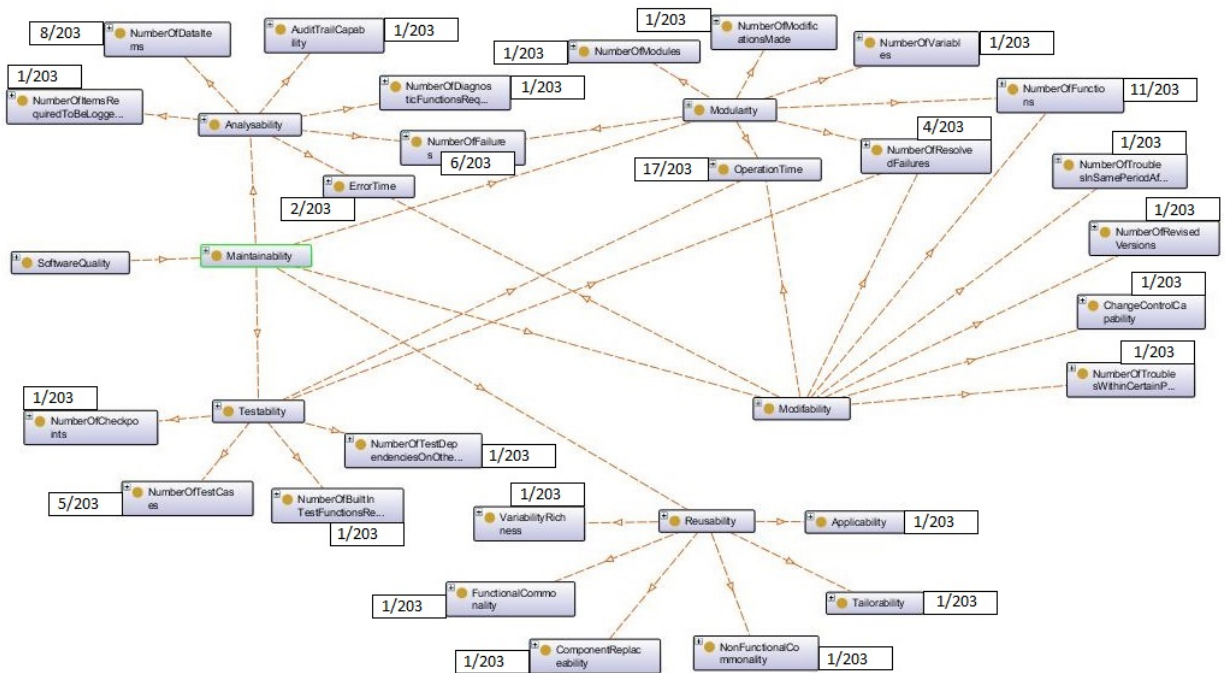


Рис. 9. Зважена базова онтологія для Супроводжуваності

Позначення вагових коефіцієнтів атрибутів якості ПЗ у базовій онтології дає можливість відсортувати всі відсутні у специфікації вимог до ПЗ атрибути якості за спаданням значень вагових коефіцієнтів, тобто встановити пріоритетність їх доповнення у специфікацію вимог до ПЗ.

Оцінювання достатності інформації для визначення якості програмного забезпечення за специфікацією вимог до ПЗ автоматизованої системи широкоформатного фотодруку (з використанням зваженої онтології)

Проведемо експеримент зі специфікацією вимог до ПЗ автоматизованої системи (АС) широкоформатного фотодруку із використанням методу оцінювання достатності інформації для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010 [1]) на основі зваженої онтології.

Результати першого етапу методу представлені на рис. 2–9. Після аналізу специфікації вимог до ПЗ автоматизованої системи широкоформатного фотодруку було розроблено онтологію для визначення якості ПЗ цієї автоматизованої системи – ці результати представлено у [9].

Порівняльний аналіз базової онтології та онтології для ПЗ АС широкоформатного фотодруку показав, що у онтології, розробленій для ПЗ автоматизованої системи широкоформатного друку, відсутні 4 атрибути: «кількість функцій (Number of functions)», «час роботи (Operation time)», «кількість елементів

даних (Number of data items)», «кількість тестових випадків (Number of test cases)». Відтак неможливо обчислити 23 підхарактеристики якості ПЗ, всі характеристики якості ПЗ з високим рівнем достовірності та відповідно неможливо визначити якість проекту та розроблюваного ПЗ з високим рівнем достовірності.

Проведемо сортування відсутніх у специфікації вимог до ПЗ автоматизованої системи широкоформатного друку атрибутів якості за спаданням значень вагових коефіцієнтів – таблиця 4.

Таблиця 4

Список відсутніх у специфікації атрибутів якості ПЗ за спаданням значень вагових коефіцієнтів

№	Атрибут якості	Ваговий коефіцієнт
1	Час роботи (Operation time)	17/203
2	Кількість функцій (Number of functions)	11/203
3	Кількість елементів даних (Number of data items)	8/203
4	Кількість тестових випадків (Number of test cases)	5/203

Оскільки наявні підхарактеристики та характеристики, значення яких неможливо визначити на основі наявних у специфікації атрибутів, необхідно прийняти рішення про необхідність доповнення специфікації вимог до ПЗ необхідними атрибутами.

Відбулось доповнення специфікації вимог до ПЗ атрибутами «кількість функцій» (2-й у сортованому списку), «кількість елементів даних» (3-й у сортованому списку). Після цього з'явилась додаткова можливість визначити 5 (з 23-х) характеристик якості ПЗ, тобто зменшився розмір розриву у знаннях при оцінюванні якості ПЗ, але відсутність у специфікації вимог інших двох атрибутів «час роботи» (1-й у сортованому списку), «кількість тестових випадків» (4-й у сортованому списку) все ще залишає неможливим обчислення 18 підхарактеристик якості, а також всіх 8-и характеристик якості ПЗ з високим рівнем достовірності (все ще недостатність інформації). Замовник розроблюваної АС широкоформатного друку прийняв рішення, що подальше доповнення специфікації економічно недоцільне, тому було сформувано висновок про недостатність даних для визначення якості ПЗ з високим рівнем достовірності.

Використання зваженої онтології дає можливість відсортувати всі відсутні у специфікації вимог до ПЗ атрибути якості за спаданням значень вагових коефіцієнтів, тобто встановити пріоритетність їх доповнення у специфікацію вимог до ПЗ. Якби розробник дослухався до рекомендацій щодо пріоритетності доповнення необхідних атрибутів і додав ще хоча б найвагоміший з відсутніх атрибут «час роботи (Operation time)» (1-й у сортованому списку), то з'явилась би можливість довизначити ще 13 (з 18) підхарактеристик якості ПЗ, а також 5 (з 8) характеристик якості ПЗ. Відтак достовірність оцінки якості ПЗ значно б зросла, а розмір розриву у знаннях при оцінюванні якості ПЗ значно б скоротився.

Висновки

Метричний аналіз (аналіз на основі атрибутів) є ефективним засобом оцінки якості ПЗ за умови наявності достовірної інформації для його проведення. Одним з чинників, що впливають на достовірність такої інформації, є достатність об'ємів інформації щодо атрибутів у специфікації вимог до ПЗ. Тому вирішення задачі оцінки достатності інформації щодо атрибутів у специфікації вимог в загальному випадку забезпечує підвищення достовірності оцінки якості ПЗ.

В процесі аналізу підхарактеристик якості ПЗ, як джерел інформації щодо характеристик якості, було виявлено наявність взаємної кореляції таких підхарактеристик, оскільки вони мають ряд спільних атрибутів. Існування взаємовпливів між характеристиками та підхарактеристиками якості ПЗ впливає на вагові коефіцієнти характеристик якості ПЗ і, відповідно, впливатиме на розрахунок якості ПЗ. Кореляція підхарактеристик та характеристик за атрибутами повинна враховуватись при оцінюванні вагових коефіцієнтів атрибутів, оскільки може погіршувати точність та достовірність визначення характеристик якості ПЗ та, власне, достовірність оцінки якості ПЗ.

Розроблено метод оцінювання вагових коефіцієнтів атрибутів якості програмного забезпечення на основі врахування взаємної кореляції характеристик та підхарактеристик за атрибутами, який дає можливість визначити вагові коефіцієнти атрибутів, а також зробити висновок, наявність яких атрибутів у специфікації вимог до ПЗ є необхідною для забезпечення відповідного рівня достовірності оцінки якості програмного забезпечення. Розроблено метод оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ (за стандартом ISO 25010:2011) на основі зваженої онтології, який за рахунок позначення вагових коефіцієнтів атрибутів у базовій онтології дає можливість відсортувати всі відсутні у специфікації вимог до ПЗ атрибути якості за спаданням значень вагових коефіцієнтів, тобто встановити пріоритетність їх доповнення у специфікацію вимог.

Розроблений метод оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ на основі зваженої онтології дає можливість зменшити розмір розриву у знаннях та сектору з невідомою інформацією про програмну систему, що призводить до підвищення якості та безпеки програмної системи.

Література

1. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models – Revises ISO/IEC 9126-1:2001: introduced 01.03.2011. – ISO/IEC, 2011. – 34 p.
2. Abran. ISO-Based Models to Measure Software Product Quality / A. Abran, R. E. Al-Quitash, J.-M. Desharnais, N. Habra // Software Quality Measurement: Concepts and Approaches. – 2014. – Chapter 5, pp. 61–96.
3. S. Montagud. A systematic review of quality attributes and measures for software product lines / S. Montagud, S. Abrahao, E. Insfrán // Software Quality Journal. – 2012. – No 20(3-4), pp. 425–486.
4. J. Sun Her. A framework for evaluating reusability of core asset in product line engineering / J. Sun Her, J. Hyeok Kim, S. Hun Oh, S. Yul Rhew, S. Dong Kim // Information and Software Technology. – 2007. – No 49, pp. 740–760.
5. Biscoglio. Definition of Software Quality Evaluation and Measurement Plans: A Reported Experience Inside the Audio-Visual Preservation Context / I. Biscoglio, E. Marchetti – In Software Technologies: 9th International Joint Conference, ICSoft 2014. – CCIS 555, pp. 63–80.
6. ISO 25023:2016. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Measurement of system and software product quality – Revises ISO/IEC 9126-2:2003, ISO/IEC 9126-3:2003: introduced 31.03.2016. – ISO/IEC, 2016. – 45 p.
7. Говорушенко Т.О. Аналіз галузі оцінювання якості програмного забезпечення / Т.О. Говорушенко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. – Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – № 773. – С. 41–48.
8. S. Sugiyanto. Integration of DEMATEL and ANP methods for calculate the weight of characteristics software quality based model ISO 9126 / S. Sugiyanto, S. Rochiman. International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, ICITEE 2013. – pp. 143–148.
9. Т. Hovorushchenko. Ontological Approach to the Assessment of Information Sufficiency for Software Quality Determination / Т. Hovorushchenko, O. Pomorova // CEUR-WS, 2016. – vol. 1614, pp. 332–348.

Рецензія/Peer review : 30.9.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., завідувач Поморова О.В.

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТА НАВАНТАЖЕННЯМ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

У статті розглядаються питання аналізу моделей управління ресурсами та навантаженням каналів передачі в телекомунікаціях. Здійснено аналіз проблем створення та забезпечення ефективного функціонування, розглянуто механізми запобігання перевантаженню і відкидання пакетів на основі аналізу мережного трафіку. Такі телекомунікаційні мережі здатні до самоорганізації оскільки їх вузли є не тільки кінцевими терміналами, але і є ретрансляторами-маршрутизаторами, що ретранслюють пакети інших абонентів та беруть участь у знаходженні маршрутів до них. Проблема пропускної здатності їх каналів передачі є дуже актуальною.

Ключові слова: фіксована архітектура, телекомунікаційна система, пропускна здатність, змінна топологія, самоорганізація.

O.A.FILIPCHUK, Y. V.KHMELNITSKY
Khmelnitskyi National University

RESEARCH AND ANALYSIS BANDWIDTH IN TELECOMMUNICATIONS TRANSMISSION

The article deals with the study and analysis of packet creation of mobile telecommunications networks that do not have a fixed infrastructure - fixed network (Ad Hoc) and mobile subscribers (MANET). Such telecommunications networks are capable of self-organization, on how many units are not only end terminals, but are repeaters, routers that relay packets and other parties involved in finding routes to them. The problem of bandwidth channels is very important.

Keywords: fixed architecture, telecommunication system, bandwidth, variable topology, self-organization.

Вступ

Проблема створення і забезпечення ефективного функціонування та управління ресурсами та навантаженням каналів передачі телекомунікаційних систем досить часто постає перед організаціями та корпораціями із розвиненою розподіленою інфраструктурою. Вкладаючи свої кошти ці компанії сподіваються на якісну роботу таких інформаційних систем та очікують зменшення витрат на експлуатацію, зниження вартості обслуговування користувачів, що дозволить закласти основу для більш ефективної діяльності самої компанії та їх клієнтів. Клієнти своє бачення роботи такої структури погоджують із компанією на рівні вимог, до яких належать: вартість таких послуг, доступність та керуваність інфраструктури, цілісність даних, безпека, надійність. Досягнення такого рівня вимог користувачів із найменшими коштами та ресурсами становить сутність проблеми створення і забезпечення функціонування телекомунікаційної системи. Загалом таку комплексну інформаційну проблему розбивають на ряд проблем менших розмірів, хоча не набагато простіших. Однією із таких є проблема управління ресурсами і навантаженням телекомунікаційної системи. Тут необхідні гнучкі рішення, які ґрунтуються на оцінюванні та прогнозуванні стану ресурсів, обсягів навантаження і полягають у правильному балансуванні навантаження та ефективному розподілі ресурсів телекомунікаційної системи. Для прийняття коректних правильних рішень необхідні інструментарій та комплекси методик для вирішення задач підтримки інфраструктури телекомунікаційної системи. Створення такої структури становить достатньо важливу проблему, розв'язання якої вимагає досить глибокого розуміння процесів, які відбуваються в телекомунікаційних системах, функціонування інфраструктури, чіткої постановки конкретних задач аналізу та дослідження, розроблення нових математичних моделей та відповідних методів вирішення задач і реалізацію розроблених методик.

Постановка проблеми

У статті досліджуються та розглядаються питання вирішення задачі аналізу моделей управління ресурсами та навантаженням каналів передачі в телекомунікаційних системах. Необхідно проаналізувати моделі та алгоритми управління телекомунікаційною інфраструктурою організацій і підприємств з урахуванням завантаженості каналів передачі системи. Оскільки моделі залежать від багатьох чинників, то в статті буде проаналізована класифікація потрібних для реалізації системи управління інфраструктурою моделей і алгоритмів із урахуванням цих чинників як ознак класифікації. Потрібні моделі визначаються комбінаціями необхідних параметрів. Одна з ознак параметрів передбачає відмінність моделей у залежності від цілей роботи телекомунікаційної системи – управління інфраструктурою для підтримки власних процесів чи надання послуг зовнішнім клієнтам. Такий поділ буде впливати на вид критерію, який використовується у відповідній моделі. Іншою ознакою є технологічні особливості інфраструктури телекомунікаційної системи, які обумовлені архітектурою її побудови. Загалом ці ознаки будуть впливати на всі елементи моделі. Залежно від етапу життєвого циклу, на якому знаходиться телекомунікаційна система виникають різні задачі. Тому на етапі планування крім технологічних та ресурсних обмежень можуть використовуватись також і інші обмеження, наприклад вартість чи надійність. Рівень доступних ресурсів буде впливати на складність моделі задачі. Суттєво буде впливати на вид моделей остання ознака – це забезпечення ресурсами. У загальному вигляді необхідно проаналізувати моделі, що складаються з

критерію, який потрібно мінімізувати чи максимізувати, ресурсних обмежень, технологічних та інших обмежень. Це дасть змогу більш адекватно підлаштувати параметри до умов функціонування конкретної телекомунікаційної системи та дозволить зменшити час простою системи та уникнути передачі неінформативних даних.

Виклад основного матеріалу дослідження

Аналіз моделей, які використовуються для управління ресурсами і навантаженням інфраструктури в телекомунікаційних системах показує, що популярність набувають технології серверної віртуалізації, які дозволяють зменшити вартість придбання серверної частини структури та скоротити витрати на її утримання і використання. Аналіз показує це дає можливість «живої міграції» віртуальних машин між фізичними серверами та дозволяє отримати показники надійності рішень у кластерах.

По аналогії роботи [1], розглянемо задачу управління розподілом ресурсів для випадку серверної віртуалізації із можливістю міграції. Використовується декілька фізичних серверів S_i , $i = 1, \dots, n$, на яких під управлінням функціонують віртуальні машини V_j , $j = 1, \dots, m$ (рис. 1). Кожна із віртуальних машин в залежності від потоку клієнтських запитів використовує певну кількість ресурсів типу R_k , $k = 1, \dots, l$ (пропускна спроможність, пам'ять, процесорний час, дисковий простір).

У роботі [2] було введено необхідні для побудови моделей позначення:

r_{ki} – кількість ресурсу типу R_k , що встановлена на сервері S_i ;

p_{kj} – потреби V_j у ресурсах типу R_k ;

x_{ij} – булева змінна, яка визначає, чи встановлена віртуальна машина V_j на сервері S_i .

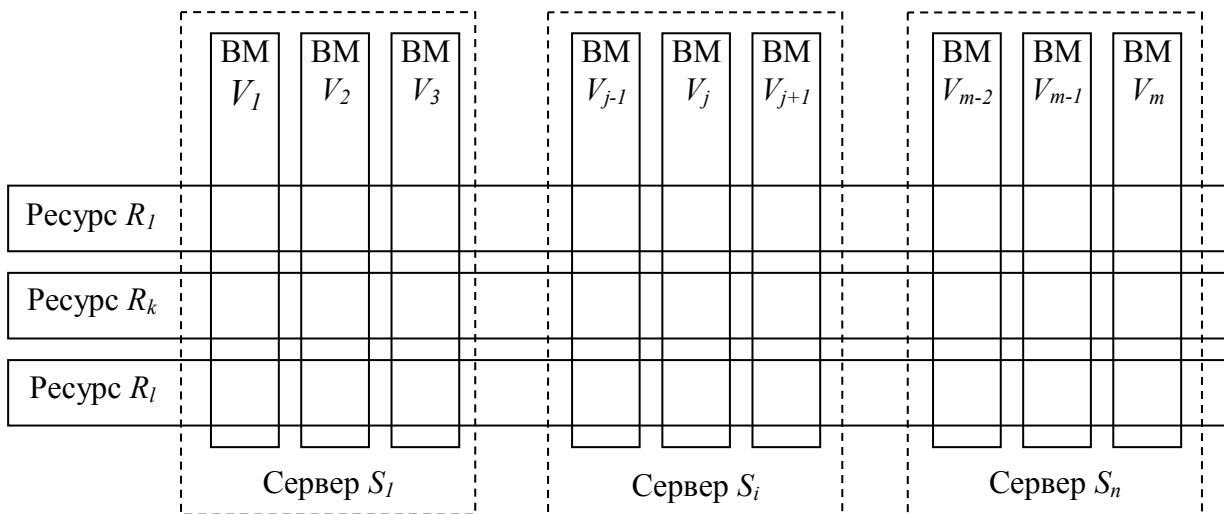


Рис. 1. Розподіл ресурсів серверів між віртуальними машинами

Тут кожна віртуальна машина одночасно розташована не більше, ніж на одному із серверів і має виконуватись наступна умова:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, m \quad (1)$$

Для нормального функціонування віртуальні машини повинні бути забезпечені достатнім обсягом ресурсів серверів, на яких вони розташовані:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} p_{kj} \leq r_{ki}, k = 1, \dots, l; i = 1, \dots, n \quad (2)$$

Для аналізу розглянемо розташування віртуальних машин у випадках нестачі та надлишку ресурсів представлених у роботі [2]. Якщо внаслідок збільшення клієнтських запитів потреба окремих віртуальних машин у ресурсах необхідного типу збільшилась настільки, що стає неможливим забезпечити усі віртуальні машини необхідною кількістю ресурсів, природним виходом стає задача підтримки найбільш важливих процесів шляхом забезпечення ресурсами тих віртуальних машин, на яких працюють найбільш необхідні сервіси.

Було позначено через w_j , $j = 1, \dots, m$, важливість застосувань, встановлених на віртуальних машин V_j .

Задача була сформульована наступним чином:

$$\max \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} w_j \quad (3)$$

при обмеженнях (1), (2).

Сутність удосконаленого полягає у наступному. По-перше, згідно з обмеженням (3), кожна VM може бути розташована не більше, ніж на одному сервері, тобто замість перебору 2^n комбінацій для кожної VM V_j , можна обмежитись розглядом лише $n+1$ варіантів: $y_j=0, \dots, n$, де y_j – номер сервера, на якому

встановлена ВМ V_j ($y_j=0$ у випадку, якщо внаслідок нестачі ресурсів ВМ V_j не встановлена на жодному сервері або ресурси для неї виділяються по залишковому принципу).

По-друге, враховуючи те, що вимоги ВМ у ресурсах p_{ij} є невід’ємними, якщо на якомусь з етапів побудови дерева варіантів розміщення ВМ по серверам одне з обмежень (4) перестає виконуватись, продовжувати побудову цієї гілки немає сенсу, оскільки для усіх її вузлів це обмеження також не буде виконуватись.

По-третє, слід врахувати те, що дуже часто при побудові серверних ферм використовують сервери з однаковою конфігурацією. Якщо, наприклад, є два ідентичних сервера, кількість можливих варіантів розміщення ВМ можна скоротити в 2 рази, оскільки перенесення усіх ВМ з першого сервера на другий, а з другого на перший ніяк не вплине на об’єм ресурсів, які використовуються. Тобто перестановка рядків у матриці $X = \|x_{ij}\|$, які відповідають однаковим стовпцям у матриці $R = \|r_{ki}\|$, ніяк не впливає ані на виконання обмежень (3), (4), ані на значення критерію (5). Так, наприклад, для випадку трьох ВМ і трьох ідентичних серверів з можливих 27 комбінацій розташування ВМ лише 5 є унікальними, а решта – 22 комбінації – «симетричними» до них. Тобто, навіть для таких незначних значень m і n початкову множину варіантів можна скоротити більше, ніж у 5 разів.

Алгоритм відбору варіантів для аналізу та його результати проілюстровані на рис. 2.

Для наочності буквами («А», «В», «С») позначені ВМ, цифрами (1, 2, 3) – номери серверів, комбінацією букви з цифрою – розміщення ВМ на сервері. Поруч з кінцевими результатами на рисунку перелічені комбінації, які є «дзеркальними» до них, тобто призводять до саме таких результатів і можуть бути виключені з аналізу. Алгоритм відбору варіантів при побудові дерева рішень задачі розташування ВМ полягає у наступному: на черговому рівні чергової гілки кількість серверів, що розглядаються, приймається на 1 більше, ніж максимальна для попередніх рівнів цієї ж гілки, але не більше ніж n .

Після того, як рішення знайдене, аналізуються усі рішення, симетричні до нього, і обирається те, яке призводить до найменшої кількості міграції ВМ між серверами у кластері.

У разі, якщо кількість наявних обчислювальних ресурсів суттєво перевищує потреби ВМ, природною стає задача розподілити ВМ між серверами таким чином, щоб зменшити енергоспоживання за рахунок вимкнення живлення серверів, які не використовуються на цей час [3].

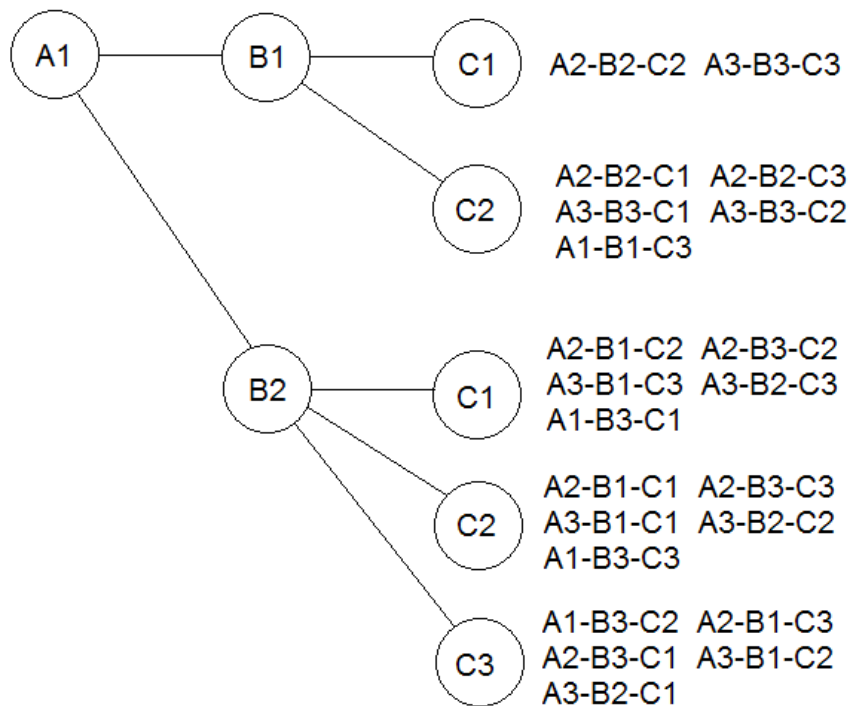


Рис. 2. Схема аналізу варіантів для випадку ідентичних серверів

Оскільки відключати сервери для економії електроенергії має сенс лише у тому випадку, коли у наявності є вільні ресурси (випадок, коли економічний ефект від бізнес-процесів не перевищує енерговитрати на живлення серверів не розглядається), модифікуємо обмеження (3), щоб гарантувати, що кожна ВМ буде забезпечена ресурсами одного і лише одного сервера:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, \dots, m \quad (4)$$

Позначимо через e_i енергоспоживання сервера S_i коли на ньому не працює жодної ВМ. Ознаку того, що на сервері S_i не працює жодної ВМ виразимо наступним чином:

$$d_i = \prod_{j=1}^m x_{ij}, j = 1, \dots, m \quad (5)$$

Тоді задачу мінімізації енергоспоживання можна сформулювати як задачу:

$$\max \sum_{i=1}^n d_i e_i \quad (6)$$

при обмеженнях (4), (6).

Для вирішення задачі 2 пропонується той же алгоритм, але зі спрощеною процедурою перебору, оскільки згідно з обмеженням (4) неможливі випадки, коли якась ВМ не розміщена на жодному сервері.

Висновки

У статті досліджено та проаналізовано забезпечення інформаційного потоку даних на основі протоколів реального часу. Проведено дослідження і визначено параметри при яких використання технології багато адресної передачі даних для IP-телебачення та відео конференцій дозволяє оптимізувати та збільшити продуктивність роботи телекомунікаційної мережі та зекономити ресурси смуги пропускання каналів передачі.

Література

1. Теленик С.Ф. Моделі і методи розподілу ресурсів в системах з серверною віртуалізацією / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов, О.А. Косован, О.І. Кобец // Зб. наук. праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – Київ : ВІТІ НТУУ «КПІ», 2009. – Випуск № 3. – С. 100–109.
2. Теленик С.Ф. Моделі управління віртуальними машинами при серверній віртуалізації / С.Ф. Теленик, А.І. Ролік, М.М. Букасов, А.Ю. Лабунський // Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К. : «ВЕК+», 2009. – № 51. – С. 147–152.
3. Хмельницький Ю.В. Система керування пристроями адаптивного діагностування / Ю.В. Хмельницький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – № 4 (137). – С. 127–131.

Рецензія/Peer review : 17.10.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Мясішев О.А.

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ СТИСНЕННЯ
ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

У статті розглядаються питання аналізу технологій стиснення інформації для розв'язання задач дослідження та удосконалення оптимального представлення інформації в телекомунікаційних системах за критеріями прийнятної якості наданих послуг. Забезпечення необхідної якості передачі інформації є важливою та складною проблемою в системах телекомунікації, адже за допомогою показників якості та коректності передачі даних оцінюється необхідна якість наданих послуг споживачам.

Ключові слова: технології стиснення, якість обслуговування, телекомунікаційна система, інформаційні технології, оптимізація.

A.V. RUBALKA, Y.V. KHMELNITSKY
Khmelnitskyi National University

ANALYSIS METHODS AND COMPRESSION TECHNOLOGIES IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

The article deals with the analysis of the data compression technology for solving research and improve the optimal presentation of information in telecommunication systems according to the criteria of acceptable quality of services provided. Providing the required quality of information transfer is an important and difficult problem in telecommunications systems, because with the help of quality and correctness of the data needed evaluated the quality of service to customers.

Keywords: compression technology, quality service, telecommunication system, information technology, optimization.

Вступ. Сьогодні ми спостерігаємо досить швидке збільшення кількості переданої інформації. Значний прогрес у галузі сучасних технічних засобів передачі інформації не встигає за потребами суспільства у такій інформації. Запровадження сучасних високопродуктивних телекомунікаційних систем передачі інформації потребує вкладення значних коштів. Тому використання існуючих інформаційних систем збереження та передачі інформації з максимальною ефективністю є важливим етапом економії ресурсів. Тому бажано представляти різнопланову існуючу інформацію значно меншою кількістю даних за рахунок кодування її з мінімальною інформаційною надмірністю. Ми зможемо зберегти значно більше інформації на тих же носіях, передавати по каналах передачі значно більше інформації за одиницю часу по каналу тієї ж пропускної здатності. Аналіз методів та засобів стиснення інформації показує, що лишилось ще багато невіршених проблем. Є питання щодо загальної класифікація сучасних алгоритмів стиснення інформації із врахуванням особливостей методів побудови моделей різних джерел інформації. Існують підстави для підвищення ефективності стиснення інформації регулярної структури – бази даних. Аналіз показує є можливість покращити побудову моделей та алгоритмів, що швидко пристосовуються до змін характеру будь-якої вхідної інформації. Аналіз показує, що ця проблема актуальна щодо сучасних комп'ютерних систем, де комбінуються в одному мультимедійному файлі різні інформації. Таким чином, аналіз технологій стиснення інформації для вирішення задач оптимального представлення інформації в системах, дає можливість удосконалити методи стиснення інформації та поліпшити адаптивність до інформації, характер якої швидко змінюється, є актуальною.

Постановка проблеми. Проведення аналізу технологій стиснення інформації дає можливість зробити висновок, що не дивлячись на велику кількість наявних методів стиснення інформації без втрат, все ще залишаються проблеми. На сьогодні існує великий розрив між вартістю кодування, що досягається універсальними методами стиснення інформації та теоретичною границею стиснення інформації. Сучасні алгоритми кодування за вартістю кодування орієнтовані на певні класи даних, і як правило, потребують зберігання великих словників, що практично є незручним. Сучасні ефективні методи серед наявних універсальних методів стиснення інформації дуже добре працюють на текстовій інформації, хоча на бінарній та змішаній інформації їх ефективність значно погіршується через недостатню їх адаптивність. Тому необхідно проведення аналіз у наступних напрямках досліджень. Провести аналіз методики порівняльної оцінки стискаючої здатності методів стиснення для різних класів вхідної інформації і алгоритмів стиснення. Проаналізувати можливості використання нових схем моделювання джерел інформації. Провести аналіз методів стиснення інформації, щодо підвищеної стискаючої здатності.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою систематизації досліджень по підвищенню стискаючої здатності схем стиснення проведемо аналіз класифікації наявних методів стиснення інформації. В основу класифікації покладено особливості моделей інформаційного джерела, що використовуються. Аналіз показує, що приведена класифікація відрізняється від раніше запропонованих більш повним об'ємом наявних методів стиснення, а також більш детальним урахуванням особливостей методів, що дає можливість класифікувати за їх різними підкласами ті методи, які раніше відносилися до одного класу.

Аналізуючи різні схеми стиснення інформації у роботі [1] була запропонована схема (рис. 1), де на відміну від класичної, міститься препроцесор вхідної інформації, який дозволяє розглядати всі існуючі практичні алгоритми стиснення як різновиди даної схеми.

Інша схема методів стиснення інформації [1] відносно алгоритму стиснення інформації де алгоритм декодування стисненої інформації має наступну структурну схему (рис. 2).

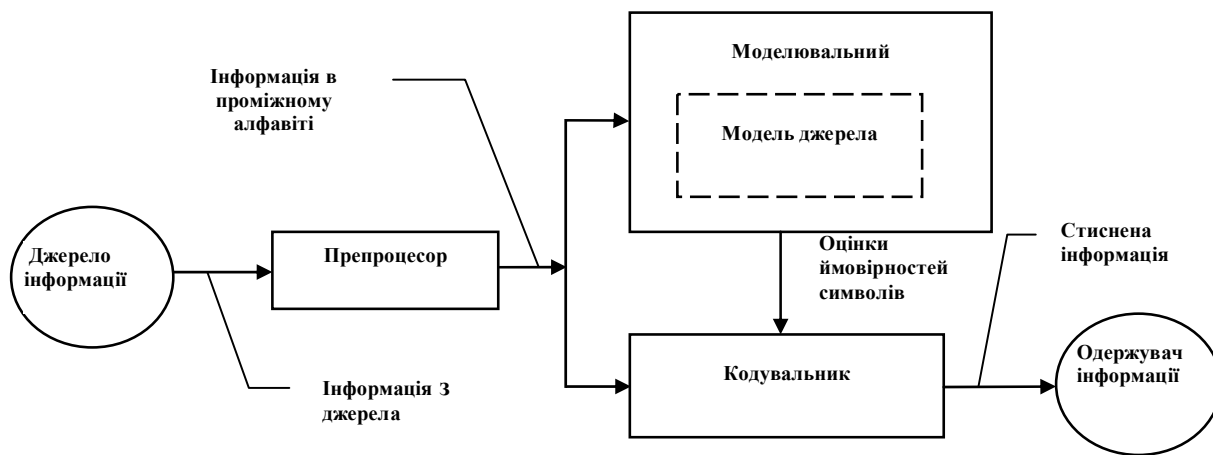


Рис. 1. Узагальнена схема методів стиснення інформації

Аналіз [2] показує, що в запропонованій схемі введені нові ознаки для класифікації моделей джерела інформації та препроцесорів інформації. Тому для моделей джерела інформації використовується порядок, адаптивність моделей та вхідний алфавіт моделювальний, а для препроцесорів використовується універсальний препроцесор або його орієнтованість на необхідну інформацію. На основі цих даних ознак класифіковані наявні методи моделювання джерела і побудови препроцесорів [1]. Аналіз показує, що із урахуванням схеми методів стиснення була запропонована класифікація існуючих практичних схем стиснення інформації. Така класифікація відрізняється від тих, що раніше пропонувалися більш широким охопленням різноманітних алгоритмів стиснення інформації. Для експериментального порівняльного оцінювання здатності практичних схем стиснення інформації та їх порівняння за цим показником були сформульовані вимоги для яких оцінка повинна задовольняти. Вони можуть включати монотонну залежність від розміру результуючого набору інформації (при фіксованому вхідному наборі), слабку залежність від експериментального набору інформації, фіксовані значення оцінки для тотожного перетворення інформації та «ідеальному» методі стиснення [1].

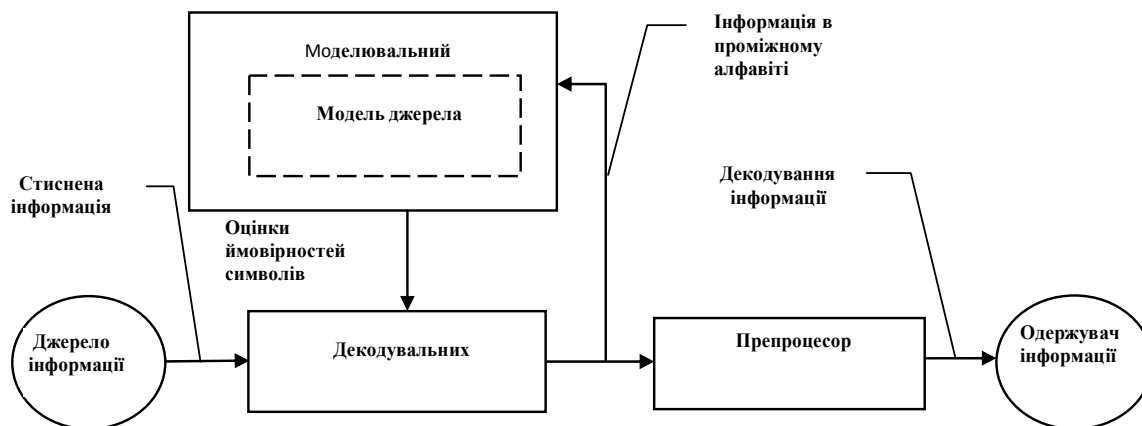


Рис. 2. Узагальнена схема алгоритмів декодування стисненої інформації

У роботі [2] розроблено схему експериментального оцінювання стискаючої здатності методів стиснення, що базується на новій введеній оцінці. Така схема передбачає оцінювання на декількох дослідних файлах інформації різних типів та виведення інтегральної оцінки шляхом обчислення середнього арифметичного одержаних оцінок для різної інформації. Ентропія цих дослідних наборів інформації попередньо оцінюється за описаною вище наведеною методикою. Аналіз показує, що наведена схема дозволила кваліфікувати методи стиснення даних по їх середній стискаючій здатності чи по стискаючій здатності на окремих класах інформації, а це дало можливість виявити найбільш перспективні методи стиснення та визначити першочергові напрямки в аналізі та дослідженнях із розробки найбільш ефективних схем стиснення інформації. Досліджуючи та аналізуючи отримані результати [2] бачимо найкращу ефективність наступних схем стиснення інформації. Це комбіновані словниково-статистичні методи LZH та LZAg (словниковий LZ77-розбір із без контекстною динамічною статистичною моделлю для отримання словникових посилань), які при досить великому розмірі словникового буфера (0,5–1 Мбайт і більше) відрізняються високою стискаючою здатністю і значною швидкістю та статистичний контекстуальний метод високого порядку ММКЗ (передбачення по часткових збігах), що відрізняється високою стискаючою здатністю на текстовій інформації. На основі методів стиснення LZH і LZAg була запропонована [2] схема оптимального LZ-розбору OptLZ. На відміну від схем що пропонувалися раніше, аналіз показує що дана схема розбору дозволяє мінімізувати довжину одержуваного коду для блоку інформації великого розміру при кодуванні послідовності отриманих словникових посилань за допомогою без контекстної імовірнісної

моделі. Сам алгоритм знаходження оптимального LZ77-розбору був заснований на застосуванні динамічного програмування та може працювати шляхом перебору можливих варіантів кодування поточного символу словниковими посиланнями різної довжини. Тому обирається варіант словникового розбору, що доставляє мінімум сумарної вартості кодування від першого символу вхідного потоку до поточного. Таким чином оптимальність одержаного кодування в класі подібних кодувань з різними варіантами LZ77-розбору була доведена. Досліджено та проаналізовано експериментальне порівняння цього запропонованого методу із відомою схемою «жадібного розбору» продемонструвало перевагу даного методу на 0,3–13% у розмірі стиснутої інформації але в залежності від типу вхідної інформації [2]. Аналіз показує, що для підвищення стискаючої здатності та адаптивності методів стиснення, які використовують контекстуальні моделі високого порядку, у роботі [1] запропоновано багато модельний підхід. Там на його базі були розроблені нові схеми моделювання, що відрізняються від відомих використанням кількох конкуруючих моделей.

При аналізі різних методів стискування було також розглянуто потоки відео інформації в телекомунікаційних системах [3]. Проведений аналіз показує, що середній об'єм відео інформаційного потоку для різних форматів зображень може досягати порядку 10 Гбіт/с. У разі передачі відео інформаційних потоків, які формуються зображеннями високої роздільної якості, час доставки збільшується на кілька порядків (рис. 3). Проте зрозуміло, що телекомунікаційна система повинна мати послуги з гарантованою якістю. Для міжнародних інформаційних систем це норма, яка зафіксована міжнародним стандартом. Згідно стандарту, якість надання послуги в системі, це інтегральний корисний ефект від надання послуги, що визначається ступенем задоволення потреб користувача цієї послуги в інформаційній системі. Враховуючі ці критерії, необхідно оцінити якість послуг у кількісних показниках властивостей відеоданих. Таким чином, критерій якості надання послуг також повинні мати вигляд певних характеристик, функцій та функціоналів від показників властивостей послуг. Зрозуміло, що час обробки, доставки й висвітлення відеоданих є базовим показником якості. Розглянемо рис. 3, де наведено оцінки часу передачі не стиснених зображень згідно показників QoS. Час передачі досягає декількох сотень секунд в той час як необхідний час доставки одного кадру не повинен перевищувати декількох мілісекунд [4].

Для того щоб задовольнити дані вимоги, телекомунікаційна система повинна володіти значно

якіснішими властивостями [4]. Отже, можна підсумувати наступне, всі існуючі технології доставки відеоінформації як для транспортних мереж, так і для телекомунікаційних мереж доступу не забезпечують час передачі в допустимих часових інтервалах. Часові затримки щодо передачі відеоданих перевищують допустимі часові затримки від одиниць до десятків разів. Аналіз методів та технологій стиснення інформації в телекомунікаційних системах показує, що необхідно організувати зниження обсягів зображень, переданих телекомунікаційними мережами, а це дозволяє вирішити проблему ефективного використання мережевих ресурсів та забезпечити необхідну якість обслуговування користувача інформаційних послуг.

Висновки

У статті проаналізовано деякі методи та технології стиснення інформації в телекомунікаційних системах для забезпечення інформаційного потоку даних на основі протоколів реального часу. Досліджено та проаналізовано параметри при яких використання технології стискування інформації передачі відео даних дозволяє оптимізувати та збільшити продуктивність роботи телекомунікаційної мережі та зекономити ресурси смуги пропускання каналів передачі.

Література

1. Ленков С.В. Алгоритмы и принципы сжатия информации / С.В.Ленков, В.А. Хорошко, Н.Н. Браиловский, Н.Н. Блавацкая // 36. наук. праць Військового інституту КНУ ім. Т. Шевченка. – 2008. – № 14. – С. 137–141.
2. Блавацкая Н.Н. Оптимизация адаптивности методов сжатия информации / Н.Н. Блавацкая // Захист інформації. – 2009. – № 2. – С. 101–106.
3. Хмельницький Ю.В. Система керування пристроями адаптивного діагностування / Ю.В. Хмельницький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – № 4 (137). – С. 127–131.
4. Юдін О.К. Оцінка характеристик технології компресії зображень / О.К. Юдін, Ю.П. Бойко // Наукоємні технології. – 2014. – № 4 (24). – С. 84–89.

Рецензія/Peer review : 5.9.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Мясіщев О.А.

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕРМІНІВ ПРОВЕДЕННЯ ЗАХОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ І РІЗНОРІДНИХ ЗА СКЛАДОМ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У даній статті наведено методуку планування термінів проведення адаптивних заходів технічної експлуатації багатофункціональних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення, що ґрунтується на статистико-ймовірнісній моделі правильного функціонування конкретного об'єкта. Одержані графічно характерні тенденції ймовірності правильного функціонування складних радіотехнічних систем при послідовному прибутку апостеріорної інформації та з використання одержаних рекурентних співвідношень, обґрунтовані терміни проведення регламентних перевірок для досліджуваних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення. Визначено показник оптимальності, за яким передбачено вибір плану адаптивних перевірок стану складних радіотехнічних систем.

Ключові слова: ймовірність правильного функціонування; прибуток апостеріорної інформації; адаптивні заходи технічної експлуатації; статистико-ймовірнісні моделі.

J.A. BABIY

National Academy of State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Ukraine

THE RATIONALE FOR THE TIMING OF THE EVENTS MAINTENANCE MULTIFUNCTIONAL AND HETEROGENEOUS COMPOSITION OF RADIO SYSTEMS AND COMPLEXES OF SPECIAL PURPOSE

The work is devoted to analysis of the current fundamental scientific and methodological basis in the operation of complex systems, as shown approaches to the construction and implementation of systems operating as radio systems and special purpose systems that are diverse in purpose and design solution and developed enough. The assertion that happened in the theory and practice of complex technical systems operation as a whole, shows the problem of increasing the effectiveness of the operation of radio systems and systems for special purposes. The urgency of this problem is the development of mathematical models and methods of information and analytical support systems operating as radio systems and special purpose facilities; methods of evaluating the effectiveness of preventive and remedial measures are already operating as scientific and technical justification rational measures the frequency of operation for the condition. This paper shows the methodology of planning the timing of adaptive management technical operation of multi-radio systems and special purpose systems based on statistical and probabilistic models proper functioning of a particular object. Obtained graphically tends probability of correct functioning of complex radio systems with consistent profits posterior information and the use of proceeds of recurrent relations, reasonable terms for routine checks studied radio systems and systems for special purposes. Optimal rate determined by the choice plan which provides for inspections of complex adaptive radio systems.

Keywords: probability of correct functioning; income posterior information; adaptive measures technical operation; statistical and probabilistic models.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Переважна більшість багатофункціональних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення (РТС і КСП) (до складу яких можуть входити: базовий автомобіль, радіолокаційна система, тепловізійна система, засоби оптичного та оптико-електронного спостереження, а також інформаційно-комунікаційні засоби, що володіють потужними обчислювальними ресурсами для вирішення складних завдань) використовується, як правило, в циклічно-регулярному режимі. До таких систем загальноприйнятою у даний час є концепція планово-попереджувального проведення профілактико-відновлювальних заходів (технічного обслуговування і ремонту).

Вказана концепція, хоча і не погано зарекомендувала себе на практиці експлуатації багатофункціональних РТС і КСП, але не завжди відповідає процесу зміни їх технічного стану, що є наслідком її організації в основному по календарному принципу незалежно від індивідуального стану виробів.

При цьому, слід зауважити, що притаманний існуючій системі експлуатації жорсткий по часу та обсягу відповідних організаційно-технічних заходів план технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) складений з урахуванням гарантованого результату, тобто для найгіршого випадку, тому, як свідчить аналіз досвіду експлуатації багатофункціональних РТС і КСП, є надлишковим як з точки зору періоду взаємодії системи експлуатації з відповідними об'єктами, так і з точки зору обсягу заходів ТО і Р, більшість з яких є зайвими в конкретній ситуації технічного стану певного виробу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Аналіз існуючих підходів до побудови та реалізації системи експлуатації РТС і КСП за станом показав, що в рамках даної області, які найбільш вивчені, на перший план висуваються роботи Барзиловича Е.Ю., Воскобоева В.Ф., Каштанова В.Н., Дедкова В.К., Северцева Н.А., Креденцера Б.П., Смірнова Н.Н., Іцковича А.А., в яких розроблені фундаментальні теоретичні основи експлуатації техніки широкого використання.

В основу вирішення більшості завдань теорії і практики експлуатації на сучасному етапі покладені ймовірнісно-статистичні методи, викладені в роботах, перелік яких приведений вище. При цьому, виникає

проблема оцінки коректності, точності і ризику вживаних рішень, що визначають концепцію експлуатації.

Метою статті являється перегляд існуючих і обґрунтування, на базі отриманої в ході статистико-ймовірнісної моделі, раціональних термінів проведення заходів технічного обслуговування багатофункціональних і різнорідних за складом радіотехнічних систем і комплексів спеціального призначення.

Виклад основного матеріалу дослідження. На думку автора, загальним недоліком, який притаманний всім режимам експлуатації багатофункціональних РТС і КСП, що ґрунтуються на планово-попереджувальній концепції, є те, що інформація відносно процесу зміни їх технічного стану, на основі якої складаються та реалізуються плани експлуатації, накопичена до моменту вибору правил управління, тобто є апріорною [1]. Такий підхід щодо інформаційного забезпечення процесу експлуатації багатофункціональних РТС і КСП обумовлює наявність вказаних вище недоліків.

При цьому, слід також зауважити, що апріорна інформація є статичною, тобто не відображає еволюцію (деградацію) процесу зміни технічного стану виробів. Статичність інформації приводить до того, що управління технічним станом певних багатофункціональних РТС і КСП за допомогою профілактико-відновлювальних заходів (ПВЗ) здійснюється тільки по положенню, тобто без урахування динаміки розвитку процесу зміни їх технічного стану. Використання тільки апріорної інформації, яка характеризує технічний стан багатофункціональних РТС і КСП, обумовлює детермінованість правил управління ними, а також жорсткість концепції експлуатації та алгоритму взаємодії з об'єктами, що експлуатуються.

Такий підхід до інформаційного забезпечення системи технічної експлуатації багатофункціональних РТС і КСП, на мій погляд, не сприяє реалізації їх потенційного рівня надійності та готовності до використання. Таким чином, реалізація планів ТО і Р на основі неповної і не завжди достовірної інформації щодо реального технічного стану об'єктів призводить до відсутності адекватних заходів технічної експлуатації, що не сприяє збереженню, економічній (раціональній) витраті ресурсу виробів, що експлуатуються, а також своєчасному їх відновленню.

Викладене дозволяє заключити, що одним з найбільш ймовірних напрямів досягнення відповідності між поточним рівнем технічного стану багатофункціональних РТС і КСП і адекватним йому об'ємом ПВЗ, з метою реалізації потенційної довговічності цих засобів, є вдосконалення системи експлуатації шляхом використання апостеріорної інформації щодо їх поведінки на підставі котрої можлива реалізація концепції експлуатації за станом [1, 2].

Організація експлуатації багатофункціональних РТС і КСП за станом висуває необхідність планування заходів ТО і Р за станом відповідних об'єктів. З цією метою автором запропонована методика планування термінів проведення адаптивних ПВЗ, що ґрунтується на статистико-ймовірнісній моделі правильного функціонування відповідного об'єкта [1, 2]. У загальному випадку імовірність правильного функціонування має наступний вигляд:

$$P_{n\phi}(t) = P_1(t)P_2(t) = \prod_{i=1}^n P_{1i}(t)P_{2i}(t), \quad (1)$$

де $P_{1i}(t)$ – імовірність того, що значення визначальних параметрів i -ї функціональної системи багатофункціональних РТС і КСП на протязі часу t не вийдуть за встановлені нормативно-технічною документацією межі; $P_{2i}(t)$ – імовірність того, що за час t в i -й функціональній системі

багатофункціональних РТС і КСП не відбудеться раптової відмови, при цьому $i = \overline{1, n}$; n – кількість функціональних систем експлуатації багатофункціональних РТС і КСП (для багатофункціональних РТС і КСП, що розглядаються в даній статті, прийнято: $n = 9$).

Викладена в [3] теоретико-статистична обробка варіаційних рядів спостережень часу правильного функціонування багатофункціональних РТС і КСП певного типу дозволяє на підставі виразу (1) імовірність їх правильного функціонування представити у наступному вигляді:

$$P_{n\phi}(t) = e^{-0,00323t-0,001t} = e^{-0,00423t}. \quad (2)$$

Сутність запропонованої автором методики планування термінів проведення профілактико-відновлювальних заходів полягає в прогнозуванні часу t_{k+1} проведення $k+1$ -го виду ТО в залежності від часу t_k попереднього k -го виду обслуговування й апостеріорної імовірності правильного функціонування РТС і КСП у точці t_k . Прийемо, що встановлено мінімально допустимий рівень правильного функціонування РТС і КСП такий, що $P_{n\phi}(t) = P_0$. У цьому випадку, для прогнозування часу проведення заходів ТО, з метою забезпечення необхідного рівня P_0 , скористаємось виразом:

$$t_1 = -\frac{1}{0,00423} \ln P_0. \quad (3)$$

Прийемо час t_1 (рис. 1) терміном першої регламентної перевірки об'єкта, якою передбачається визначення рівня технічного стану i -ї функціональної системи експлуатації у сенсі її правильного функціонування.

Також слід прийняти, що у призначений момент t_1 не відбулося раптової відмови РТС і КСП, а виміри визначальних параметрів i -ї функціональної системи показали, що їх значення знаходяться у

встановлених межах. У цьому випадку, замість апіорної імовірності правильного функціонування, що представлена наступним виразом (2) на момент t_1 варто розглядати апостеріорну імовірність:

$$P_i = e^{-(0,00323 - \lambda_i)t_1}, \quad (4)$$

де λ_i – інтенсивність раптових відмов i -ї функціональної системи експлуатації. В цьому випадку прибуток імовірності: $\Delta P = P_i - P_0$, сприятиме прибутку Δt_1 фактичного часу t_1 перебування системи експлуатації РТС і КСП у стані правильного функціонування, яким визначається термін наступної регламентної перевірки:

$$t_2 = t_1 + \Delta t_1, \quad (5)$$

що у графічному вигляді представлено на рис. 1. При цьому,

$$\Delta t_1 = t_\phi - t_1, \quad (6)$$

де t_ϕ – фіктивний час, що визначається рівнянням:

$$t_\phi = \frac{(0,00323 - \lambda_i)t_1}{0,00423}. \quad (7)$$

Фізичний сенс фіктивного часу, що представлено виразом (7) пояснимо за допомогою рис. 1.

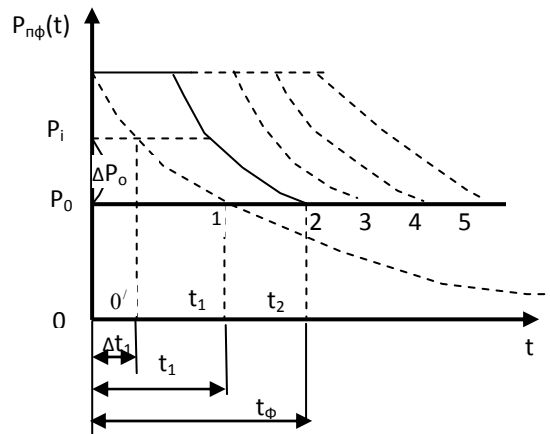


Рис. 1. Характерні тенденції ймовірності правильного функціонування системи експлуатації РТС і КСП при послідовному прибутку апостеріорної інформації

З рис. 1 видно, що тенденція імовірності правильного функціонування системи експлуатації РТС і КСП, відповідно виразу (2), проходить через точку (t_1, P_0) . У випадку перебування системи експлуатації в стані правильного функціонування на момент t_1 необхідно та достатньо змістити фактичний початок її роботи в деяку фіктивну точку $0'$ на відстань Δt_1 , спираючись на те, що в проміжку $(0, \Delta t_1)$ системи експлуатації РТС і КСП функціонувала правильно. При цьому, збільшенню імовірності $\Delta P = P_i - P_0$ буде відповідати збільшення часу Δt_1 , яким визначається термін наступної регламентної перевірки t_2 , тобто: $t_2 = t_1 + \Delta t_1$. Аналогічно для t_3, t_4 і т.п. На підставі вихідних даних, що отримані в [4], терміни проведення регламентних перевірок для досліджуваних РТС і КСП (за умови відсутності раптових відмов), визначаються на підставі наступних рекурентних співвідношень:

$$\begin{cases} t_1 = -\frac{\ln P_0}{0,00423}; \\ t_{k+1} = t_k \left(1,24 + \frac{\lambda_k}{0,00423}\right), k = \overline{1,8}, \end{cases} \quad (8)$$

де t – час, виражений у годинах.

Перевірка спроможності виразу (8) проведена на підставі значень інтенсивностей виходу значень визначальних параметрів функціональних систем експлуатації РТС і КСП за встановлені межі, що представлені у табл. 1.

На підставі розрахунків, що проведені на базі виразу (8), з використанням вихідних даних, що представлені в табл. 1, отримані значення термінів проведення регламентних перевірок функціональних систем відповідних РТС і КСП, які зведені у табл. 2.

Таблиця 1

Значення інтенсивностей параметричних відмов функціональних систем експлуатації РТС і КСП

Функціональна система експлуатації РТС і КСП	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
Інтенсивність параметричних відмов (λ_i , 1/год.)	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 2

Розрахунковий час регламентних перевірок функціональних систем експлуатації РТС і КСП

Порядковий номер перевірок	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Функціональна система експлуатації РТС і КСП	X_2	X_3	X_5	X_8	X_4	X_7	X_1	X_9	X_1
t , год.	53	74	92	110	127	145	161	177	191

У табл. 2 значення t розраховано за умови: $P_0=0,8$. При цьому, слід зазначити, що десятою регламентною перевіркою передбачається повна перевірка і технічне обслуговування всіх функціональних систем експлуатації РТС і КСП. Розрахунковий час цієї перевірки складає близько 200-210 год., після чого представлений в табл. 2 цикл повторюється в аналогічній послідовності.

Залежно від ресурсних обмежень і обставинки, що складається у певному секторі радіотехнічного спостереження, у викладеній методиці адаптивного планування заходів технічної експлуатації можуть бути передбачені дво-, трьох-, та k -системні перевірки. Вибір оптимального плану адаптивних перевірок технічного стану визначається певним показником оптимальності, що запропоновано автор у наступному вигляді:

$$W = \tau_{cpad} / \tau_{cp}, \tag{9}$$

де τ_{cpad} – середній час напрацювання до повної відмови системи експлуатації РТС і КСП, що обслуговується в терміни визначені на підставі виразу (8); τ_{cp} – середній час наробітку до повної відмови системи експлуатації РТС і КСП, що обслуговується за планово-попереджувальною концепцією.

Результати моделювання показали, що найбільш раціональним планом є послідовність багатосистемних перевірок системи експлуатації РТС і КСП наступного виду:

$$\begin{aligned} X_2(53) \rightarrow (X_2, X_3)(74) \rightarrow (X_2, X_3, X_5)(101) \rightarrow (X_2, X_3, X_5, X_8)(133) \rightarrow (X_2, X_3, X_5, X_8, X_4)(171) \rightarrow \\ \rightarrow (X_2, X_3, X_5, X_8, X_4, X_7)(213) \rightarrow (X_2, X_3, X_5, X_8, X_4, X_7, X_1)(258) \rightarrow \\ \rightarrow (X_2, X_3, X_5, X_8, X_4, X_7, X_1, X_9)(307) \rightarrow (X_2, X_3, X_5, X_8, X_4, X_7, X_1, X_9, X_6)(359). \end{aligned} \tag{10}$$

Послідовність (10) представлені сукупності функціональних систем експлуатації РТС і КСП, що підлягають регламентним перевіркам і час їх проведення.

Висновки. У даній статті наведено методику планування термінів проведення заходів технічної експлуатації багатofункціональних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення, що ґрунтується на статистико-ймовірнісній моделі правильного функціонування конкретного об'єкта. Одержано графічно характерні тенденції ймовірності правильного функціонування складних радіотехнічних систем при послідовному прибутку апостеріорної інформації та з використання одержаних рекурентних співвідношень, обґрунтовані терміни проведення регламентних перевірок для досліджуваних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення. Визначено показник оптимальності за яким передбачено вибір плану адаптивних перевірок стану систем експлуатації РТС і КСП.

Дотримання алгоритму, що рекомендується автором у статті, гарантує високі значення критерію оптимальності $W=1,8-3$, чим забезпечується збільшення значень показників надійності відповідних систем експлуатації РТС і КСП в середньому на 16–20%.

Література

1. Барзилович Е. Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию / Е. Ю. Барзилович, В. Ф. Воскобоев. – М. : Транспорт, 1981. – 196 с.
2. Смирнов Н. Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по техническому состоянию / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. – М. : Транспорт, 1980. – 232 с.
3. Барзилович Е. Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович, В. Н. Каштанов. – М. : Сов. радио, 1971. – 272 с.
4. Зубарев В. В. Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем : монография. / В. В. Зубарев, А. П. Ковтуненко, Л. Г. Раскин. – К. : Книжное изд-во НАУ, 2005. – 184 с.

**ФАЗОЧАСТОТНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК В РОТАЦІЙНОМУ ВІСКОЗИМЕТРІ**

В роботі розроблено математичну модель, яка описує процес вимірювання реологічних характеристик (РХ) ротаційним віскозиметром (РВ), що дає можливість їх визначення через значення повного фазового зсуву (ПФЗ), виміряне фазочастотним перетворювачем, та значення частоти обертання сприймаючого елемента, задане оператором. На основі математичної моделі створений алгоритм процесу вимірювання РХ розробленим РВ, що дає можливість розробити новий клас РВ і підвищити точність вимірювання РХ речовин, в яких відсутній ефект релаксації і післядії.

Ключові слова: динамічна в'язкість, кут фазового зсуву, повний фазовий зсув, ротаційний віскозиметр, реологічна характеристика, фазовий цикл, фазочастотний перетворювач.

V.S. PETRUSHAK, O.M. VODYANIY
Khmelnitsky National University

**PHASE-FREQUENCY METHODS OF MEASURING RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS IN ROTARY
VISCOMETER**

In the article the mathematical model that describes the process of measuring the rheological characteristics rotary viscometer, which enables them to determine because of the full phase shift measured phase-frequency converter and the frequency of rotation perceiving the element set by the operator. Based on a mathematical model created algorithm of measuring rheological characteristics designed rotary viscometer that makes it possible to develop a new class of rotary viscometers and improve measurement accuracy rheological characteristics of materials in which there is no effect and after-effect relaxation.

Keywords: angle of phase shift, complete phase shift, dynamic viscosity, rotary viscometer, rheological characteristic, phase cycle, phase-frequency converter.

Вступ

Вимірювання реологічних характеристик пов'язане з такими галузями виробництва як нафтова, металургійна, медична та хімічна промисловості. За результатами дослідження реологічних характеристик рідини можна зробити певні висновки щодо її складу і поведінки за певних умов. Зокрема можна зробити аналіз крові, спинномозкової рідини, що дало б уявлення про однорідність, склад рідини і навіть зробити певні висновки про стан здоров'я людини.

У лакофарбовій промисловості вимірювання реологічних характеристик речовин надає можливість визначення їх стану: густого або рідкого. Текучість має важливе значення під час нанесення лакофарбового матеріалу на виріб. Саме від цього параметру залежить якість покриття та кількість витраченого матеріалу. Застосування фазочастотного методу у різноманітних галузях науки та техніки досить широке. Це зумовлено високими метрологічними характеристиками і інформаційною ємністю таких параметрів, як кут фазового зсуву (КФЗ) – φ та частота сигналу – f . Завдяки цьому частотні та фазові вимірювання завжди використовувались в наукових дослідженнях різних галузей науки і техніки, де первинний інформаційний параметр намагаються перетворити на частоту або фазу електричного сигналу, які забезпечують найвищий рівень точності вимірювань у порівнянні з амплітудними методами.

Використання в ротаційних віскозиметрах [1] теорії фазочастотних вимірювань і перетворень дозволяє створити універсальні прилади з високою точністю, розширеним динамічним діапазоном та високим ступенем автоматизації.

Експериментальна частина

В основу ротаційного віскозиметра з фазочастотним перетворенням інформативного параметру [2] покладено вимірювання повного фазового зсуву за інтервал часу рівний часу розгортки кута закручування торсіону відносно корпусу і перетворенні вимірюваного фазового зсуву у відповідне значення реологічної характеристики рідини. Структурна модель такого ротаційного віскозиметра зображена на рис. 1.

Складається такий ротаційний віскозиметр з механічного перетворювача, який забезпечує перетворення реологічної характеристики у кут закручення торсіону з первинного перетворювача, що забезпечує перетворення значення кута закручення торсіону у електричний сигнал прямокутної форми; з фазочастотного перетворювача, який здійснює перетворення значення кута закручення торсіону у значення повного фазового зсуву; фіксатора часу вимірювання, що встановлює час вимірювання реологічної характеристики перетворювача "ПФЗ - РХ", який здійснює перетворення значення повного фазового зсуву у значення реологічної характеристики і відображення його на екрані монітору. Крім того до складу механічного перетворювача входить посудина з дослідною речовиною, сприймаючий елемент, торсіон, двигун.

Під дією в'язкісного опору дослідної речовини обертові рухи сприймаючого елемента зменшуються. Виникаючий крутний момент закручує торсіон, причому величина вимірюваної реологічної

характеристики пропорційна ступеню закручування торсіону або, що теж саме, зсуву фази між сигналами з сенсорів 1 і 2.

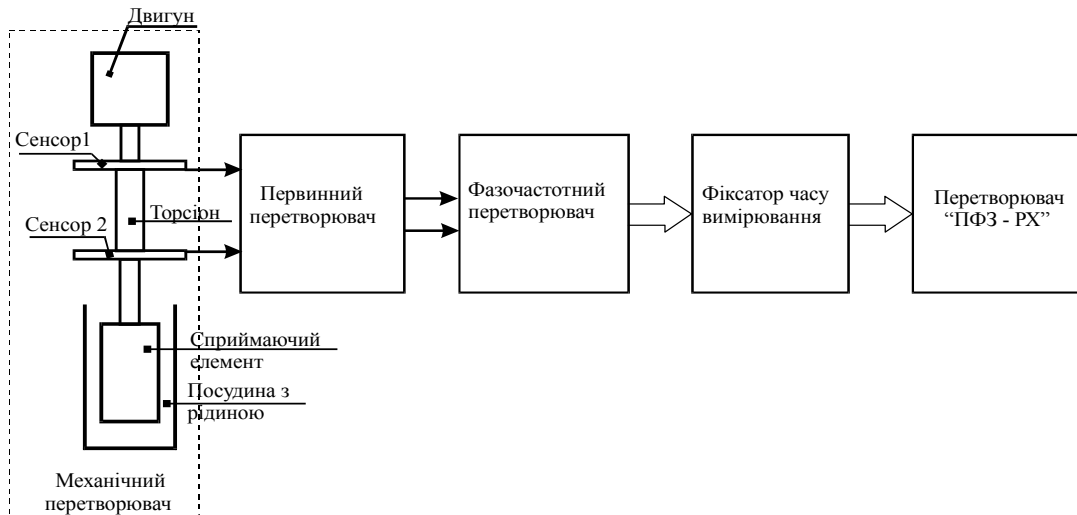


Рис. 1. Структурна модель ротаційного віскозиметра з фазочастотним перетворенням інформативного параметра

Величина зсуву фази між сигналами з сенсорів 1 та 2 визначається за допомогою фазового перетворювача. На виході фазового перетворювача маємо цифрову послідовність Y_i . За допомогою фіксатора часу вимірювання визначається максимальне значення фазового зсуву і встановлюється точний час вимірювання реологічної характеристики. Після чого відповідне значення фазового зсуву перетворюється у відповідне значення реологічної характеристики. Таким чином за час вимірювання, рівний часу розгортки торсіону, проводиться операція визначення фазового зсуву.

В даному випадку до математичної моделі такого ротаційного віскозиметра увійде математична модель, що описує двигун, математична модель, що описує торсіометричний перетворювач, математична модель, що описує процес вимірювання ПФЗ, математична модель, що описує процес обертання сприймаючого елемента і математична модель рідини, яка безпосередньо враховує її властивості. Якщо брати до уваги те, що в даному РВ використовується двигун постійного струму незалежного збудження, то його можна описати наступною системою диференціальних рівнянь [3]:

$$\begin{cases} \frac{di_d(t)}{dt} = \frac{1}{L_{я}} \cdot u_d(t) - \frac{c}{L_{я}} \cdot \omega(t) - \frac{R_{я}}{L_{я}} \cdot i_d(t), \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{c}{J} \cdot i(t) - \frac{1}{J} \cdot M_c, \end{cases} \quad (1)$$

де $i_d(t)$ – миттєве значення струму якорю;

$L_{я}$ – індуктивність якірного кола;

$u_d(t)$ – миттєве значення випрямленої напруги;

c – постійна двигуна;

$R_{я}$ – активний опір якірного кола;

$\omega(t)$ – миттєве значення швидкості обертання ротору двигуна;

M_c – момент двигуна.

Математична модель, що описує торсіометричний перетворювач може бути представлена як протидійний момент, зумовлений пружними властивостями торсіону:

$$M_T = -C[\varphi_M(t) - \varphi_{СП}(t)], \quad (2)$$

де C – пружність матеріалу з якого виготовлений торсіон;

$\varphi_M(t)$ – функція, що описує кут повороту двигуна, тобто верхнього кінця торсіону;

$\varphi_{СП}(t)$ – функція, що описує кут повороту сприймаючого елемента, тобто нижнього кінця торсіону.

Математична модель, що описує процес обертання сприймаючого елемента може бути задана співвідношенням:

$$M_{СП} = \frac{d^2\varphi_{СП}(t)}{dt^2} J, \quad (3)$$

де J – момент інерції сприймаючого елемента.

Математична модель рідини, яка безпосередньо враховує її властивості може бути представлена законом Ньютона для течії в'язкого середовища, якщо досліджується ньютонівська рідина.

Що стосується процесу вимірювання ПФЗ, то необхідно детально розглянути процес вимірювання РХ за допомогою РВ. У випадку, коли рідина в зазорі відсутня сприймаючий елемент обертається

синхронно з валом двигуна і кут закручення торсіону рівний нулю, а кутова швидкість оберту валу двигуна рівна $\omega_1(t)$ на інтервалі $(0; t_1)$, а на інтервалі $(t_1; \infty)$ кутова швидкість обертання валу двигуна буде постійною і рівною ω_0 .

Як правило, значення t_1 залежить від того, як швидко встановлюється кутова швидкість оберту валу двигуна і матиме різне значення t_1 для різних значень ω_0 , як це показано на рис. 2. Кутова швидкість оберту валу двигуна задається оператором під час вимірювання.

За інтервал часу $(0; t_1)$, коли в зазорі відсутня рідина фазовий зсув буде рівний нулю і відповідно значення реологічної характеристики також буде рівне нулю. У випадку наявності рідини в зазорі починається обертання валу з сенсором 1 (рис. 1) на верхньому кінці торсіону, сигнал з сенсора 2 на нижньому кінці торсіону, жорстко прикріпленого до сприймаючого елемента, завдяки в'язкісному тертю, починає відставати по фазі від сигналу з сенсора 1. В цей момент починається наростання фази і збільшення значення кута закручування торсіону відносно корпусу, це буде продовжуватись до того часу t_2 (рис. 2), поки кутова швидкість обертання сприймаючого елемента не стане рівною ω_0 . Кутова швидкість обертання сенсора 1 на інтервалі часу $(0; t_1)$ буде рівна $\omega_1(t)$, а на інтервалі часу $(t_1; \infty)$ буде постійною і рівною ω_0 . Кутова швидкість обертання сенсора 2 на інтервалі часу $(0; t_2)$ буде рівна $\omega_2(t)$, а на інтервалі часу $(t_2; \infty)$ буде постійною і рівною ω_0 , як це показано на рис. 3.

В цей момент починається наростання фази і збільшення кута закручування торсіону відносно корпусу, це буде продовжуватись до того часу t_2 (рис. 3),

поки кутова швидкість обертання сприймаючого елемента не стане рівною ω_0 . Кутова швидкість обертання сенсора 1 на інтервалі часу $(0; t_1)$ буде рівна $\omega_1(t)$, а на інтервалі часу $(t_1; \infty)$ буде постійною і рівною ω_0 . Кутова швидкість обертання сенсора 2 на інтервалі часу $(0; t_2)$ буде рівна $\omega_2(t)$, а на інтервалі часу $(t_2; \infty)$ буде постійною і рівною ω_0 як це показано на рис. 3.

Оскільки інформативним параметром, який необхідний для подальших перетворень є частота сигналу, то можна зауважити, що вона пропорційна кутовій швидкості обертання валу двигуна і визначається за формулою:

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi \cdot n}, \quad (4)$$

де n – коефіцієнт, що враховує конструкційні особливості сенсора.

Необхідно також зауважити, що всі дослідження реологічних характеристик відбуваються за умови, що швидкість обертання валу двигуна постійна, тобто $\omega = \omega_0 = const$. Відповідно будемо розглядати всі наступні процеси з моменту часу t_2 , коли швидкість обертання валу двигуна і сприймаючого елемента постійна. Оскільки під час установленого режиму частота сигналу на обох входах ФП буде постійною, також слід зауважити, що сигнал буде мати вигляд меандру, то мінімальний час, за який може бути визначена миттєва фаза складатиме T_0 . Знайдемо фазу сигналу з сенсора 1 на інтервалі $(t_2; t_2 + T_0)$. Як видно з рис. 3 частота сигналу на інтервалі $(t_2; t_2 + T_0)$ рівна $\omega_1(t)$, тому фаза сигналу з сенсора 1 на інтервалі $(t_2; t_2 + T_0)$ буде визначатись за формулою:

$$\Psi_1(t) = \int_{t_2}^{t_2+T_0} \omega_1(t) dt. \quad (5)$$

Також з рис. 3. можна побачити, що частота сигналу з сенсора 2 на інтервалі $(t_2; t_2 + T_0)$ рівна $\omega_2(t)$, але оскільки в момент t_2 торсіон вже буде закручений, то фаза сигналу з сенсора 2 на інтервалі $(t_2; t_2 + T_0)$ буде визначатись за співвідношенням:

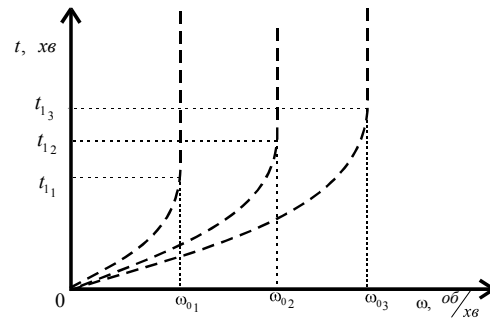


Рис. 2. Залежність часу t_1 від заданих значень кутової швидкості оберту валу двигуна ω_0

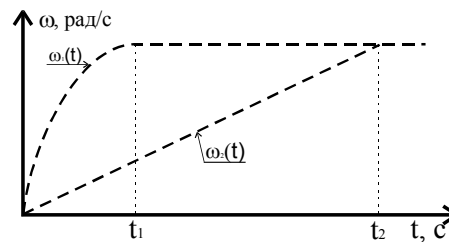


Рис. 3. Залежність кутової швидкості обертання від часу $\omega_1(t)$ – сенсора 1, $\omega_2(t)$ – сенсора 2 відповідно

$$\Psi_2(t) = \int_{t_2}^{t_2+T_0} \omega_2(t) dt - \Delta\Psi, \quad (6)$$

де $\Delta\Psi = const$ – зсув фази на інтервалі $(0; t_2)$.

Оскільки відомо, що під час вимірювання РХ кут закручення торсіону прямо пропорційний фазовому зсуву між частотами сигналів на вході ФП, то можна зауважити, що:

$$\Delta\Psi = \varphi_M(t) - \varphi_{СП}(t). \quad (7)$$

Знаючи як визначається фаза сигналу з сенсора 1 (5) та фаза сигналу з сенсора 2 (6), можна визначити фазовий зсув між частотами сигналів з сенсора 2 і сенсора 1 відповідно:

$$\Delta\Psi(t) = \Psi_2(t) - \Psi_1(t). \quad (8)$$

Підставивши значення фази сигналу (6) з сенсора 2 та значення фази сигналу (5) з сенсора 1 в (8), знайдемо зміну фазового зсуву між частотами сигналів з сенсора 2 та сенсора 1 на інтервалі часу $(t_2; t_2 + T_0)$:

$$\Delta\Psi(t) \Big|_{t_2}^{t_2+T_0} = \int_{t_2}^{t_2+T_0} [\omega_2(t) - \omega_1(t)] dt + \Delta\Psi. \quad (9)$$

Далі слід зауважити, що рівняння (9) справедливе для всіх моделей рідин, під час дослідження яких частота сигналу з сенсора 2 завжди збільшується до значення ω_0 за довільним законом і далі лишається постійною. До таких рідин відносяться всі ньютонівські рідини і рідини, в яких відсутній ефект релаксації та післядії. В даній дисертації буде розглянуто тільки процес моделювання фазочастотного методу для ньютонівської рідини, тобто коли миттєва частота сигналу сенсора 2 змінюється за лінійним законом. Що ж стосується стабільності частоти обертання валу двигуна в установленому режимі, то вона забезпечується за допомогою махової маси, яка знаходиться безпосередньо на валу двигуна. Також можна зауважити, що частота коливань, які будуть надходити на вхід першого каналу ФП буде постійна.

Відповідно математична модель, що описує процес вимірювання РХ фазочастотним методом в РВ задається системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_d(t)}{dt} = \frac{1}{L_\pi} \cdot u_d(t) - \frac{c}{L_\pi} \cdot \omega(t) - \frac{R_\pi}{L_\pi} \cdot i_d(t), \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{c}{J} \cdot i(t) - \frac{1}{J} \cdot M_c, \\ M_T = -c[\varphi_M(t) - \varphi_{СП}(t)], \\ M_{СП} = \frac{d^2\varphi_{СП}}{dt^2} J, \\ \Delta\Psi(t) \Big|_{t_2}^{t_2+T_0} = \int_{t_2}^{t_2+T_0} [\omega_2(t) - \omega_1(t)] dt + \Delta\Psi, \\ \eta = \frac{M_T}{\omega} R, \\ M_{СП} = \sum_{i=1}^n M_i. \end{array} \right. \quad (10)$$

Знайдемо розв'язок системи рівнянь (10) за умови встановленого процесу, тобто коли всі перехідні процеси закінчились і виконується умова:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_1(t) = \omega_2(t) = \omega_0, \\ i_d(t) = I_H, \\ u_d(t) = U_H. \end{array} \right. \quad (11)$$

З системи рівнянь, що описує роботу двигуна знайдемо, що:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_c = cI_H, \\ \omega_H = \frac{U_H - R_\pi I_H}{c}. \end{array} \right. \quad (12)$$

Складемо рівняння моментів відповідно до законів електромеханіки:

$$\frac{d^2\varphi_{СП}(t)}{dt^2} J + c\Delta\Psi = M_c. \quad (13)$$

Прийнявши до уваги, що вимірювання миттєвої фази проходить на інтервалі $(t_2; t_2 + T_0)$, на якому $\Delta\Psi = const$, для рідини, в якій відсутній ефект релаксації або якийсь інший ефект післядії, і $M_c = const$, а $\omega_{СП}(t) = \frac{d\varphi_{СП}(t)}{dt} = \omega_0$, знайдемо розв'язок рівняння для встановленого режиму:

$$C\Delta\Psi = M_c \cdot \quad (14)$$

Тобто у встановленому режимі $M_c = M_T$ підставивши значення M_c у вираз для визначення ДВ, матимемо:

$$\eta = RC \frac{\Delta\Psi}{\omega_0} \quad (15)$$

Відповідно з виразу (15) можна побачити, що як і для будь-якої РХ існує пряма залежність ДВ від фазового зсуву і частоти обертання сприймаючого елементу. Для схеми вимірювання, запропонованої на рис. 1, мінімальний інтервал вимірювання знаходиться в межах від t_2 до $t_2 + T_0$. Цей інтервал має бути жорстко прив'язаний до початку цього вимірювання. Зсув інтервалу вимірювання відносно початку в від'ємну сторону $t_2 - t$ приводить до значних похибок, а у додатну сторону $t_2 + t$ – до збільшення часу вимірювання, що говорить про необхідність точної прив'язки і зменшення часу вимірювання.

Виконання умови точної прив'язки до початкового моменту вимірювання t_2 можливе за умови коректного алгоритму вимірювання РХ, такий алгоритм представлений на рис. 4.

Процес вимірювання реологічних характеристик РВ, як вже було сказано, розпочинається з моменту, коли швидкість обертання сприймаючого елементу рівна нулю і закінчується, коли сприймаючий елемент обертається з певною швидкістю, і кут, на який закрутився торсіон, набув максимального значення і не змінюється. Крім того перехід з однієї швидкості обертання сприймаючого елементу може відбуватися як з початкового моменту, коли швидкість обертання сприймаючого елементу рівна нулю, так і з моменту, коли сприймаючий елемент набув певної, сталої швидкості обертання шляхом збільшення або зменшення швидкості обертання до певного, сталого її значення.

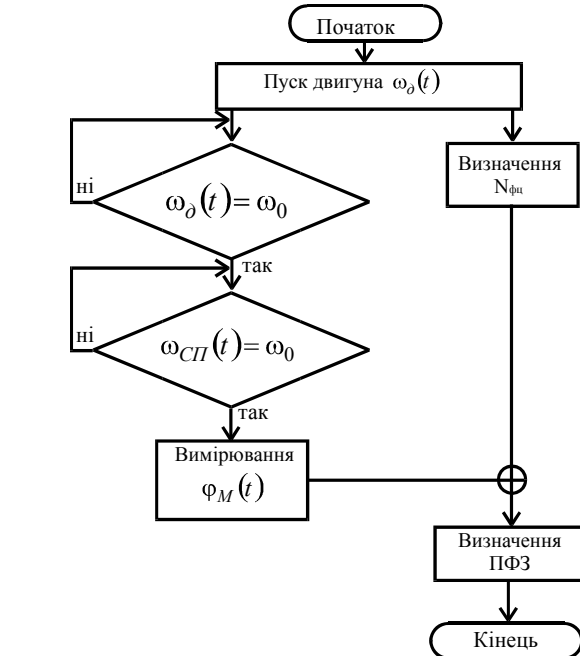


Рис. 4. Алгоритм процесу вимірювання РХ розробленим РВ

Створена математична модель, яка описує процес підвищення точності вимірювання реологічних характеристик ротаційним віскозиметром, що дає можливість їх визначення через значення ПФЗ, виміряне фазочастотним перетворювачем, та значення частоти обертання сприймаючого елементу, задане оператором.

На основі математичної моделі створений алгоритм процесу вимірювання РХ розробленим РВ, що дає можливість розробити новий клас РВ і підвищити точність вимірювання РХ речовин, в яких відсутній ефект релаксації і післядії.

Література

1. Крутоголов В. Д. Ротационные вискозиметры / Крутоголов В. Д., Куланов М. В. – М. : Машиностроение, 1984. – 112 с.
2. Петрушак В.С. Фазочастотне представлення вимірювань в'язкості ротаційним віскозиметром з торсіометричним перетворювачем / В.С. Петрушак // ВОТТП. – 2000. – № 4. – С. 87–90.
3. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисева и А.В. Шинянского. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

Рецензія/Peer review : 10.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 29.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Підченко С.К.

ОГЛЯД СТАНДАРТІВ РАДІОДОСТУПУ З МЕТОЮ РЕАЛІЗАЦІЇ В ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ПРАВООХОРОННИХ ОРГАНІВ УКРАЇНИ

У статті визначаються підходи до порівняння найбільш поширених стандартів бездротового доступу для їх впровадження в службову діяльність правоохоронних підрозділів України. Для оцінки характеристик запропоновано ввести комплексний показник ефективності, за яким проведено оцінку ряду технологій радіодоступу.

Ключові слова: радіотерминали, інформаційна мережа, WiMAX, WI-Fi, Bluetooth, UWB, Zig-Bee, радіодоступ.

D.O. VOLINETS

The National Academy of State Border Service of Ukraine named B. Khmelnytsky

REVIEW OF STANDARDS FOR RADIO LAN IMPLEMENTATION LAW ENFORCEMENT OF UKRAINE

The article compares standard wireless access to departmental information resources. In modern terms a number of new technologies find their application in law enforcement. In terms of a significant increase in the volume and importance of information support daily activities of law enforcement agencies, a significant increase in the use of mobile radioterminals and network radio, the question of wireless channels in the first link "mobile workstation - server hardware". The article identifies approaches to compare the most common wireless standards such as WiMAX, WI-Fi, Bluetooth, UWB, Zig-Bee, to determine the optimal with further implementation of it in the official law enforcement departments Ukraine. To assess the performance prompted a comprehensive performance indicator on which evaluated the above radio access technologies on such criteria as the number of concurrent users, the range of standard and complex characteristics of twenty active users with the necessary range of action. During calculations "influence" the characteristics of the overall comprehensive performance indicator defined as the same.

Keywords: radioterminal, information network, WiMAX, WI-Fi, Bluetooth, UWB, Zig-Bee, radio access.

Постановка задачі

В умовах значного підвищення обсягу та важливості інформаційного забезпечення повсякденної діяльності правоохоронних структур, значним зростанням використання мобільних радіотерміналів і мережевого радіообладнання, постає питання організації бездротових каналів насамперед в ланці «мобільне робоче місце – серверне обладнання».

Аналіз досліджень та публікацій

Питання раціонального вибору технології для організації бездротового доступу до інформаційних мереж попередньо вирішувалися на інженерному рівні виходячи із ситуацій, які склалися в кожному конкретному випадку. Відсутність наукового апарату раціонального вибору технологій радіодоступу значно обмежує застосування мобільних засобів в оперативно-службовій діяльності. Таким чином, вибір технології організації радіодоступу має ґрунтуватись на аналізі цілого комплексу показників технічного, якісного і безпекового характеру.

Виклад основного матеріалу

На сьогоднішній день, на ринку телекомунікаційного обладнання присутня ціла низка технологій радіодоступу, які можуть розглядатись як перспективні для впровадження в локальних мережах. В табл. 1 приведені основні характеристики найбільш поширених та найбільш перспективних технологій організації бездротових мереж та з'єднань.

З приведених даних можна зробити висновок, що кожна технологія має свої особливості, що визначають її переваги або недоліки до реалізації.

Для об'єктивної оцінки цих переваг і недоліків різних технологій, з метою проведення їх порівняльної оцінки, необхідно ввести певний комплексний показник ефективності K_{ef} , що враховує всі можливі співвідношення в окремих характеристиках. Загальний вираз для даного коефіцієнта може бути записаний в наступному вигляді:

$$K_{ef,k} = \prod_i X_{i,k} \quad i \in R \quad (1)$$

де X_i – нормована по необхідному значенню i -а характеристика k -го стандарту, що визначається з наступного виразу:

$$X_{i,k} = \begin{cases} \frac{X_i^{(k)}}{X_{i,\max}}, & \frac{X_i^{(k)}}{X_{i,\max}} \leq 1, \\ 1, & \frac{X_i^{(k)}}{X_{i,\max}} > 1, \end{cases} \quad (2)$$

де $X_{i,\max}$ – необхідне граничне значення i -ї характеристики для застосування в конкретній

підсистемі;

$X_i^{(k)}$ – значення i -ї характеристики k -го стандарту.

Дослідження технологій проводилися за найбільш вагомими, на нашу думку, характеристиками для використання на об'єктах інформаційної діяльності правоохоронних підрозділів.

Таблиця 1

Характеристики основних сучасних стандартів радіодоступу

Характеристики/ стандарту	Технологія радіодоступу				
	WMAN (міські бездротові мережі)	WLAN (локальні бездротові мережі)	WPAN (персональні бездротові мережі)		
Стандарту	WiMAX (Mobile WMAN) (IEEE 802.16)	Wi-Fi (IEEE 802.11)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	UWB (IEEE 802.15.4a/b)	Zig-Bee (IEEE 802.15.4)
Максимальна пропускна спроможність	до 1 Гбіт/с (WMAN), до 100 Мбіт/с (Mobile WMAN)	150 Мбіт/с	3 Мбіт/с	480 кбіт/с	250 Кбіт/с
Діапазон частот	1,5–11 ГГц (WMAN), 2,3–13,6 ГГц (Mobile WMAN)	2,4–2,5 ГГц, 5 ГГц,	2,4-2,48 ГГц	3,1–10,6 ГГц	868 МГц
Дальність, м	25000 (WMAN), 5000 (Mobile WMAN)	150	10-100	10	10-75
Максимальна кількість елементів мережі	до 1000	до 100	до 7	до 128	до 255
Алгоритм захисту інформації	56-бітові ключі	128-бітові ключі	128-бітові ключі	DRM	128-бітові ключі
Необхідність використання ліцензованих діапазонів	так	ні	ні	ні	ні

Під час розрахунку «вага» характеристик на забезпечення оперативно-службової діяльності нами була прийнята за одиницю.

Зміни показника ефективності залежно від умов використання стандартів представлені на рис. 1 та 3.

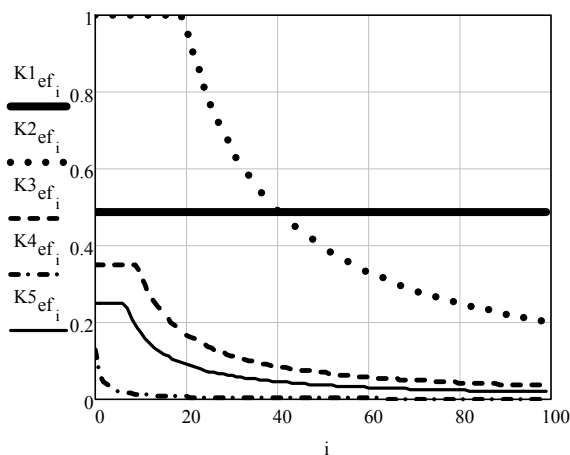


Рис. 1. Значення показника ефективності при роботі стандартів на дальності від 100 до 1000 метрів

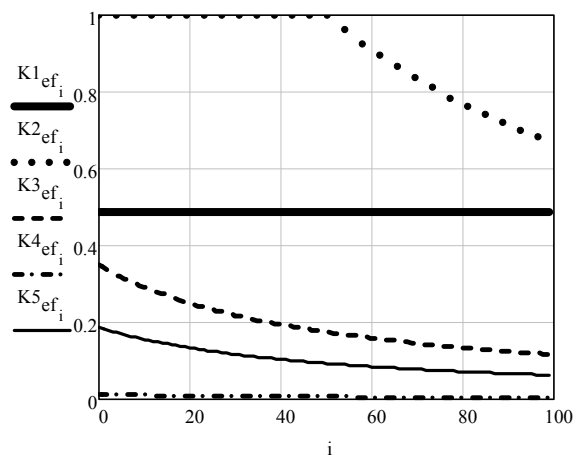


Рис. 2. Значення показника ефективності для роботи 20 користувачів на дальності від 100 до 300 метрів

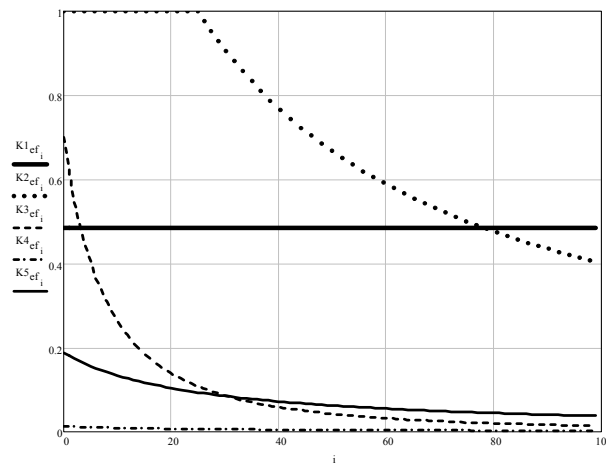


Рис. 3. Значення показника ефективності при роботі в мережі від 10 до 100 користувачів

$K1_{eff}$ – показник ефективності стандарту WiMax

$K2_{eff}$ – показник ефективності стандарту Wi-Fi

$K3_{eff}$ – показник ефективності стандарту Bluetooth

$K4_{eff}$ – показник ефективності стандарту UWB

$K5_{eff}$ – показник ефективності стандарту Zig-Bee

Висновки

Таким чином за результатами порівнянь стандартів бездротової організації телекомунікаційних мереж слід вважати, що за основними характеристиками (кількість абонентів, радіус дії, швидкість передачі даних та захищеність) із існуючих на сьогодні технологій (при умові територіального обмеження підрозділу до 200–400 метрів) найбільш актуальною є технологія Wi-Fi (IEEE 802.11).

Разом з тим дана технологія має низку недоліків, які не гарантують захист інформації, що передається і, тому, постає питання дослідження шляхів підвищення безпеки даних, у відомчих локальних обчислювальних мережах.

Література

1. IEEE Standard for Information technology. 802.11-2012. Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements. – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – 2012. – P. 1–2793.
2. Довгий С.О. Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання / Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. ; за заг. ред. Довгого С.О. – Видання друге (доповнене). – К. : «Азимут-Україна», 2013. – 608 с.
3. Макаренко А.Ю. Бездротові технології передачі даних Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee / А.Ю. Макаренко, А.О. Парфенова, С.Б. Могильний // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2010. – № 41. – С. 171.

Рецензія/Peer review : 25.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 29.10.2016 р.

Рецензент: д. т. н., проф. І.С. Катеринчук

ДОСЛІДЖЕННЯ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Розглядаються принципи забезпечення синхронізації цифрових систем зв'язку і використання синхронізації за несучою та тактовою частотами у приймачах. Досліджується когерентний демодулятор з квадратурною фазовою маніпуляцією (QPSK), що має тактову синхронізацію без використання даних і синхронізацію несучої керовану рішенням. Розглядаються структури зазначених кіл синхронізації. Наведені діаграми сигналів в характерних точках моделі.

Ключові слова: когерентний демодулятор, тактова синхронізація, синхронізація несучої.

I.S. PYATIN, I.Y. KUKAL
Khmelnytsky National University

THE STUDY OF SYNCHRONIZATION OF DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS

All digital communication systems require the synchronization of multiple levels on the side of the receiver. The principles provide synchronization and carrier frequency. We investigate the coherent demodulator with quadrature phase shift keying (QPSK), which has a non-data-aided timing recovery loop and decision-directed QPSK phase recovery. We consider these circles structure synchronization. These diagrams of signals at characteristic points of the model. Carrier frequency recovery system allows the generation of an unmodulated radio signal receiver, which frequency and phase exactly coincides with the carrier wave transmitter. Clock recovery system is required to uniquely identify the beginning and end of each bit (character) information.

Keywords: coherent demodulator, timing recovery loop, phase recovery loop.

Постановка задачі

Усі системи цифрового зв'язку вимагають синхронізації сигналів, яка полягає у встановленні і підтримці точної часової відповідності сформованих у передавальній частині і прийнятих у приймачній частині сигналів. Передавальна і приймачна частини системи зв'язку мають в своєму складі власний тактовий генератор. Частота тактового генератора приймача буде відрізнятися від частоти тактового генератора передавача. Таким чином, цифрова частина системи зв'язку працює з сигналами, які мають неоднакові частоти дискретизації. Зсув частоти дискретизації призводить до того, що частота на приймачному боці не буде такою самою, як на передавальному боці. Різниця призводить до зашумленості продетектованого сигналу. Це негативно позначається на достовірності отриманих даних. Різниця буде постійно змінюватися, наближаючись до сусіднього відліку, потім до наступного, і так далі. Вирішення цієї проблеми – розробка схем символної синхронізації, яка буде підлаштовувати час відліку на приймачі до часу відліку на передавачі.

Для кожної системи синхронізації виділяють два режими роботи: режим входження в синхронізм (режим пошуку) і режим стеження. У режимі входження в синхронізм здійснюється пошук і виявлення сигналу, груба оцінка його невідомих параметрів. Після чого система захоплює сигнал і переходить в режим стеження, в якому здійснюється точна оцінка невідомих параметрів сигналу. Перехід в синхронний режим може здійснюватися за допомогою інформації, що передається на початку сеансу зв'язку або по самому інформаційному сигналу. Таким чином, ефективність передачі корисних даних знижується через витрати на передачу даних, необхідних тільки для синхронізації і необхідного часу для пошуку сигналу і переходу в режим стеження всіх систем синхронізації приймача [1].

Більшість сучасних цифрових систем радіозв'язку мають декілька систем синхронізації, які розташовуються на приймачній частині радіосистеми. Серед них виділяють:

- системи синхронізації за несучою частотою (СЧН);
- системи тактової синхронізації (СТС);
- системи синхронізації слів (ССС);
- системи кадрової синхронізації (СКС).

В першу чергу, виконується синхронізація за несучою частотою, далі – по тактовій частоті, по частоті слів і по кадровій частоті. Існують ще ефекти, що вводяться каналом зв'язку – це затримка і доплерівський зсув частоти, які теж компенсуються системами автоматичного регулювання.

У системах зв'язку також застосовується кадрова синхронізація для того, щоб дізнатися про початок кадру. Робиться це включенням в кадр заздалегідь відомої послідовності, так званої преамбули, яка визначається за допомогою кореляційного приймача.

Когерентний приймач цифрової системи зв'язку

Структурна схема приймачного тракту цифрової системи зв'язку приведена на рис.1 [2]. Вхідний сигнал через малошумний підсилювач (МШП) і тракт перетворення частоти і підсилення надходить на IQ-демодулятор, вихідними сигналами якого є квадратурні складові $I(t)$ і $Q(t)$, які надходять на АЦП і далі в процесор цифрової обробки сигналу (DSP).

Аналого-цифрове перетворення відбувається на нульовій проміжній частоті. Перенесення спектру сигналу на нульову частоту відбувається разом з його передискретизацією фільтрами-інтерполаторами.

Процесор виконує вузькосмугову фільтрацію, містить декодер каналу і декодер джерела. Далі, при необхідності, інформація перетворюється в аналогову форму за допомогою ЦАП (наприклад, для звукового відтворення) або видається відразу в цифровий приймач інформації.

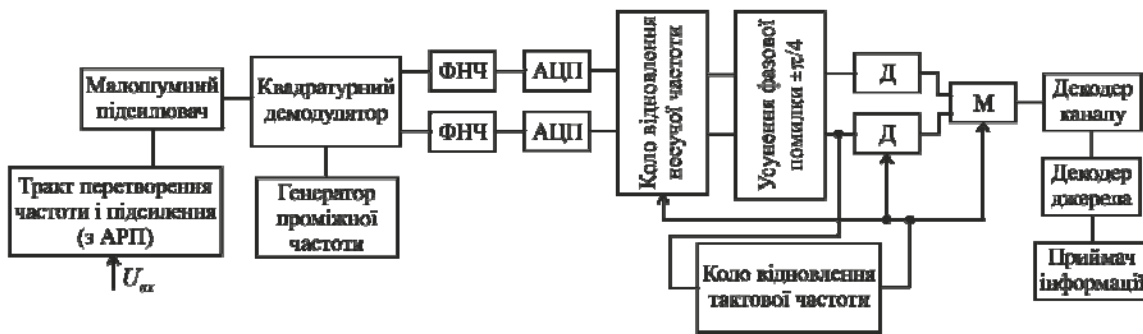


Рис. 1. Структурна схема когерентного приймача цифрової системи зв'язку (Д – детектор; М – мультиплексор)

В приймальному тракті потрібні, як правило, дві системи синхронізації: система відновлення несучої частоти (СВН) і система відновлення тактової частоти (СВТЧ).

Система відновлення несучої частоти забезпечує генерування в приймачі немодульованого радіосигналу, який по частоті і фазі точно збігається з несучим коливанням передавача. Демодуляція з використанням відновленого несучого коливання називається когерентною демодуляцією. Когерентна демодуляція забезпечує менший рівень бітових помилок в порівнянні з некогерентною (як правило, енергетичний виграш становить близько 3 дБ), але потребує суттєвого ускладнення приймального тракту. Сигнал несучої може бути відновлений з спеціально переданого передавачем в деякі моменти часу немодульованого несучого сигналу паралельно з інформаційним сигналом, або безпосередньо з прийнятого інформаційного сигналу. Відновлення з інформаційного сигналу часто призводить до менших витрат на час передачі і енергетичним витратам. Коло відновлення несучої частоти безпосередньо з інформаційного сигналу може бути побудовано на основі схеми Костаса (Costas loop), яка забезпечує виконання функції максимальної правдоподібності. У сучасних приймачах схема Костаса реалізується в цифровому вигляді (рис. 1). Сигнал опорного генератора в приймачі дещо відрізняється за частотою від генератора в передавачі (на величину $\Delta\omega$) і відрізняється по фазі на $\Delta\varphi$. Зважаючи на це квадратурні складові надходять в процесор не на нульовій частоті, а на близькій до нуля частоті $\pm\delta\omega$. Специфікою схеми Костаса є те, що згенероване сигнальне сузір'я має постійну фазову помилку (зсув) на $\pm\pi/4$. Дану помилку можна усунути за допомогою простої схеми, яка виконує лінійні операції над квадратурними складовими з застосуванням навчальних послідовностей або диференціального кодування.

Система відновлення тактової частоти необхідна майже в кожному цифровому приймальному пристрої. Справа в тому, що в процесорі, після проходження сигналу через вхідний вузькосмуговий фільтр (яким часто є оптимальний, або узгоджений фільтр – детектор максимальної правдоподібності, або фільтр Найквіста) і до виконання операцій каналного декодування і декодування джерела, інформація представлена набором відліків. Приймач не знає, де починається і закінчується кожен біт (символ) інформації, що не дозволяє йому прийняти рішення про його значення, тобто здійснити операцію детектування. Період сигналу тактової частоти відповідає періоду проходження символів, а місце розташування фронтів в середині тривалості кожного символу дозволяє приймати рішення про значення символу по фронту сигналу тактової частоти.

Основою багатьох систем синхронізації є контур фазової автопідстройки частоти (ФАПЧ), спрощена структурна схема якого приведена на рис. 2, а.

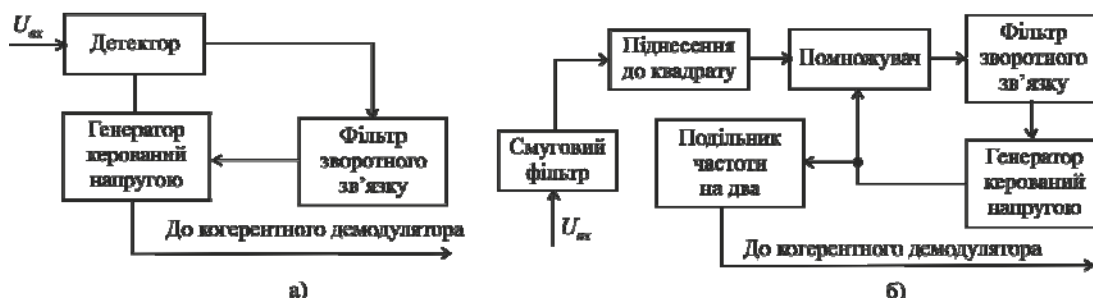


Рис. 2. Синхронізація несучого коливання: а) спрощена схема кола фазової автопідстройки частоти; б) схема Пістолькорса

В результаті роботи кола ФАПЧ частота гетеродину підлаштовується під частоту сигналу, що дозволяє здійснити когерентне детектування. Тобто, стійка робота кола ФАПЧ потребує наявності у вхідному сигналі синусоїдального коливання. Більшість сучасних систем зв'язку працюють з подавленим

несучим коливанням. Наприклад, при рівній імовірності появи сигналів логічного нуля і логічної одиниці в схемі модулятора BPSK, усереднена енергія несучого коливання буде дорівнювати нулю. Для синхронізації несучого коливання необхідно виключити модуляцію. Це можна зробити шляхом піднесення вхідного сигналу до квадрату за схемою Пістолькорса (рис. 2, б).

Піднесення до квадрату сигналу з BPSK знімає з нього модуляцію, що дозволяє виконати синхронізацію на подвоєній частоті несучого коливання за допомогою класичного кола ФАПЧ. Для синхронізації сигналів QPSK необхідно піднесення сигналу до четвертої степені.

Коло символної синхронізації

Під символною синхронізацією розуміють процес оцінки частоти і фази вхідного сигналу. Після синхронізації за несучою частотою і перенесення спектру на нульову проміжну частоту необхідно виконати децимацію сигналу для демодуляції отриманих символів. При ідеальній символній синхронізації відліки символів виконуються посередині кожного імпульсу. При наявності помилок синхронізації, точки сузір'я розбігаються навіть при відсутності шумів в каналі зв'язку. Можлива ситуація, коли відліки символів надходять з фазовою помилкою в половину періоду імпульсів, і при цьому на сигнальному сузір'ї з'являється точка при нулі на комплексній площині – демодуляція сигналу стає неможливою.

Структурна схема кола відновлення частоти тактових імпульсів показана на рис. 3.

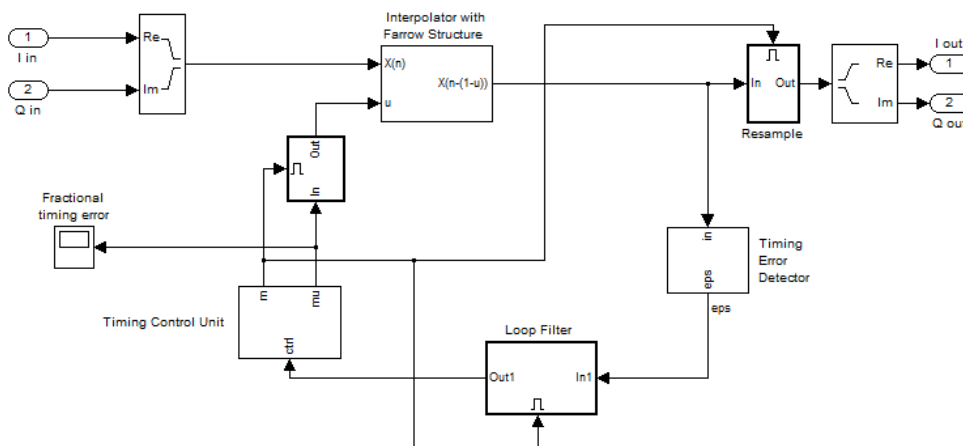


Рис. 3. Структурна схема кола відновлення частоти символів

Існує декілька різних детекторів помилки символної синхронізації: з одним відліком на символ (детектор максимальної правдоподібності); з двома відліками на символ (детектор Гарднера, детектор переходу через нуль). Всі вони формують сигнал помилки синхронізації, що надходить на фільтр зворотного зв'язку. Вихідний сигнал фільтру зворотного зв'язку надходить на керований генератор тактових імпульсів і підлаштовує його частоту і фазу. На рис. 4 показана структурна схема детектора Гарднера.

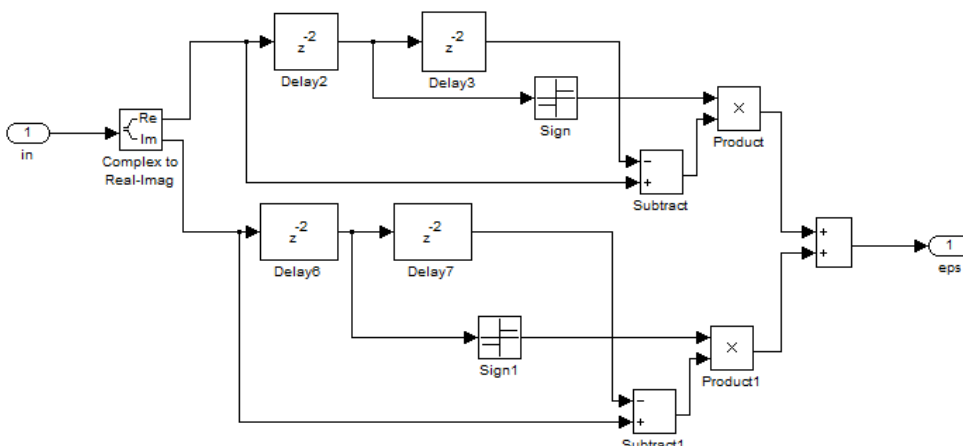


Рис. 4. Структурна схема детектора Гарднера

На вхід детектора подається комплексний сигнал на нульовій проміжній частоті. Якщо кількість відліків на символ 8 і більше, можлива реалізація схеми синхронізації, коли з наявних відліків вибирається відлік з найменшою помилкою. При високошвидкісній передачі даних неможливо забезпечити більше двох відліків на символ, тому використовують цифрові фільтри-інтерполятори, що дозволяють відновити проміжні вибірки сигналу. На рис. 5 показана структурна схема фільтра-інтерполятора Фарроу.

У приймачі сигнал проходить блок пониження частоти. Подальша обробка відбувається на низькій

частоті. Прийняті сигнали мають форму імпульсів, які мають спотворення. Тривалість кожного імпульсу дорівнює тривалості одного символу. Фільтрація в передавачі і каналі призводить до того, що прийнята послідовність імпульсів спотворюється міжсимвольною інтерференцією. Завданнями демодулятора (вхідного вибіркового фільтра) є відновлення початкового імпульсу з максимально можлигим відношенням сигнал / шум і усунення міжсимвольної інтерференції. Для досягнення цього використовується метод вирівнювання, який побудований на основі методів компенсації міжсимвольної інтерференції. Завдання детектора – безпомилково розпізнати прийнятий сигнал на тлі шумів, які виникають в каналі зв'язку.

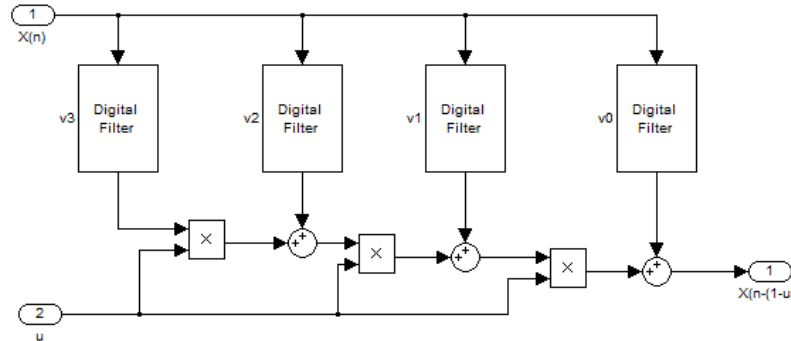


Рис. 5. Фільтр-інтерпретатор Фарроу

Розглянемо квадратурну фазову модуляцію (QPSK). використовує чотири точки на діаграмі сузір'я, еквідистантно розташованих по колу. QPSK може кодувати сигнал двома бітами на символ. Використовується код Грея для того, щоб звести до мінімуму частоту появи помилкових бітів (BER).

Сигнал QPSK має наступну модель:

$$u(t) = I(t) \sin(\omega t + \Theta) + Q(t) \cos(\omega t + \Theta), \tag{1}$$

де $I(t)$ – синфазна амплітуда сигналу; $Q(t)$ – квадратурна амплітуда сигналу.

Цей сигнал в IQ -демодуляторі помножується з напругою гетеродину такої самої частоти і миттєвою фазой Θ' . Після фільтру низьких частот маємо сигнали синфазної і квадратурної компонент:

$$Z_I(t) = I(t) \cos \varphi - Q(t) \sin \varphi,$$

$$Z_Q(t) = I(t) \sin \varphi + Q(t) \cos \varphi.$$

QPSK дозволяє підвищити швидкість передачі даних в два рази, в порівнянні з системою BPSK при збереженні тієї ж ширини спектру сигналу.

Демодуляція і детектування

Нехай протягом заданого інтервалу передачі сигналу T , двійкова система передає сигнал, представлений виразом:

$$s_1(t) = +U, \text{ для двійкової } 1$$

$$s_2(t) = -U, \text{ для двійкового } 0$$

Сигнал $r(t)$, що приймається, спотворюється під дією шуму $n(t)$ і неідеальної імпульсної характеристики каналу $h_c(t)$.

$$r(t) = s_i(t) * h_c(t) + n(t),$$

де $n(t)$ – адитивний білий гаусів шум.

При обробці отриманого сигналу, вхідний каскад приймача, або демодулятор, забезпечує пониження частоти сигналу. В якості підготовки до детектування демодулятор відновлює $r(t)$ у вигляді оптимальної огинаючої відносини $z(t)$. Приймач і демодулятор має декілька фільтрів, призначених для видалення небажаних високочастотних складових спектру і формування імпульсу. Вирівнювання можна описати як різновид фільтрації, яка використовується в демодуляторі для вилучення всіх ефектів погіршення якості сигналу. Вирівнювання необхідно в тому випадку, якщо імпульсна характеристика $h_c(t)$ каналу сильно спотворює сигнал. Еквалайзер (пристрій вирівнювання) реалізується для компенсації всіх спотворень сигналу, викликаних неідеальною імпульсною характеристикою каналу. На етапі дискретизації сформований імпульс перетворюється в вибірку для відновлення переданого символу. Демодуляція – це відновлення сигналу (імпульсу). Детектування – це прийняття рішення про цифрове значенні цього сигналу. Типові функції демодуляції і детектування цифрового приймача наведені на рис. 7.

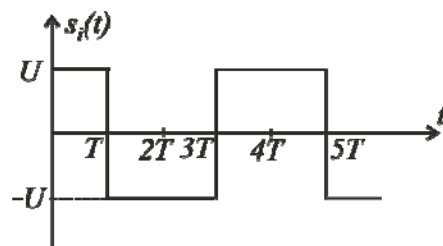


Рис. 6. Сигнал, що передається двійковою системою

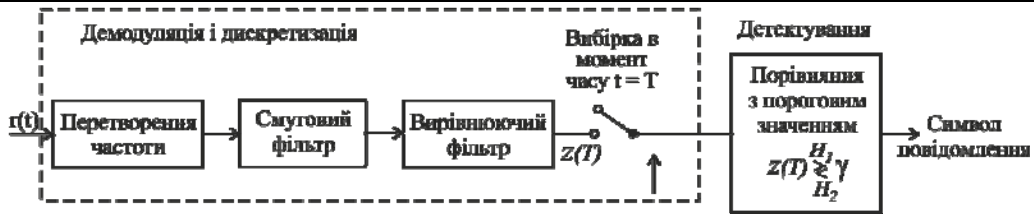


Рис. 7. Схема демодуляції і детектування цифрових сигналів

Блок перетворення частоти переносить спектр прийнятого сигналу з високої на низьку частоту. У блоці демодуляції і дискретизації зображений приймаючий фільтр, який виконує відновлення сигналу з максимально можливим відношенням сигнал/шум і без міжсимвольної інтерференції, що необхідно для роботи детектора. Оптимальний приймаючий фільтр називають узгодженим. В якості приймаючого фільтра можна використовувати вирівнюючий фільтр, або еквалайзер.

На рис. 7 виділені два етапи демодуляції і детектування. Етап 1, перетворення сигналу в вибірку, виконується демодулятором і наступним за ним пристроєм дискретизації. Значення напруги вибірки $z(t)$ прямо пропорційно енергії прийнятого символу і енергії шуму. Вихідний сигнал етапу 1 можна представити виразом:

$$z = a_i + n_0,$$

де a_i – бажаний компонент сигналу (двійковий 0 або 1); n_0 – шум, випадкова гаусова змінна з нульовим середнім значенням.

Густина імовірності випадкового гаусова шуму описується виразом:

$$p(n_0) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{n_0}{\sigma_0} \right)^2 \right],$$

де σ_0^2 – дисперсія шуму.

Густини умовних імовірностей $p(z | s_1)$ і $p(z | s_2)$ описуються виразами:

$$p(z | s_1) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z - a_1}{\sigma_0} \right)^2 \right]$$

$$p(z | s_2) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z - a_2}{\sigma_0} \right)^2 \right]$$

$p(z | s_1)$ називають правдоподібністю s_1 , що показує густина імовірності випадкової змінної $z(T)$ при умові передачі символу S_1 .

$p(z | s_2)$ називають правдоподібністю s_2 , що показує густина імовірності випадкової змінної $z(T)$ при умові передачі символу s_2 . Густини записаних умовних імовірностей зображені на рис. 8.

На етапі 2 приймається рішення щодо цифрового значення вибірки (виконується детектування) за критерієм, який описується формулою:

$$z(T) \underset{H_2}{\overset{H_1}{\gtrless}} \gamma \tag{2}$$

Критерій вибору порогу γ для прийняття рішення заснований на мінімізації імовірності помилки розпізнавання символу. H_1 і H_2 – дві можливі гіпотези.

Для сигналів з рівною імовірністю появи, оптимальний поріг γ проходить через перетин функцій правдоподібності. Тобто етап прийняття рішення полягає в ефективному виборі гіпотези, відповідної сигналу з максимальною правдоподібністю. Детектор, що мінімізує імовірність помилки, називається детектором максимальної правдоподібності.

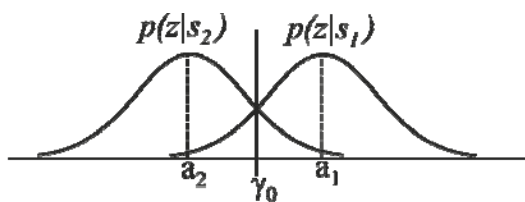


Рис. 8. Густини умовних імовірностей $p(z | s_1)$ і $p(z | s_2)$

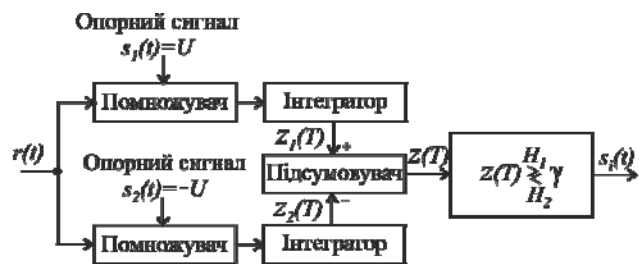


Рис. 9. Кореляційний приймач з сигналами $s_1(t)$

Узгоджений фільтр забезпечує максимальне відношення сигнал/шум на виході фільтра в момент часу $t = T$. Узгоджений фільтр можна реалізувати як корелятор. Узгоджений приймач можна побудувати згідно структурної схеми (рис. 9):

Кореляційний приймач складається з двох кореляторів, що виконують перетворення прийнятого сигналу $r(t)$ в послідовність двійкових чисел. Вихідний сигнал корелятору визначається виразом [3]:

$$z_i(t) = \int_0^T r(t)s_i(t)dt.$$

Кореляційний приймач, приведений на рис. 9, можна використовувати для когерентного детектування сигналів.

Для бінарної фазової маніпуляції, $s_1(t) = -s_2(t)$. Приймач-корелятор таких сигналів має схему, приведену на рис. 9. Один корелятор перемножує вхідний сигнал $r(t)$ і сигнал-прототип $s_1(t)$, після чого результат підлягає інтегруванню. Другий корелятор виконує такі самі дії з сигналом $s_2(t)$.

На рис. 9 показаний принцип роботи цифрового приймача. Протягом періоду передачі вхідний сигнал проходить по різним віткам для перевірки його кореляції з усіма можливими прототипами. Після цього приймач визначає найбільшу вихідну напругу і приймає відповідне рішення відносно значення переданого символу. При бінарному вхідному сигналі маємо два прототипи. Для квадратичної модуляції буде чотири прототипи. Далі визначається різниця:

$$z(T) = z_1(T) - z_2(T)$$

Рішення приймається з використанням співвідношення (2), де $\gamma = \frac{a_1 + a_2}{2}$

Для біполярних сигналів $\gamma = 0$. Якщо $z(T)$ додатне, то вважається, що переданий сигнал $s_1(T)$. Якщо $z(T)$ від'ємне, то вважається, що переданий сигнал $s_2(T)$.

Відношення сигнал/шум на виході:

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \frac{2E_d}{N_0},$$

де N_0 – спектральна густина потужності шуму.

$$E_d = \int_0^T [s_1(t) - s_2(t)]^2 dt - \text{енергія різницевого сигналу на виході фільтра.}$$

Імовірність появи помилкового біта визначається виразом:

$$P_A = Q\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}$$

Розглянемо когерентне приймання сигналів з фазовою маніпуляцією. Сигнал з модуляцією MPSK має наступну математичну модель:

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos\left[\omega_0 t - \frac{2\pi i}{M}\right], 0 \leq t \leq T, i = \overline{1, M},$$

де E – енергія сигналу за час передачі символу T . Для представлення сигналів $s_i(t)$ зручно використовувати наступний ортонормований базис:

$$\psi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos \omega_0 t; \psi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \sin \omega_0 t.$$

Запишемо сигнал $s_i(t)$ в обраному базисі:

$$s_i(t) = a_{i1}\psi_1(t) + a_{i2}\psi_2(t) = \sqrt{E} \cos\left(\frac{2\pi i}{M}\right)\psi_1(t) + \sqrt{E} \sin\left(\frac{2\pi i}{M}\right)\psi_2(t).$$

Структурна схема демодулятора сигналів MPSK представлена на рис. 10.

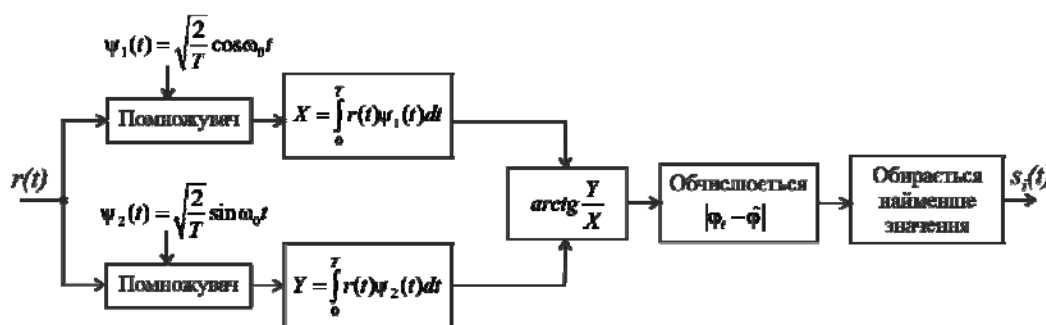


Рис. 10. Структурна схема демодулятора MPSK

Корелятори визначають функції $X = \int_0^T r(t)\psi_1(t)dt$ і $Y = \int_0^T r(t)\psi_2(t)dt$ (де $r(t) = s_i(t) + n(t)$ – сигнал на

вході приймача, $n(t)$ – білий гаусів шум), відношення яких дає оцінку фази сигналу на вході приймача. Далі обирається значення фази, найближче до фази сигналу на виході передавача. Розглянута схема демодулятора є когерентною.

Дослідження Simulink-моделі когерентного демодулятора QPSK

В системі цифрового зв'язку повідомлення, видані джерелом, перетворюються в послідовність двійкових символів, що називають кодуванням джерела або стисненням даних. Далі сигнал надходить на кодер каналу, мета якого – ввести в інформаційний сигнал деяку надмірність для зменшення впливу шуму і інтерференції, що виникає в каналі передачі. Таким чином, додана надмірність служить для збільшення надійності прийнятих даних і покращує вірність відтворення прийнятого сигналу. У якості джерела цифрового сигналу Simulink-моделі системи зв'язку, що приведена на рис. 11, використаний блок Random integer source. Далі інформаційний сигнал надходить на цифровий модулятор (QPSK modulator, приведений на рис. 11), мета якого полягає в створенні сузір'я і спектру сигналу QPSK модуляції. Цифрова модуляція відбувається на низькій частоті, тому сформований спектр необхідно перенести в область високих частот за допомогою блоку Up-conversion, що містить генератор несучої і відповідні помножувачі. Канал зв'язку з адитивним білим гаусовим шумом (AWGN channel) – це фізичне середовище, яке використовується для передачі сигналу від передавача до приймача, simulink-модель якого приведена на рис. 13 [4]. Тут переданий сигнал піддається випадковим спотворенням за рахунок впливу адитивного білого шуму, впливу промислових і атмосферних завад. Далі, на приймальному боці цифрової системи зв'язку (рис. 11) відбувається пониження частоти (down-conversion). Цифровий приймач (digital receiver) працює на низькій частоті. Відновлене на приймальному боці сузір'я QPSK-модуляції приведено на рис. 12.

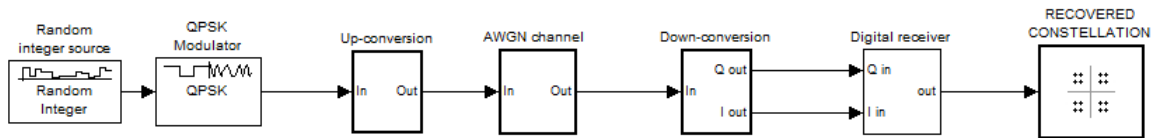


Рис. 11. Simulink модель цифрової системи зв'язку

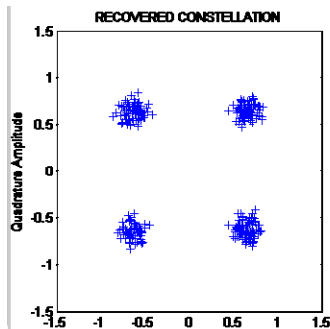


Рис. 12. Відновлене на приймальному боці сузір'я QPSK

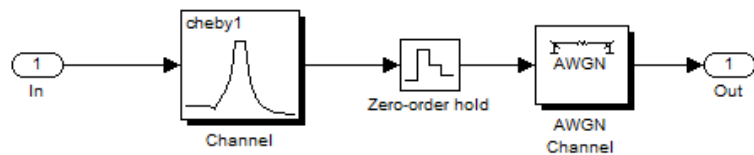


Рис. 13. Модель каналу передачі з адитивним білим гаусовим шумом

Діаграма сигнального сузір'я це спосіб зображення сигналу модульованого за допомогою схеми, наприклад, квадратурної фазової маніпуляції. Вона зображує сигнал у вигляді точкової діаграми на комплексній площині. Символ, що передається, представляється у вигляді комплексного числа за допомогою квадратурних опорних сигналів. Когерентний детектор може незалежно здійснити демодуляцію цих сигналів.

Після прийому сигналу, демодулятор перевіряє прийнятий символ, що може бути пошкоджений в каналі чи приймачем (такими явищами як адитивний білий гаусів шум, спотворення сигналу, фазовий шум або завада). Він вибирає, що за його оцінкою насправді передається, точку на діаграмі сигнального сузір'я що є найближчою (в розумінні Евклідової відстані) до отриманого символу. Таким чином демодуляція відбудеться невірно якщо пошкодження сигналу призвело до того, що символ наблизився до іншої точки сузір'я, відмінної від тої що передавалася.

Simulink-модель когерентного цифрового приймача QPSK сигналу приведена на рис. 14 [5]. На вході приймача діють синфазна і квадратурна складові сигналу, які спочатку подаються на узгоджений фільтр (Raised cosine receive filter) з характеристикою піднятого косинуса. Сузір'я QPSK сигналу на виході узгодженого фільтра приведено на рис. 15. Канал зв'язку вносить сильні спотворення в сузір'я сигналу.

Когерентний цифровий приймач QPSK сигналу має не залежну від даних систему символної синхронізації (non-data-aided timing recovery loop) і систему синхронізації несучої, що управляється рішенням (decision-directed QPSK phase recovery loop). Око-діаграма сигналу на виході узгодженого фільтра, тобто не синхронізованого сигналу приведена на рис. 16. Око-діаграма – це сумарний вигляд всіх бітових періодів сигналу, накладених один на одній. Вона дозволяє оцінити якість цифрового сигналу. На рис. 17

наведена око-діаграма сигналу після кіл символної синхронізації і синхронізації несучої частоти. Система синхронізації дозволяє упорядкувати бітові переходи і відкорегувати сигнальне сузір'я цифрової модуляції.

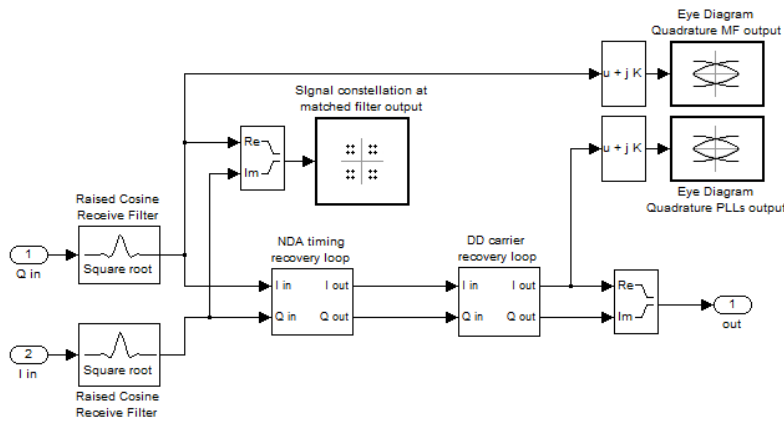


Рис. 14. Когерентний цифровий приймач QPSK сигналу

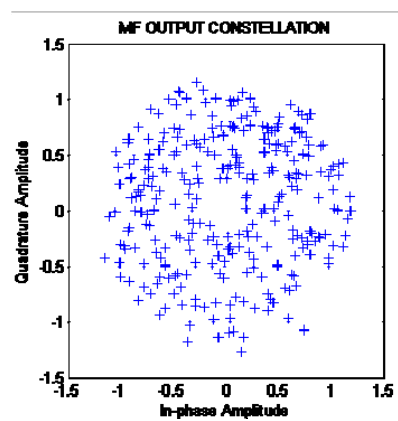


Рис. 15. Сузір'я QPSK сигналу на виході узгодженого фільтра

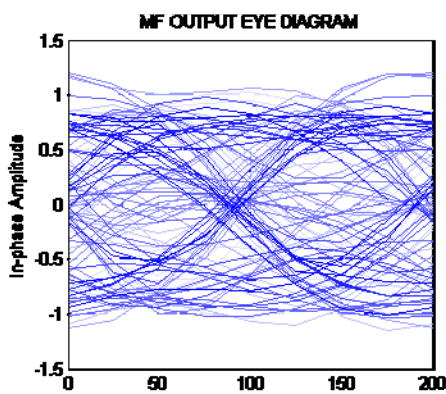


Рис. 16. Око-діаграма сигналу на виході узгодженого фільтра

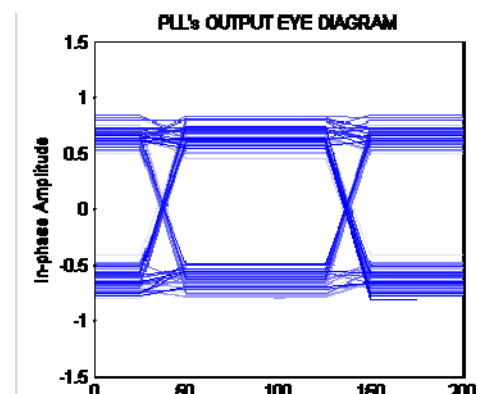


Рис. 17. Око-діаграма сигналу на виході ФАПЧ

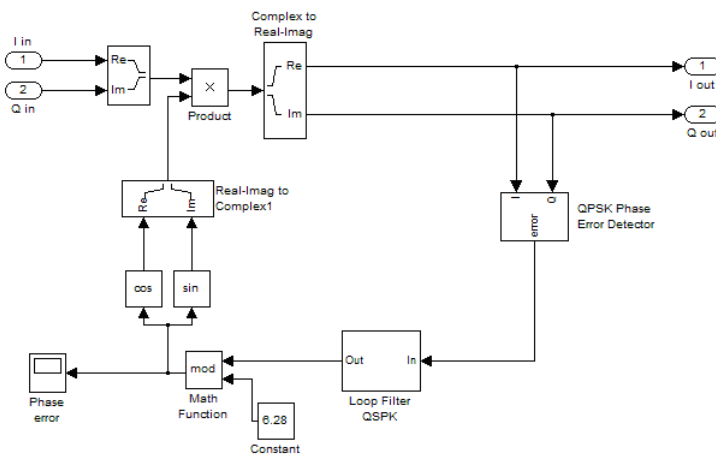


Рис. 18. Коло синхронізації несучої, що керується рішенням

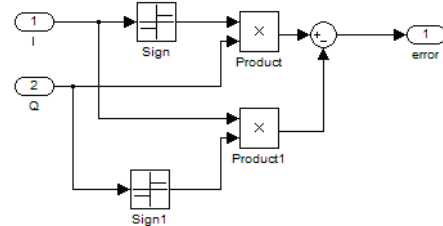


Рис. 19. Детектор фазової помилки синхронізації

Коло синхронізації несучої частоти, що управляється рішенням, приведена на рис.18. Коло синхронізації несучої частоти побудовано на основі системи фазової автопідстройки частоти (ФАПЧ) і містить детектор фазової помилки синхронізації приведений на рис. 19, контурний фільтр QPSK і генератор, керований напругою.

Фазова помилка синхронізації несучої приведена на рис. 20.

Схема символної синхронізації, не залежна від даних, приведена на рис.3. Вона побудована також на основі системи ФАПЧ. Помилка дробової затримки кола тактової синхронізації приведена на рис. 21.

Реалізація схеми символної синхронізації в цифрових пристроях на ПЛІС і цифрових сигнальних процесорах (ЦСП) представляє собою схему передискретизації з довільним кроком зміни тактової частоти, побудовану на основі інтерполятора. Як відомо, будь-який інтерполятор дає помилку інтерполяції, яка вносить спотворення в сигнал і, як наслідок, збільшує ймовірність помилки на символ.

На сьогодні відомо багато способів інтерполяції. Вибір прийняттого алгоритму залежить від того, наскільки точний обраний метод, які витрати на його використання, наскільки монотонною є інтерполяційна

функція, скільки точок даних вона вимагає, тощо.

Сигнал на вході демодулятора можна розглядати як стаціонарний сигнал, тому що статистичні параметри міняються повільно на інтервалі інтерполяції. Зауважимо, що інтервал інтерполяції не повинен перевищувати допустимої для системи затримки.

В системах зв'язку доцільно використовувати інтерполяцію поліномами, зокрема, інтерполяцію Лагранжа. Інтерполятор Лагранжа, представлений в дискретній формі з кінцевим числом вибірок сигналу, називається інтерполятором Фарроу. З точки зору обчислювальних витрат, інтерполятор Фарроу є одним з найбільш ефективних. З цієї причини в якості інтерполятора схеми символної синхронізації будемо використовувати інтерполятор Фарроу.

Інтерполятор Фарроу можна представити цифровим фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою. Описати його в області часу можна виразом:

$$y(k) = \sum_{m=0}^M h(m, \varepsilon) x(k - m),$$

де $y(k)$ – сигнал на виході фільтра, $x(k)$ – сигнал на вході фільтра, $h(m, \varepsilon)$ – коефіцієнти фільтра, що залежать від керуючого значення ε .

Слід зазначити, що для інтерполятора Фарроу кількість коефіцієнтів M має дорівнювати кількості відліків сигналу, за якими проводиться інтерполяція. При цьому порядок інтерполятора буде дорівнювати $M-1$.

Інтерполятори Фарроу мають помилку інтерполяції. Точкою з найвищою помилкою інтерполяції є $\varepsilon = 0,5$. Очевидно, що АЧХ інтерполятора Фарроу впливає на сигнал тим більше, чим вище верхня частота спектра сигналу, тобто чим менше відліків на символ. Схема фільтра – інтерполятора Фарроу, наведена на рис. 5. Детектор помилки символної синхронізації за схемою Гарднера наведений на рис. 4.

Висновки

Проаналізована і досліджена Simulink-модель цифрової системи зв'язку з QPSK-модуляцією і показано, що для відтворення переданої інформації з мінімальною кількістю помилок, на приймальному боці необхідна наявність систем синхронізації. Оскільки у QPSK-сигналі подавлене несуче коливання, то потрібна наявність кола відновлення несучої частоти. Для визначення початку і кінця кожного символу, потрібне коло відновлення тактової частоти. Приведені діаграми сигналів у характерних точках моделі.

Література

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр ; пер. с англ. – Изд. 2-е, испр. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Прокис Д. Цифровая связь / Д. Прокис ; пер. с англ. / под ред. Д.Д. Кловского. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.
3. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці : підручник для студентів вищих навчальних закладів : том 2 / Ю.І. Волощук. – Харків : «Компанія СМІТ», 2003. – 444 с.
4. Бойко Ю.М. Проектування та моделювання систем синхронізації у цифрових приймачах QPSK-сигналів систем супутникового зв'язку / Ю. М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 3. – С. 162–171.
5. Бойко Ю.М. Проблеми синтезу пристроїв тактової синхронізації приймачів супутникових телекомунікаційних систем передачі інформації / Ю. М. Бойко, О. І. Єрьоменко // Вісник НТУУ КПІ. Телекомунікації, радіолокація і навігація, електроакустика. – К., 2014. – № 58. – С. 55–66.

Рецензія/Peer review : 14.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 29.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Мартинюк В.В.

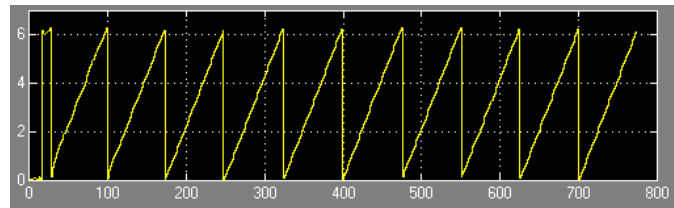


Рис. 20. Фазова помилка синхронізації несучої

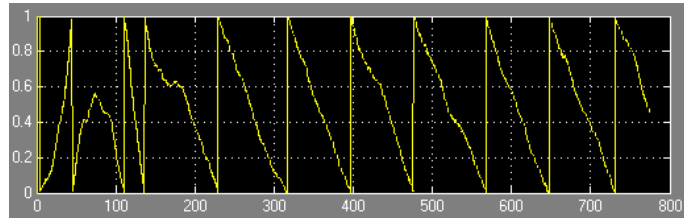


Рис. 21. Помилка дробової затримки кола тактової синхронізації

УДК 616.12-073

Д.М. БАРАНОВСЬКИЙ, М.В. МОСКОВКО, О.С. ЗЛЕПКО, В.С. ПАВЛОВ
Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ МЕДИЧНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ І МОНІТОРИНГУ РОБОТИ СЕРЦЯ В ДОМАШНІХ УМОВАХ (ЗА ДАНИМИ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ)

В роботі проводився аналіз сучасних медичних додатків для діагностики і моніторингу роботи серця в домашніх умовах. Досліджено точність виміру: пульсу, тиску, рівню кисню в крові, температури та зняття ЕКГ. В результаті аналізу отриманих даних з пристроїв було виявлено, що жоден з них не дає бажаного результату та високої точності вимірювань, достатньої для використання в медицині.

Ключові слова: моніторинг роботи серця, додатки для моніторингу, моніторинг за станом роботи, мобільні додатки, медичний моніторинг.

D.M. BARANOVSKIY, M.V. MOSKOVKO, O.S. ZLEPKO, V.S. PAVLOV
Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF MEDICAL APPLICATIONS FOR DIAGNOSTICS AND MONITORING OF HEART FUNCTION AT HOME (ACCORDING TO DATA OF THE LITERATURE)

The work conducted analysis of contemporary medical applications for diagnosis and monitoring of cardiac conditions at home. Investigated the accuracy of measurement, pulse pressure, blood oxygen level, temperature and ECG withdrawal. Monitoring the state of health is required in many cases, the control condition of the body. The patients who received treatment; identifying symptoms in people at risk. To solve these problems and help solve the portable sensors and remote monitor. CardioQVARK this case for the iPhone, lets you remove cardiogram at any time and in any place. Angel - a device that works as a fitness tracker, sleep monitor, and monitors the performance of the heart, blood oxygen levels, body temperature, and in case of deviations warns the user. Withings Wireless Blood Pressure Monitor - device for monitoring blood pressure, which is synchronized via Bluetooth with iPhone, iPod touch or iPad. Scanadu Scout - an application that allows you to measure heart rate, oxygen levels in the blood, temperature and pressure. Watch Samsung Gear 2 used for monitoring in sports. The clock has a standard set of sensors (including sensor pulse). The analysis of the data from the device, it was found that none of them gives the desired result and high measurement accuracy sufficient for use in medicine.

Keywords: monitoring of heart, monitoring application, mobile applications, medical monitoring.

В наш час розповсюдження мобільного зв'язку досягло глобальних масштабів, мобільні мережі охоплюють понад 85% населення світу. При цьому технічні можливості мобільних пристроїв постійно збільшуються, що робить їх чудовою платформою для створення програм та додатків для діагностики і моніторингу роботи серця. Моніторинг за станом здоров'я необхідний у багатьох випадках при: контролі стану організму; спостереженні за хворими, які пройшли лікування; виявленні симптомів у людей з груп ризику. Розв'язати та вирішити ці проблеми допоможуть портативні давачі та дистанційний моніторинг [1].

Дослідженням проблем та створенням медичних додатків для діагностики і моніторингу стану людини за кордоном займалися такі фахівці та вчені як: А. Логан (США, 2007 р.), К. Леонг (США, 2006 р.), Е. Коши (США, 2008 р.), Д. Прісс (США, 2014), Е. Юматов (Росія, 2008 р.). З самого початку закордонні вчені розробляли мініатюрні медичні прилади, які б замінювали велику медичну апаратуру та полегшували здійснювати моніторинг за важливими життєвими показниками людини.

Метою статті є аналіз існуючих медичних додатків для діагностики і моніторингу роботи серця в домашніх умовах.

Основними операційними системами для яких випускаються мобільні додатки, зараз є: iOS, Windows Mobile, Android. Великою перевагою мобільного додатку є підтримка декількох або усіх цих систем [2].

Перші розробки мобільного пристрою для реєстрації ЕКГ були створені ще в 2006 р. і працювали за таким принципом: на смартфон надходив звуковий сигнал, модульований по ЕКГ, демодуляція проходила за допомогою спеціальної програми, що виділяла основні характеристики ЕКГ та виводила криву на екран. Згодом пристрій було вдосконалено та створено CardioQVARK (рис. 1), що є спеціальним чохлом для iPhone, за допомогою якого можна зняти кардіограму в будь-який час та в будь-якому місці. Врахувавши недоліки попереднього пристрою, було змінено та спрощено програмне забезпечення нового пристрою. Зараз для використання CardioQVARK варто лише встановити додаток на смартфон, одягнути чохол-давач на смартфон і прикласти пальці до давача. Після цього знімається кардіограма та одразу надсилається у «хмару», де лікар аналізує та розшифровує її [1].

Прилад має ряд суттєвих недоліків, які можуть призводити до повного спотворення результатів. Рівень фону та шуму на зареєстрованій електрокардіограмі унеможлиблює аналіз деяких зубців та зменшує ST-сегмент. Записаний кардіосигнал представляє собою кардіограму в одному відведенні (І стандартне відведення), що звужує перспективу діагностичних можливостей [1].

Браслет Angel (рис. 2) – це прилад, який працює як фітнес-трекер, монітор сну, а також відслідковує показники роботи серця, рівня кисню в крові, температури тіла, та при виникненні відхилень попереджує користувача [2]. Як і більшість схожих фітнес-трекерів, прилад дає досить непогані показники роботи серця та рівню кисню в крові.

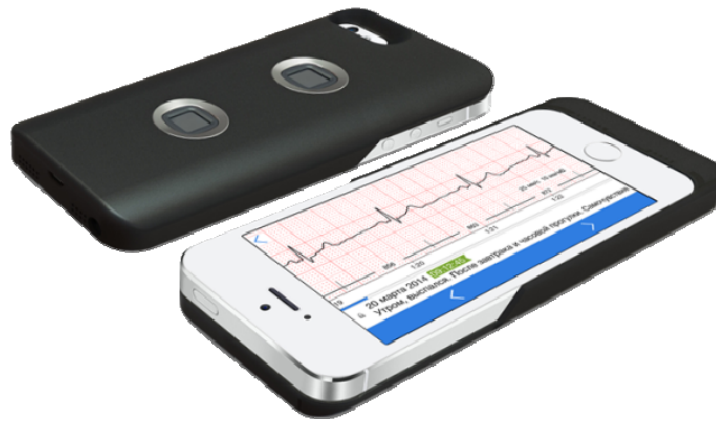


Рис. 1. CardioQVARK [1]



Рис. 2. Браcлет Angel [2]

Withings Wireless Blood Pressure Monitor (рис. 3) – пристрій для моніторингу артеріального тиску, який синхронізується по Bluetooth з iPhone, iPod touch чи iPad, після чого додаток Withings Health Mate проводить моніторинг і зберігає данні [3]. Загалом цей пристрій є найточнішим серед інших розглянутих тут аналогів. Проте і він має недоліки, а саме: високу вартість та малу функціональність.



Рис. 3. Тонometr Withings Wireless Blood Pressure Monitor [3]



Рис. 4. Scanadu Scout [4]

Scanadu Scout (рис. 4) – додаток, що дозволяє провести вимірювання пульсу, рівню кисню в крові, температури та тиску. Scanadu Scout зчитує життєво важливі данні через легкий дотик до шкіри лоба та надсилає їх по Bluetooth на смартфон [4].

Цей пристрій добре виконує свої функції, його точність можна вважати задовільною для домашнього використання. Його недоліком є неможливість проведення постійного (цілодобового) моніторингу.

Медичним додатком для діагностики і моніторингу роботи серця в домашніх умовах також можна вважати годинники Samsung Gear 2 (рис. 5). Ці прилади використовуються для моніторингу при заняттях спортом. Годинник має стандартний набір сенсорів (включаючи давач пульсу). Недоліками цього годинника є: низька точність вимірювань, неможливість підключення додаткових блоків та датчиків, а також те, що вони

працюють лише з смартфонами Samsung та не підтримують інші Android смартфони. Данні годинники можна використовувати лише для профілактики, як контроль стану організму [5].



Рис. 5. Годинник Samsung Gear 2 [5]

Таблиця 1

Загальний аналіз функціональної повноти медичних додатків для діагностики і моніторингу роботи серця в домашніх умовах

Функції	Cardio QVARK	Angel	Withings Wireless Blood Pressure Monitor	Scanadu Scout	Samsung Gear 2
Вимір тиску	-	+	+	+	-
Вимір пульсу	+	+	+	+	+
Зняття ЕКГ	+	-	-	-	-
Вимір рівню кисню в крові	-	+	-	+	-
Вимір температури	-	+	-	+	+
Багатофункціональність	-	+	-	+	-
Точність	+	-	+	+	-
Зручність для домашнього використання	-	+	+	+	+

Сучасні технології дозволяють робити мобільні монітори життєвих функцій людини дуже мініатюрними, проте це значно погіршує їх основну функцію, а саме: точність вимірювань показників. Через цей недолік більшість розглянутих приладів та додатків рекомендується лише для домашнього застосування. Проте активний розвиток давачів та використання мобільних SMART-платформ для розв'язання задач мережної діагностики і моніторингу стану людини дозволяє впроваджувати ці додатки в практичній медицині.

Висновок: На даний час існує багато пристроїв, які можна використовувати в якості моніторів життєвих функцій людини, проте жоден з них не дає бажаного результату та високої точності вимірювань достатньої для використання в медицині. Мобільні годинники з давачами пульсу не дають можливості точно виміряти пульс, хоча і забезпечують добре представлення вимірянних результатів. Їх використання можливе тільки для профілактики, але рекомендується уточнювати показники за допомогою більш точного приладу.

Література

1. 10 гаджетов, помогающих следить за здоровьем с помощью смартфона [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://geektimes.ru/post/269842/>
2. Angel Sensor – Open Mobile Health Wearable [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.angelsensor.com>
3. Withings [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.withings.com
4. Do you think an app can improve your health? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.scanadu.com/>
5. Кто есть кто: Умные часы [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habrahabr.ru/company/madrobots/blog/209944/>

Рецензія/Peer review : 13.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 29.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н. Кичак В. М.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОГО МЕТОДУ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ У ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗОНИ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

У статті висвітлені результати експериментальних досліджень застосування нечіткого методу групового урахування аргументів у задачах визначення зони хімічного забруднення. Визначені вхідні параметри методики прогнозування та їх змінні. Проведена обробка отриманих результатів та зроблені висновки щодо ефективності використання запропонованого методу в системах прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Ключові слова: прогнозування, метод групового урахування аргументів, хімічне забруднення.

О.М. MIROSHNIK

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Cherkassy State Technological University

EXPERIMENTAL STUDY OF FUZZY GROUP METHOD OF ACCOUNTING ARGUMENTS IN FORECASTING AREAS OF CHEMICAL CONTAMINATION

The article highlights the results of experimental research of application of fuzzy method of group account of arguments with the purpose of determining the zone of chemical contamination. Defined input parameters of the prediction technique and their variables. Treatment of obtained results and conclusions about the effectiveness of using the proposed method in systems forecasting emergency situations of technogenic character.

Keyword: prediction, group method of accounting arguments, chemical pollution.

Вступ

Зростання масштабів господарської діяльності і кількості великих промислових комплексів, концентрація на них агрегатів і установок великої і надвеликої потужності, використання у виробництві великих кількостей потенційно небезпечних речовин збільшує вірогідність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Надзвичайні ситуації техногенного характеру загрожують людині, економіці і природному середовищу або здатні створити загрозу внаслідок імовірного вибуху, пожежі, затоплення або забруднення (зараження) навколишнього середовища [1].

Одним із найбільш небезпечних проявів аварій у промисловості і транспорті є викид небезпечних хімічних речовин (НХР) і розповсюдження їх в атмосфері. Найбільші техногенні катастрофи, такі як аварія на хімічному заводі Union Carbide в індійському місті Бхопал, Індія, 1984 р. (число жертв до 18 тисяч осіб), вибух на хімічному заводі компанії «Нипро Кемікл Плант р. Фликсборо, Великобританія 1974 р. (число жертв вибуху понад 60 осіб, потужні руйнування). Вибух і отруйна хмара р. Севезо, Італія 1976 р. стали причиною знищення цілого міста, а також поштовхом для появи в 1982 р. «директиви Севезо», що стала початком створення сучасного європейського законодавства у сфері безпеки в промисловості.

Було б передчасно вважати, що у найближчому майбутньому кількість аварій зменшиться. Тому важливою задачею є мінімізація негативних їх наслідків, до яких, у першу чергу відносяться людські життя, екологічні катастрофи і матеріальні збитки. Її вирішення залежить від якості прийнятих рішень як до аварії, так і після неї. Інформаційною основою при цьому є дані про параметри аварії, концентрації НХР і її динаміка в зоні забруднення [4].

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Питанню визначення зони забруднення, концентрації НХР під час хімічної аварії присвятили свої роботи багато вітчизняних та зарубіжних вчених, а саме: Землянський О.М., Іванов А.В., Мاستрюков Б.С., Баладурін Б.А., Міхалкін, В.Н., Шостак І.В. та ін. Вони розробили для систем моніторингу надзвичайних ситуацій (НС) цілий ряд моделей [2–6]. За кількісним описом їх можна розділити на кілька рівнів:

- 1) прості напівемпіричні моделі;
- 2) гаусовські моделі дисперсії домішки в атмосфері;
- 3) моделі розсіяння, засновані на інтегральних законах збереження;
- 4) моделі, побудовані на чисельному рішенні системи рівнянь газодинаміки (моделі чисельного моделювання класу CFD – Computational Fluid Dynamics).

Основною проблемою подальшого застосування цих моделей є обмеженість і сумнівна достовірність вихідних даних, що не дозволяє отримувати адекватні кількісні показники процесів формування розсіювання хмари НХР. Тому питання підбору оптимальних моделей для визначення зони хімічного забруднення має актуальне значення і на сьогоднішній день.

Постановка задачі та її розв'язання

Основна мета роботи полягає у проведенні експериментальних досліджень нечіткого методу групового урахування аргументів (НМГУА) з метою доцільності його застосування у задачах прогнозування

зони хімічного забруднення. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- встановити вхідні параметри прогнозування;
- визначити змінні вхідних параметрів прогнозування;
- здійснити моделювання невідомої функції НМГУА та з використанням різних функцій приналежності;
- здійснити обробку отриманих даних експериментів та зробити висновки.

Результати дослідження дозволяють встановити доцільність застосування у задачах прогнозування зони хімічного забруднення НМГУА.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

У роботах [3, 5] проводилися дослідження алгоритмів НМГУА з трикутною функцією приналежності (ФП) в задачах прогнозування макроекономічних показників України. Використовуючи запропоновану методику проведемо розрахунок прогнозування зони хімічного забруднення надзвичайної ситуації техногенного характеру. В якості вхідної інформації приймемо наступні змінні: період викиду НХР; об'єм НХР в технологічному обладнанні (ємності); концентрація НХР в повітрі на певній відстані від місця виходу.

Наведемо деякі дані із отриманих результатів.

1. Результати структурної ідентифікації у вікні прогнозування розміром у 15 точок, із яких 10 було виділено для навчання і 5 – на вибірку для перевірки. Під час ідентифікації на наступний етап синтезу передавалося 10 кращих моделей поточного етапу.

Частковий опис, що використовується:

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$$

Величина середньоквадратичного відхилення (СКВ): 0,7119462.

2. Результати структурної ідентифікації на вікні прогнозування розміром у 12 точок, із яких 7 було виділено для навчання і 5 – на вибірку для перевірки. Останні 3 точки, представлені на графіку (рис.1), спрогнозовані у покроковому режимі без адаптації коефіцієнтів моделі. Під час ідентифікації на наступний етап передавалося 10 кращих моделей поточного етапу.

Частковий опис, що використовується:

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + A_{11} \cdot x_1^2 + A_{22} \cdot x_2^2$$

Величина СКВ (на вибірці, яка складається із точок навчання і прогнозованих): 0,249623.

3. Результати структурної ідентифікації на вікні прогнозування розміром у 12 точок, із яких 7 було виділено для навчання і 5 – на вибірку для перевірки. Під час ідентифікації на наступний етап синтезу передавалося 10 кращих моделей поточного етапу.

Частковий опис, що використовується:

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + A_{11} \cdot x_1^2 + A_{22} \cdot x_2^2$$

Величина СКВ: 0,116168.

4. Результати структурної ідентифікації на вікні прогнозування розміром у 12 точок, із яких 7 було виділено для навчання і 5 – на вибірку для перевірки. Під час ідентифікації на наступний етап синтезу передавалося 10 кращих моделей поточного етапу.

Частковий опис, що використовується:

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$$

Величина СКВ: 0,7151176.

5. Прогноз 10 точок за допомогою моделі, яка синтезована єдиний раз, без покрокової адаптації коефіцієнтів.

Частковий опис, що використовується під час синтезу прогнозованої моделі:

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + A_{11} \cdot x_1^2 + A_{22} \cdot x_2^2$$

Величина СКВ на спрогнозованих точках: 0,990959.

6. Прогноз тих самих 10 точок, що і в пункті 6, з допомогою покрокової адаптації коефіцієнтів моделі що прогнозується (адаптація використовувалася у випадку виходу реального значення прогнозованої змінної за спрогнозовану межу).

Частковий опис, що використовується під час синтезу прогнозованої моделі:

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + A_{11} \cdot x_1^2 + A_{22} \cdot x_2^2$$

Величини СКВ на спрогнозованих точках: 0,813633824.

7. Прогноз 11 точок за допомогою покрокової адаптації коефіцієнтів моделі прогнозування (адаптація використовувалася у випадку виходу реального значення прогнозованої змінної за спрогнозовану межу).

Частковий опис, що використовується під час синтезу моделі прогнозування:

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + A_{11} \cdot x_1^2 + A_{22} \cdot x_2^2$$

Величини СКВ на спрогнозованих точках: 0,88312.

8. Прогноз тих самих 11 точок, що в пункті 8, за допомогою моделі, що синтезована єдиний раз, без урахування покрокової адаптації коефіцієнтів.

Частковий опис, що використовується під час синтезу моделі прогнозування:

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + A_{11} \cdot x_1^2 + A_{22} \cdot x_2^2$$

Величини СКВ на спрогнозованих точках: 0,16648.

Аналіз результатів експерименту

Як видно із наведених нижче графіків (рис. 1) ідентифікація структури моделей із використанням НМГУА дає достатньо високі результати під час прогнозування навіть для моделей із лінійною залежністю. Для лінійних моделей СКВ не перевищує значення 0,72, для залежності виду

$$A_{00} + A_{01} \cdot x_1 + A_{02} \cdot x_2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + A_{11} \cdot x_1^2 + A_{22} \cdot x_2^2$$

СКВ не перевищує значення 0,3.

Найкращі результати структурної ідентифікації і прогнозування отримані на вікні розміром 12 точок за допомогою використання квадратичних часткових описів і максимально можливої свободі вибору (на кожному етапі синтезу відбиралося 10 кращих моделей).

Довготривалий прогноз зони хімічного забруднення під час НС техногенного характеру в результаті вище описаних експериментів мають високу якість (як для моделей з покроковою адаптацією коефіцієнтів, так і без неї), що вказує на можливість успішного використання НМГУА у системах прогнозування хімічних катастроф. Особливий інтерес викликало порівняння результатів прогнозування із використанням моделей, які адаптуються і без адаптації.

У всіх експериментах точність прогнозу з адаптацією коефіцієнтів моделі була вищою. Наприклад під час прогнозу 10 точок СКВ для моделей із адаптацією і без адаптації становило відповідно 0,813634 в 0,99096.

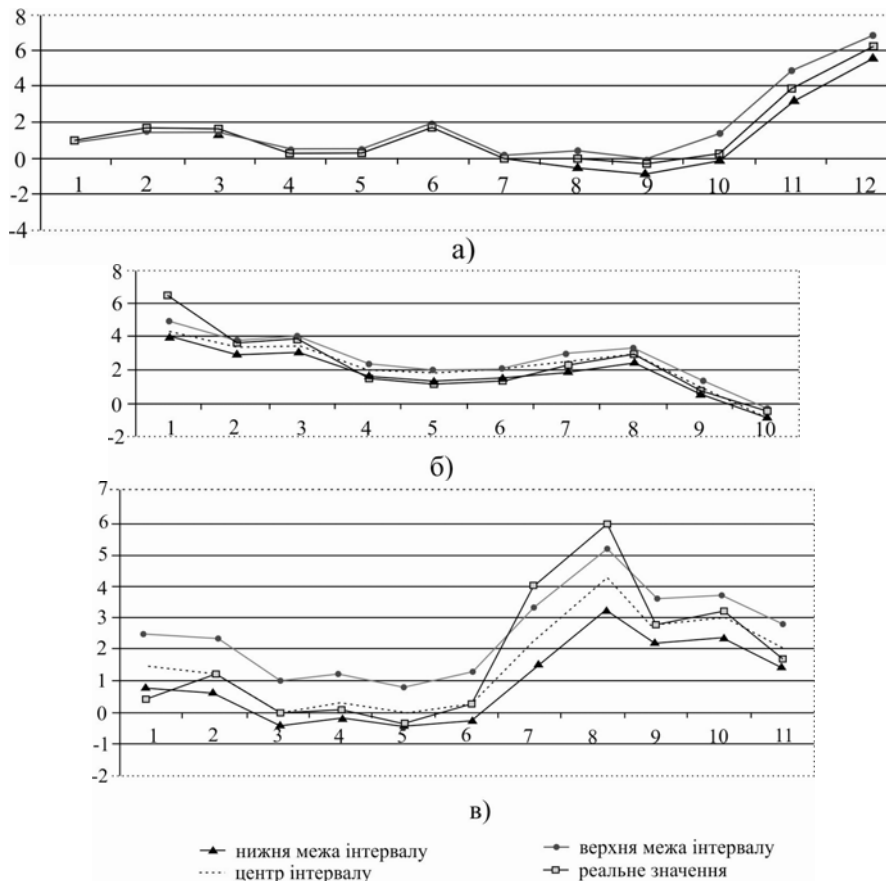


Рис.1. Графіки ідентифікації структури моделей з використанням НМГУА:

а) дані рухливого вікна прогнозування: розмір – 12 точок, для навчання – 7 точок, для перевірки – 5 точок; б) прогноз 10 точок був отриманий шляхом прогнозування кожної наступної точки за допомогою моделі із коефіцієнтами адаптації; в) прогноз 11 точок був отриманий шляхом прогнозування кожної наступної точки за допомогою моделі із коефіцієнтами адаптації

Під час прогнозування 11 точок СКВ становило – 0,88312 та 1,16648 відповідно. Дані результати свідчать про необхідність застосування адаптації для коректування коефіцієнтів моделі за новими даними, що надходять, і дозволяють уникнути великого об'єму розрахунку, пов'язаного із повторним синтезом моделі. Але необхідно відмітити, що в умовах розташування загороджувальних елементів (будівель, споруд і т.п.) або змінному вітрі, залежність між вхідними і вихідними процесами може суттєво змінюватися на короткому відрізку часу і адаптація коефіцієнтів моделі може не призвести до очікуваного результату, тому що поточна модель стає не адекватною, і тоді необхідний синтез нової моделі. Відповідно, для підвищення точності прогнозу необхідно визначити деякий баланс між адаптацією існуючої моделі і синтезом нової

моделі. Зокрема суттєва помилка прогнозу є сигналом для синтезу нової моделі.

Результати проведених експериментів із різними функціями приналежності

Був проведений експеримент моделювання невідомої функції з використанням програмної реалізації описаного вище алгоритму НМГУА із використанням різних функцій приналежності (ФП). В якості вхідних параметрів були взяті наступні показники: вид хімічної речовини; напрям та швидкість вітру; час (період) виходу хімічної речовини; загальний об'єм хімічної речовини в пошкодженому обладнанні (ємності).

Вихідною змінною, що прогнозується, була зона забруднення НХР.

Масив вхідних даних розміром 28 точок був розбитий на 11 вікон (проміжків) даних, на яких будувалася модель. Розмір кожного вікна склав 12 точок, кожне вікно було зміщене на одиницю часу (10 хв) відносно попереднього значення. Після цього проводився прогноз на 5 шагів уперед.

На кожному етапі синтезу НМГУА вибиралося 7 кращих повних квадратних моделей часткових описів. Співвідношення критеріїв регулярності і незміщеності у визначенні похибки часткових описів: 0,7/0,3. Для гаусовської і колокоподібної функції приналежності задавався рівень значимості 0,7.

Результати експериментів наведені в табл. 1, 2:

Таблиця 1

Номер вікна	СКО		
	Трикутна ФП	Гаусівська ФП	Колокоподібна ФП
1	1669,8620	1655,4260	1652,1840
2	458,4141	449,6609	447,6822
3	830,1062	826,8912	826,1713
4	1362,0540	1353,9970	1352,1930
5	1858,8730	1845,2010	1842,1330
Середнє:	1235,8620	1226,2350	1224,0730

Таблиця 2

Порівняльний аналіз гаусовської і колокоподібної ФП із різними рівнями значимості.

Рівень значимості	СКО з гаусівською ФП	СКО з колокоподібною ФП
0,3	1368,135	1365,201
0,5	1366,106	1363,162
0,7	1361,489	1361,162
0,8	1361,796	1358,851
0,9	1359,482	1359,201

Висновки

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

Використання НМГУА у задачах прогнозування зони забруднення НХР зі складною динамікою і невідомим функціональним взаємозв'язком між процесами є повністю обґрунтованим і дозволяє отримати порівняно високу точність прогнозу.

Використання адаптації коефіцієнтів знайденої нечіткої моделі по поточних даних дозволяє підвищити точність прогнозування на 15–20 %.

Результати прогнозування по НМГУА практично мало залежать від типу функції приналежності. Але перевагу мають гаусовські і колокоподібні ФП перед трикутною, тому, що вони визначаються заданим рівнем значимості, що може забезпечити додаткову гнучкість алгоритму.

Література

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році.
2. Иванов А.В. О достоверности использования вычислительного комплекса PHOENICS в расчетах рассеяния вещества в возмущенном потоке / А.В. Иванов, Б.С. Матрюков // Известия ВУЗов: Черная металлургия. – 1999. – № 11. – С. 64–68.
3. Зайченко Ю.П. Синтез і адаптація нечітких прогнозуючих моделей на основі методу самоорганізації / Ю.П. Зайченко, І.О. Заєць // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2001. – № 3. – С. 34–41.
4. Землянський О.Н. Элементы теории прогнозирования чрезвычайных ситуаций в условиях неопределенности / О.Н. Землянський // Материалы V межд. школы-семинара «Теория принятия решений». – Ужгород : УжНУ, 2010. – С. 102.
5. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Зайченко Ю.П. – К. : «Издательский Дом «Слово», 2008. – 344 с.
6. Мониторинг чрезвычайных ситуаций / [Ю.О. Абрамов, Е.М. Гринченко, О.Ю. Киригин и др.] ; под редакцией Ю.О. Абрамова. – Х. : АЦЗУ, 2005. – 530 с.

Рецензія/Peer review : 7.9.2016 р. Надрукована/Printed : 29.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Костенко В. К.

Н.І. ТРОЦИШИНА, І.В. ТРОЦИШИН
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова
О.П. ВОЙТЮК
Хмельницький національний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПОБУДОВИ ЦАП І АЦП ІЗ ПРОГРАМОВАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ ДРОБОВО-РАЦІОНАЛЬНОЇ ШКАЛИ ВИМІРЮВАНЬ

Розглянуті моделювання утворення квантової вимірювальної шкали вимірювальних перетворень за методом коінциденції. Проаналізовано утворення додаткових поділок для дробової та дробово-раціональної шкал вимірювання. Вперше вказано на особливості поведінки позначок та їх розподіл на відрізках шкали в тривимірній графіці. Запропоновано використання ЦАП і АЦП із програмованими характеристиками перетворення при побудові унікальних зразків вимірювальних приладів.

Ключові слова: моделювання, дробово-раціональна шкала, квантовані значення, вимірювання частоти, метод коінциденції, тривимірна графіка, програмовані ЦАП і АЦП.

N.I. TROTSYSHYNA, I.V. TROTSYSHYN
Odessa National Academy of Telecommunications named after O.S. Popov
O.P. VOYTYUK
Khmelnytsky National University

BUILDING POLICY DIRECTIONS DAC AND ADC WITH PROGRAMMABLE PARAMETERS DATA CONVERSION MEASURING CONVERSION BASED FRACTIONAL-RATIONAL MEASUREMENT SCALE

Considered modeling of quantum measurement measuring scale transformation method kointsydentsiyi. Analyzed the formation of additional divisions for fractional and fractional rational scales of measurement. For the first time shown on the behavior of the tags and their distribution on the segments of the scale in three-dimensional graphics. The use DAC and ADC with programmable characteristics of transformation in the construction of unique specimens measuring devices.

Keywords: modeling, fractional rational scale, quantized values, frequency measurement method kointsydentsiyi, graphics, programmable DAC and ADC.

Вступ

Розвиток людства напряму пов'язаний із пошуком та відкритті нових закономірностей які існують в природі, і в принципі не залежать від людини. Окрему групу складають так звані квантові теорії які визначають потенційно можливі стани природних об'єктів, всі ж інші в природі існувати «не можуть»?.

Зрозуміло, що важливість таких знань не тільки проводити дослідження ефективно і має дуже реальний інтерес застосування. Зрештою, якщо природний об'єкт в принципі не може бути ні в одному із станів, ми не повинні намагатися встановити його там. Типовим прикладом є «проблема вічного руху», або квантової теорії Бора орбіти електронів, і так далі. Ще однією особливістю таких знань є те, що вони, як правило, покладаються на природні точки відліку, які є в даному випадку природними речами, і не вимагають спеціалізованої метрологічної бази, як у класичній метрології. Якщо для розвитку "штучних стандартів" не приймають до уваги відомі закони природи, ми отримуємо додаткову методологічну помилку, що в деяких випадках може привести до повної непрацездатності моделі. Тому, як приклад наявності таких закономірностей, які забезпечують прорив в наукових пізнаннях світу приведемо результати дослідження, добре відомого вимірювання частоти цифровим методами, і покажемо, саме прояв нових корисних можливостей, при зміні базового

Розглянуто принципи побудови методів та засобів вимірювання та перетворення фазочастотних і амплітудних параметрів радіосигналів на основі новітніх підходів в рамках Квантової теорії вимірювального перетворення (КТВП) [1-4]. Вказано на існуючу ієрархію сучасних новітніх підходів та класичних методів, проведено порівняння їх характеристик за принциповим параметром: точність (роздільна здатність) х швидкодія вимірювальних перетворень. Вказано на принципове значення впровадження новітніх досягнень у навчальний процес з підготовки фахівців радіотехнічних спеціальностей.

Сучасні методи вимірювання як частотних так і амплітудних параметрів радіосигналів стикаються із непереборною проблемою, неможливості одночасного підвищення як точності вимірювання (зменшення похибки вимірювання) при незмінному часі вимірювання (часу доступу до сигналу), або ж зменшення часу вимірювання при збереженні потрібного рівня точності. В рамках відомих класичних методів діє принцип : або точність, або час вимірювання, одночасне їх покращення неможливе. В той же час використання методу шкали коінциденції, та використання адекватних математичних моделей, які відповідають реальним, а не ідеалізованим сигналам, дозволяють отримати унікальні можливості здійснення таких вимірювань. Всі вони спираються на принципи та методологію квантової теорії вимірювального перетворення.

Принципи і методологія квантової теорії вимірювального перетворення

Першим питанням є вибір моделей які адекватні реальним сигналам, таким є питання відмови від прийнятої (класичної) моделі визначення частоти як величини $1/T$, (оберненої періоду). Адже очевидними є два моменти, радіосигнали (які переносять інформацію) принципово не є періодичними, хіба що на обмежених ділянках, визначення миттєвої частоти як похідної від повної фази, (диференціювання). У всіх сучасних частотомірах операція вимірювання частоти полягає у функції підрахунку імпульсів (періодів) вимірюваного сигналу (інтегрування), що і призводить до обмеження: неможливості одночасного покращення і точності і швидкодії вимірювань.

Іншим прикладом який вказує на принципові обмеження класичного визначення частоти може слугувати періодичний сигнал *Sinc* (Інтегральний синус), який має унікальні можливості у спектральному представленні, а питання визначення частоти для нього взагалі втрачає сенс, особливо якщо розглянути спектральні складові таких сигналів. Типовий вигляд отримання таких сигналів сучасним синтезаторами та їх вигляд на екрані цифрового осцилографа приведено на рис.1



Рис. 1. Формування сигналу (періодичного) типу Sinc

Якщо для синтезатора FY3200 (рис.1) питання формування сигналів у діапазоні до 10 МГц, дає гарну візуальну картинку на екрані осцилографа, то питання вимірювання частоти вмонтованого частотоміра 100 мілігерц.

Для FY2300 (60 МГц) (рис.2, рис.3), робота на частотах вище 25 МГц буде істотно спотворювати картинку, так як 14біт ЦАП і 250 Мв/с, буде вносити значну похибку квантування на бокових пелюстках сигналу. Іншим принциповим моментом, той факт що крок зміни частоти – 1 мікрогерц, а частотомір мА роздільну здатність всього 10 мілігерц.

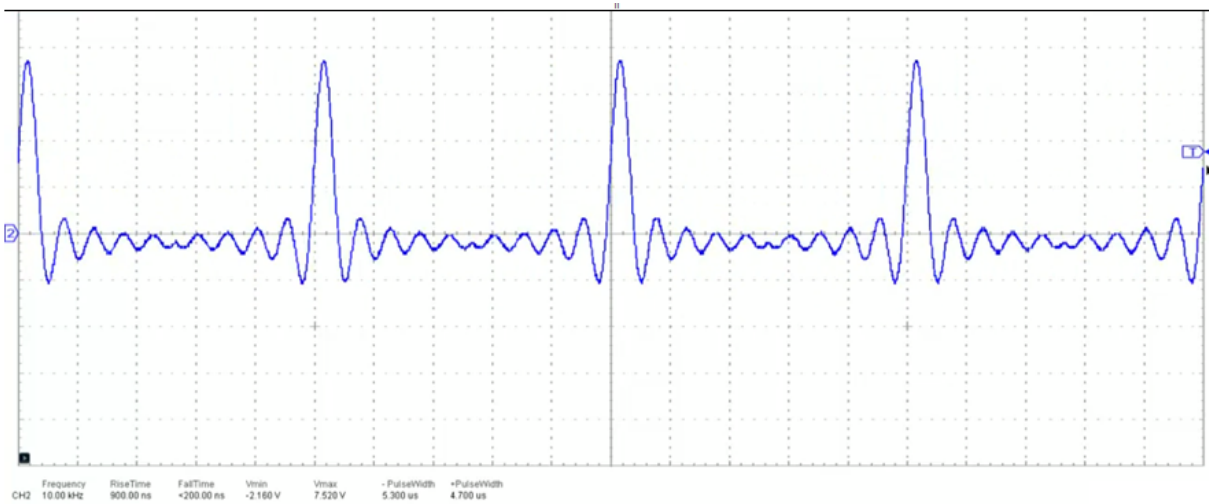


рис. 2 – Формування сигналу (періодичного) типу Sinc для FY2300 (60 МГц)

На рис.3 приведено фото практичних вимірювань частотоміром коінциденції.



Рис. 3 – Вимірювання частоти за методом коінциденції (1 Гц за час 1 мілісекунда)

Характерним є порівняння розроблених та існуючих принципів вимірювання за комплексним параметром точність x швидкість вимірювання [1-4]. (рис.4)

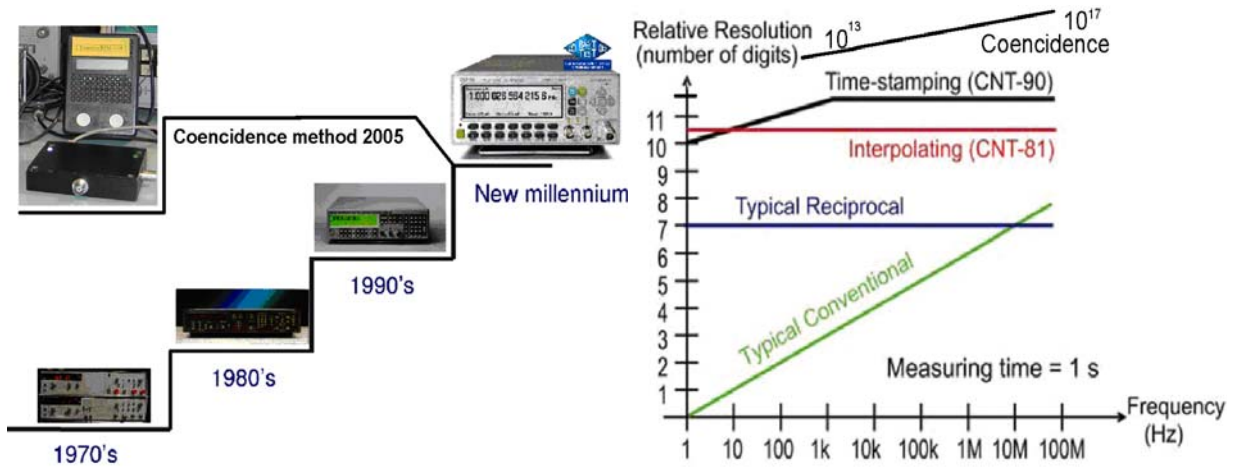


Рис. 4. Порівняння методів вимірювання частоти

Новітні методи допомагають також вирішити проблему збільшення роздільної здатності ЦАП (при покращенні швидкодії) [1-5], що вирішує проблеми формування сигналів довільної форми із малими спотвореннями спектральних складових, так при 8-ми резисторному порівнянні можливо отримати 22, 166, 169 і навіть 247 точок шкали перетворення, зріст динаміки виграшу від рорядності показано на рис.5.

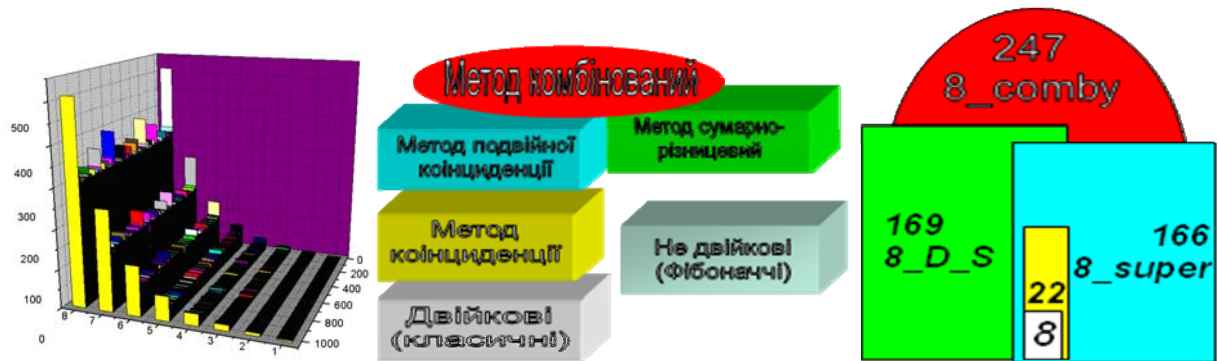


Рис. 5 – Зростання динаміки виграшу від розрядності, сучасна класифікація та ієрархія методів вимірювального перетворення, зростання точок перетворення

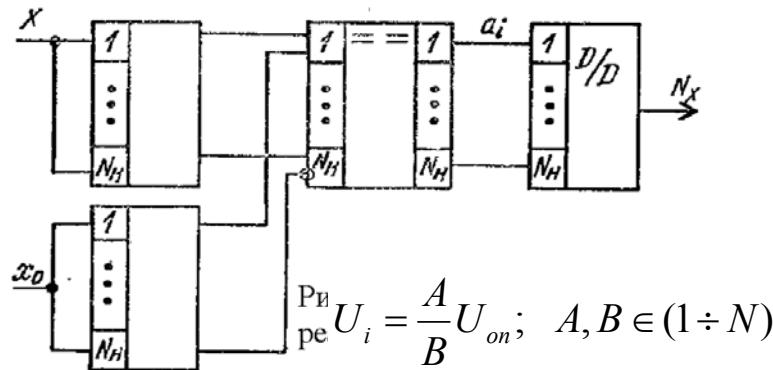


Рис. 6 - Типова функціональна схема вимірювання методом коінциденції

Основні рівняння :

$$N_{i \bmod \leq 1,000} = \frac{j}{k}, \quad j, k \in (1 \div N),$$

$$N_i = \bmod_{\leq 1,000} \left\{ \frac{A_j}{B_k} \right\}, \quad j, k \in 1 \div N.$$

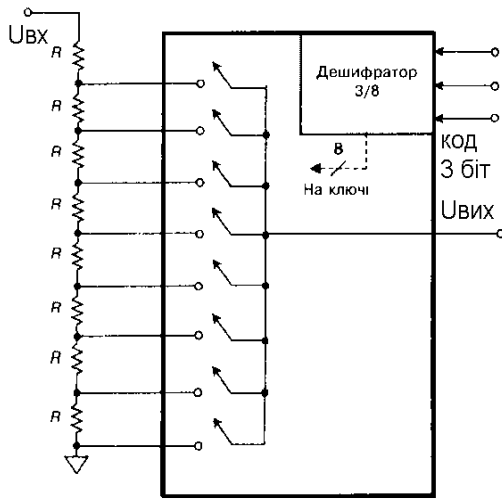


Рис. 7. Подільник Кельвіна

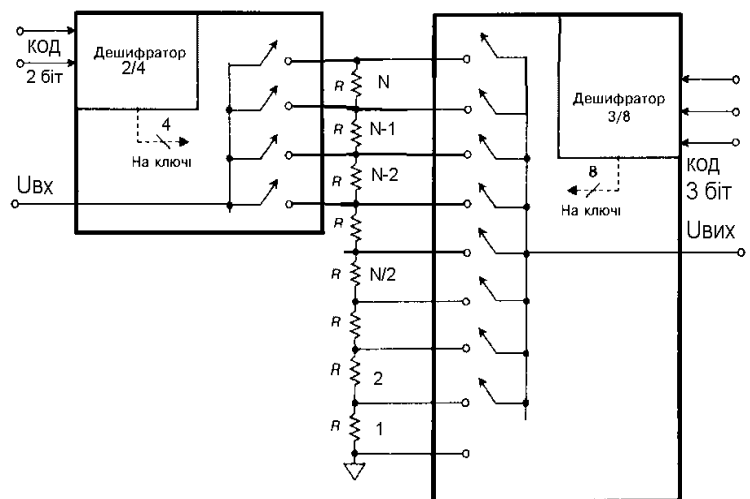


Рис. 8. Подільник Троцишина

Розроблена КТВП і прилади та вимірювальні перетворювачі побудовані на її основі є вищим рівнем ієрархії (з чотирма рівнями), де класичні методи є найнижчим (примітивним) рівнем, який входить у всі рівні вищої ієрархії, і дозволяє одночасно покращити параметр ТОЧНІСТЬxШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ вимірювання фізичних величин, який для «класики» є величина постійна, тобто, жоден із класичних методів реалізованих на одному і тому ж технологічному рівні не може скласти будь яку конкуренцію, адже він є мінімальним рівнем розроблених методів КТВП [1-5]

Використання результатів новітніх розробок у навчальному процесі

Новітні підходи широко впроваджено у нові спеціальності, спеціалізації, курси лекцій або їх розділи: «ЦАП і АЦП нового покоління». Курс «Новітні методи та засоби вимірювальної техніки», для спеціальностей «Радіотехніка», (2013-2014р.р.) «Новітні методи вимірювання в АСУ ТП» (2013.р.), «Вимірювання частоти за методом коінциденції». Курс «Новітні методи та засоби вимірювальної техніки», для спеціальностей «Радіотехніка», (2013-2014р.р.) «Новітні методи вимірювання в АСУ ТП» (2013.р.), «Квантова теорія вимірювального перетворення». Курс «Новітні методи та засоби вимірювальної техніки», для спеціальностей «Радіотехніка», (2013-2014р.р.) «Новітні методи вимірювання в АСУ ТП» (2013.р.), «Методи та засоби вимірювання частоти за методом коінциденції в телекомунікаційних системах»: Курс «Новітні методи та засоби вимірювальної техніки», для спеціальностей «Радіотехніка», (2013-2014р.р.) «Новітні методи вимірювання в АСУ ТП» (2013.р.),

Типовий графік виконання самостійного завдання з розрахунку передавальної характеристики АПТ [5] приведено на рис.9.

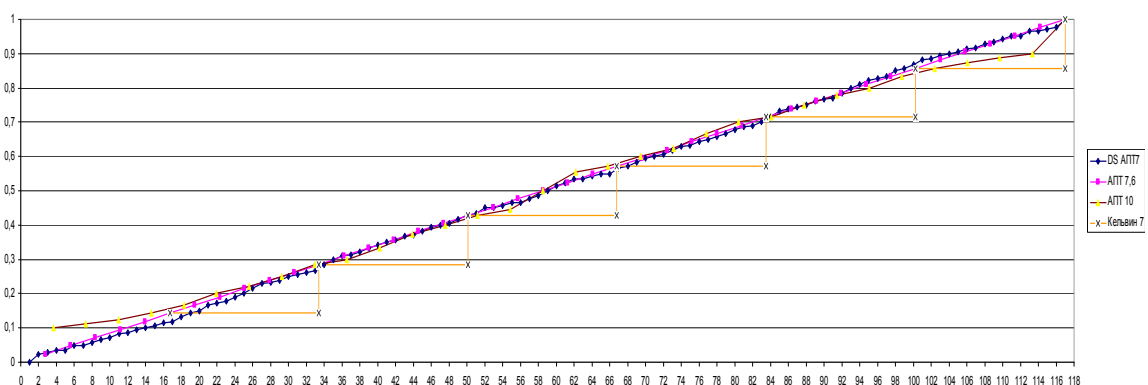


Рис. 9 – Характеристики Подільників Троцишина

Для АПТ-10 вигляд характеристики перетворення приведено на рис.10.

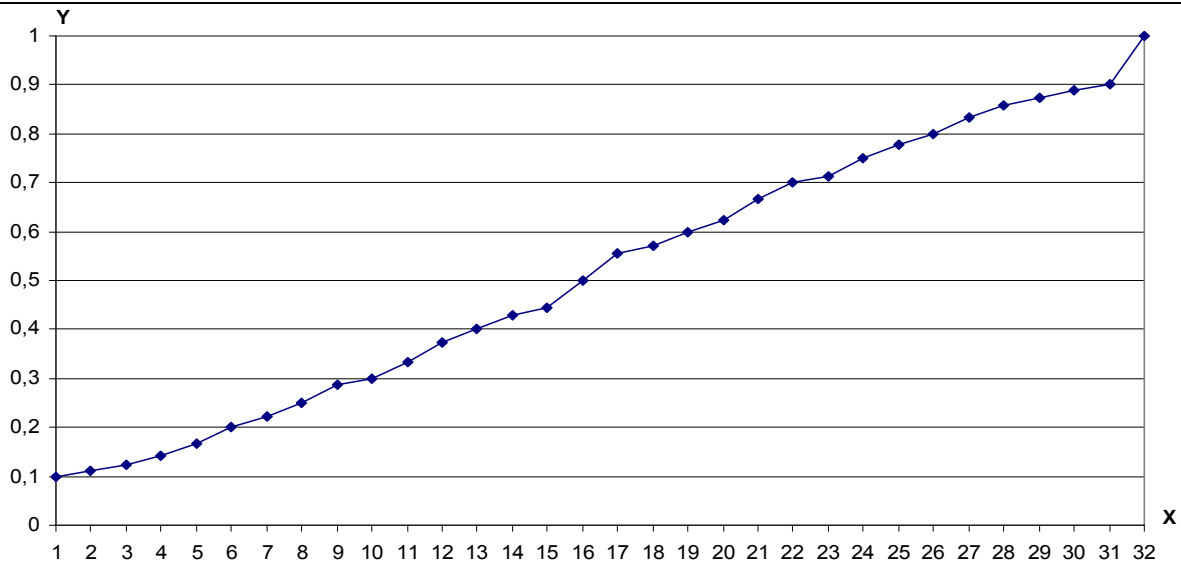


Рис. 10. Передавальна характеристика Подільника Троцишина 10

Розглянувши рис.9-10 детально можливо помітити цікаві закономірності, а саме зміни кількості додаткових поділок (дробову частину), яка виникає за умови використання шкали відношень і методу коінциденції. При цьому очевидним є що наявність 3-7 двійкових розрядів не дає суттєвих переваг, і шкали в кожній із меж класичних (цілочисельних поділок) досить нерівномірно розташовані, що видно візуально, в той же час при збільшенні до 8-10 розрядів, шкали зливаються у майже пряму лінію а кількість “дробових” поділок різко зростає, особливо наглядно це показує трьохмірне відображення в нормованих шкалах всіх наведених на рис.11/

Провівши простий аналіз можливо зробити кількісні параметри дробово-раціональної шкали, які показують значне підвищення саме роздільної здатності такої шкали у порівнянні із класичною (двійковою), яке подвоюється при подвоєнні розрядності лічильника. В той же час кількість поділок в межах всієї шкали розташована нерівномірно, найбільше їх на крайніх початкових та кінцевих поділках (4 з 8, 8 з 16, 16 з 32, і т.д), тобто, в межах $[1 - \frac{1}{2^N}]$ міститься 2^{N-1} додаткових поділок. В інших, проміжках двійкової шкали кількість поділок змінна, але при збільшенні розрядності (більше 8), такі відхилення зменшуються і для розрахунків можуть бути апроксимовані як 2^{N-2} поділок.

Таким чином, результати моделювання в повній мірі підтвердили як теоретичні висновки про можливість одночасного підвищення і точності і швидкодії вимірювань, а також що єдиним методом який забезпечує такий істотний вииграш (у десятки сотні разів) є лише метод коінциденції.

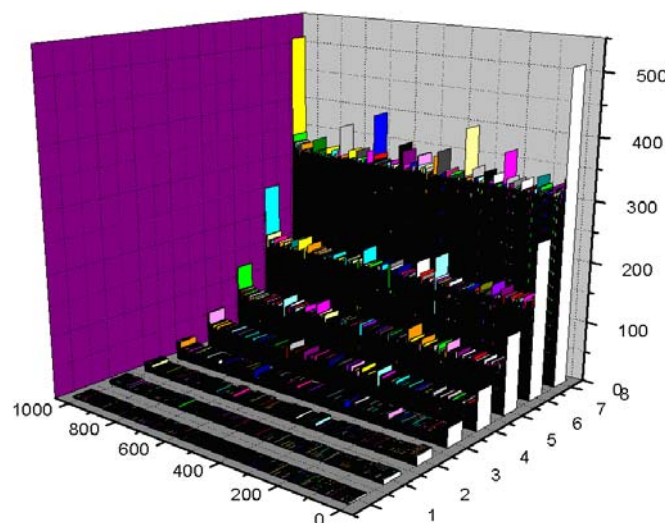


Рис. 11. Динаміка групування кількості “дробових “поділок” в межах 1-1024 класичної шкали

Висновки

Враховуючи, що вимоги сучасного рівня точності та швидкодії вимірювання фазочастотних та амплітудних параметрів радіосигналів не відповідають вимогам, особливо роздільної здатності менше 1 мікрогерц (на частотах 100 і більше МГц, а також формування ЦАП сигналів із малими (менше 10^{-4})

похибками на частотах у 100МГц, тому перспективним є використання лише теорії квантового вимірювального перетворення, її принципів і методології які базуються на використанні методу коінциденції, для зняття протиріччя між точністю та швидкістю вимірювання.

Кількість поділок на вимірювальній шкалі вимірювань за методом коінциденції зростає за рахунок появи додаткових поділок у проміжках класичної рівномірної двійкової шкали всередньому пропорційно 2^{N-2} .

Додаткові поділки у початковій частині вимірювальної шкали розташовуються значно густіше (2^{N-1}), але нерівномірно по всій шкалі, причому із збільшенням розрядності ця нерівномірність густини зменшується.

Вимірювання частоти за методом коінциденції є найвищим рівнем ієрархії сучасних методів вимірювання.

В цілому точність вимірювання частоти в РТС і ТКС можливо покращити в рази, одночасно збільшивши швидкодію отримання результатів таких вимірювань, лише за методом коінциденції.

Література

1. Троцишин І.В. Квантова теорія випромінювань: принципи та методи вимірювального перетворення параметрів радіосигналів. І.В. Троцишин, О.П. Войтюк, Н.І. Троцишина // Матеріали Одинадцяті міжнародної науково-технічної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", (ВОТТП_11_2012), 5 - 8 червня 2012р. в м. Хмельницький, С.25-28.

2. Троцишин І.В. ЦАП і АЦП на основі аттенюатора-подільника Троцишина (апт) і його модифікації. І.В. Троцишин, О.П. Войтюк, М.І. Троцишин // Матеріали Одинадцяті міжнародної науково-технічної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", (ВОТТП_11_2012), 5 - 8 червня 2012р. в м. Хмельницький, С.100-103.

3. Троцишин І.В. Новое поколение ЦАП-АЦП с программируемыми параметрами характеристики преобразования на основе аттенюатора-делителя Троцишина / И.В.Троцишин // Инженерные и научные приложения на базе технологий National Instruments-2012; Сборник трудов XI международной научно-практической конференции, Москва 6-7 декабря 2012г, С. 420-422.

4. Троцишин І.В.. ЦАП-АЦП на основі аттенюатора-делителя Троцишина с программируемыми параметрами характеристики преобразования / И.В. Троцишин // Матеріали конференції. 67- ма науково-технічна конференція професорсько викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів, одеса, 5-7 грудня 2012 р. – С. 70-75.

5. Троцишин І.В. Спосіб побудови аттенюатора-подільника Троцишина. Патент України 100581. МПК (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/06 (200), Опубліковано 10.01.2013, Бюл. № 1.

Рецензія/Peer review : 19.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 31.10.2016 р.

Статтю представляє: д.т.н., проф.. Трошин І.В.

КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА МАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА V

Розглянуті механізми дифракції та інтерференції контактено-наведених внутрішніх хвиль, що ведуть до формування когерентних космічних форм руху. Ці механізми обумовлюють, зокрема, характерні періоди сонячної активності та структури грануляції, надгрануляції, гігантської грануляції в конвективній зоні та атмосфері Сонця. Показано, що контактне динамо є генератором космічних частинок надвисоких енергій в процесі прямого енергетичного каскаду за участю внутрішніх хвиль. Контактний термоядерний синтез, активований електромагнітною енергією металізованого водню, є основним джерелом важких елементів в космічних системах, зокрема, заліза та нікелю на планетах Земної групи. Встановлено, що тривалий часовий розрив у формуванні сфероїдних (еліпсоїдних) та дискових компонент галактик обумовлений нестаціонарністю контактено-обумовленого витікання речовини з ядер галактик. При цьому найдревніші сфероїдні компоненти були утворені в умовах рідкого металізованого водневого ядра, а дискові – значно пізніше – після отвердіння ядра та формування контактних зон в екваторіальній області його обертання. Відмічено, що існуюче розділення галактик на "нормальні" (неактивні) та "аномальні" (об'єкти з активними ядрами) є штучним і не враховує реальні механізми еволюції космічних систем та суттєву роль металізованого водневого активатора термоядерних реакцій у цій еволюції. Розглянуто контактне зореутворення у високотемпературних хмарах іонізованого водню, ініційоване інтерференцією контактено-наведених внутрішніх хвиль в оболонках та спіральних гілках галактик. Спростована доплерівська природа червоного зміщення у спектрах галактик та квазарів, що вже тривалий час видається за результат т.з. Великого Вибуху та прискореного розширення Всесвіту. Показано, що в дійсності таке зміщення пояснюється подвійною Бреґівською дифракцією фотонів на фононах на поверхні комічного пилу (метеороїдних частинок) в умовах низьких температур.

Ключові слова: космічне контактне динамо, металічний водень, внутрішні хвилі, інтерференція, дифракція, когерентність, сонячна активність, сонячна грануляція, еволюція галактик, активне ядро, квазар, контактний термоядерний синтез, контактне зореутворення, червоне зміщення, акустооптична дифракція, космологічна сингулярність

YU. P. ZASPA

Khmelnytsky National University

CONTACT DYNAMO AS A GENERATOR OF THE COHERENT SPACE FORMS OF MOTION AND A SOURCE OF THE PLANETARY, SOLAR, GALACTIC, AND METAGALACTIC ENERGY AND MAGNETISM. PART V

The mechanisms of diffraction and interference of contact-described internal waves, leading to the formation of coherent space forms of movement are examined. These mechanisms cause the particular characteristic periods of solar activity and structure granulation, supergranulation, giant granulation in the convective zone and the solar atmosphere. It is displayed that contact dynamo is a generator of ultrahigh space particles energy in the direct energy cascade involving internal waves. Contact nuclei fusion activated by electromagnetic energy of metallic hydrogen is the main source of heavy elements in space systems, including iron and nickel on the terrestrial planets. It is revealed that the long time gap in the formation of spheroid (ellipsoid) and disk components of galaxies is due to transience contact-specified substances leaking from the cores of galaxies. However, the most ancient spheroid components have been created in the terms of a liquid metallic hydrogen core, but disk-shaped – much later – after hardening of the core and forming of the contact zones in the equatorial region of its rotation. It was noted, that the existing division of galaxies to "normal" (inactive) and "abnormal" (objects with active nuclei) is artificial and does not account for the actual mechanisms of evolution of space systems and the essential role of the metallic hydrogen activator of fusion reactions in this evolution. The contact star formation in high-temperature clouds of ionized hydrogen, initiated by interference of contact internal waves in the membranes and spiral galaxies is analyzed. Doppler effect in the spectra of galaxies and quasars, which has been issued for the outcome of the so-called Big Bang and the rapid expansion of the universe for a very long time is refuted. It is presented that, in fact, such a shift is explained by a double Bragg diffraction of photons on the phonons at the surface of cometic dust (particles meteoroid) at low temperatures.

Keywords: space contact dynamo, metallic hydrogen, internal waves, interference, diffraction, coherence, solar activity, solar granulation, the evolution of galaxies, active nuclei, quasars, contact nuclei fusion, contact starburst, red shift, acousto-optical diffraction, the cosmological singularity

Вступ

В даній частині роботи проводиться аналіз фізичних механізмів космічного контактеного динамо, що суттєво уточнює раніше отримані результати [1–4] щодо модових характеристик резонаторів гравітаційно-акустичних хвиль в космічних системах. Як виявилось, дискретний частотний спектр когерентних структур руху в цих системах обумовлений не тільки (і не стільки) зовнішніми резонаторами, як інтерференцією контактено-наведених внутрішніх хвиль у Френелевих та Фраунгоферових дифракційних зонах поблизу космічних контактів. Механізми цих процесів розглядаються нижче.

Контактено-наведені внутрішні хвилі

У різко неоднорідних (розривних) та анізотропних контактних шарах речовини в умовах нестаціонарної взаємодії генеруються специфічні внутрішні хвилі, подібні до відомих внутрішніх хвиль у шаруватій (стратифікованій) рідині [5, 6]. Специфіка цих хвиль полягає у тому, що їх групова швидкість

ортогональна до фазової швидкості – рис. 1. При коливаннях джерела хвиль у шаруватій рідині вся енергія внутрішніх хвиль випромінюється по твірній “групового конуса” з кутом при вершині Θ_{gr} (рис. 1), таким, що [5]:

$$\cos \Theta_{gr} = \omega / N, \quad (1)$$

де ω – циклічна частота коливань, N – частота плавучості (Брента-Вяйсяля), рівна циклічній частоті власних коливань елемента рідини у вертикальному напрямі. Хвильовий вектор \vec{k} складає з вертикаллю кут φ – доповнюючий до 90° щодо кута Θ_{gr} [6]:

$$\sin \varphi = \omega / N. \quad (2)$$

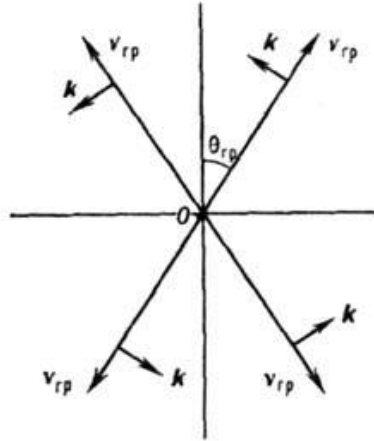


Рис. 1. Напрями групової швидкості та хвильового вектора внутрішніх хвиль, згенерованих гармонічним джерелом, що знаходиться в точці О, (при постійній частоті плавучості) [5]

Однак, найважливішою особливістю такого роду внутрішніх хвиль є фактична відсутність дисперсійного відношення між циклічною частотою та хвильовим вектором: якщо кут φ заданий, то частота ω визначається однозначно, в той час як довжина хвилі та фазова швидкість можуть набувати довільних значень [6]. Саме ця особливість з одного боку радикально розширює поле контактної синтезу когерентних структур руху, а з іншого – “втаємничує” властивості цих структур. Розкриття такого роду таємниць в даній роботі здійснюється перевіреним раніше методом [1–4]: шляхом порівняльного аналізу космічних та технічних контактних систем.

Інтерференція та дифракція контактено-наведених внутрішніх хвиль

Аналіз спектрів контактної акустичної емісії в технічних системах, а також спектрів, зокрема, сонячної активності, доводить, що характерні частотні складові цих спектрів утворені внаслідок інтерференції падаючих та дифрагованих (на відповідних контактах) внутрішніх хвиль. Ключовим для розуміння цих процесів є фактор зворотного зв'язку в динамічній системі: падаючі хвилі “спотворюють” поверхню контакту, на якій врешті й дифрагують. Рефракція дифрагованих хвиль у неоднорідних та анізотропних підконтактних шарах речовини замикає коло зворотного зв'язку, що приводить до інтерференційної селекції когерентних структур руху. Зовнішні резонатори у цій схемі відіграють вторинну роль.

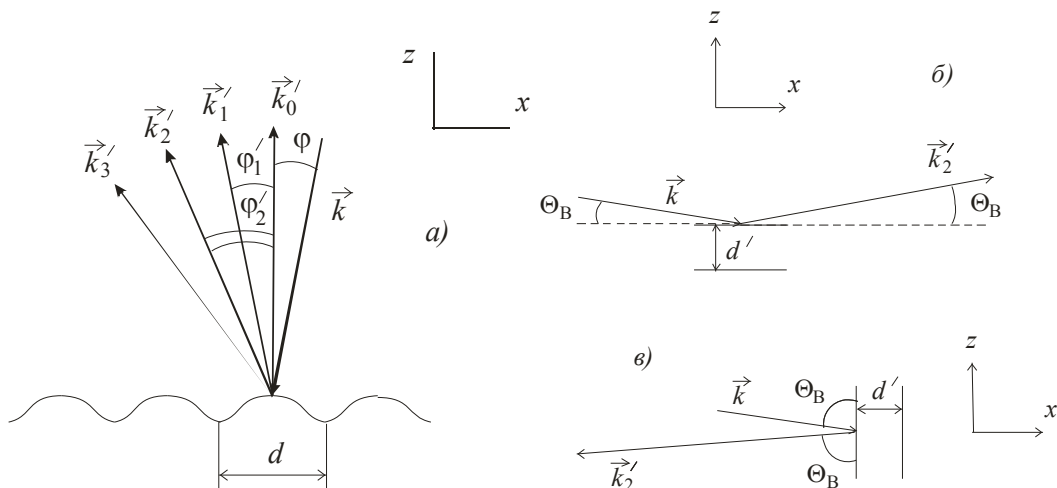


Рис. 2. Схема дифракції внутрішніх хвиль на наведених ними ж неоднорідностях контактної поверхні в режимі, подібному до акустооптичної дифракції Рамана-Ната (а) та Брегга (б, в)

Найближчим із відомих фізичних процесів до вищевказаного є дифракція світла на ультразвукових хвилях (акустооптична дифракція) [5, 7], що на відміну від класичних схем дифракції світла на стаціонарних неоднорідностях (ґратках) [8], призводить не лише до відхилення та просторової концентрації світла, але й до зміни його частоти. Із врахуванням співвідношень (1) – (2) це означає, що кути дифракції та відповідні частоти внутрішніх хвиль взаємно пов'язані. Прямим результатом відміченої аналогії з акустооптикою є нижченаведене пояснення відомого червоного зміщення у спектрах галактик та квазарів не гіпотетичним Великим Вибухом та ілюзорним розширенням Всесвіту, а подвійним Бреґґівським розсіянням фотонів на фонах на поверхні космічних частинок в умовах низьких температур. Однак, спочатку слід конкретизувати схеми контактної дифракції внутрішніх хвиль, подібні до відомих схем Рамана-Ната та Бреґґа в акустооптиці [7]. На рис. 2 а наведена схема дифракції внутрішніх хвиль на наведених (ними ж) неоднорідностях поверхні контакту, подібна до режиму Рамана-Ната акустооптичної дифракції. Хвильовий вектор \vec{k} падаючої хвилі утворює з нормаллю до площини контакту (вісь z) кут φ , що входить у співвідношення (2). Дифракційні максимуми розсіяних хвиль (позначені штриховою) відповідають відомій формулі дифракційної ґратки для дифракції Фраунгофера [8]:

$$d \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi'_m = m \cdot \lambda, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Оскільки для внутрішніх хвиль закон відбивання у звичайному розумінні не виконується (тобто кут відбивання не рівний куту падіння) [6], то у даному випадку ґратка на відбивання замінена на еквівалентну у фізичному плані ґратку на прохід, що має період $d \cdot \cos \varphi$ [8]. При цьому період вихідної ґратки задається наступним чином:

$$d = 2\pi / k_x, \quad k_x = k \cdot \sin \varphi. \quad (4)$$

Довжина падаючої хвилі λ визначається стандартно:

$$\lambda = 2\pi / k. \quad (5)$$

Враховуючи (3) – (5), врешті отримаємо:

$$\sin \varphi'_m = m \cdot \text{tg} \varphi, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

Це співвідношення разом із (2) дозволяє виразити частоти розсіяних (дифрагованих) хвиль ω'_m через частоту падаючої хвилі ω та частоту нормальних коливань N :

$$\omega'_m = \frac{m \cdot \omega}{\sqrt{1 - (\omega / N)^2}}, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Зазначимо, що вираз (4) набуває фізичного змісту лише в умовах багатопроменевої інтерференції дифрагованих хвиль, або ж відповідно – колективної взаємодії контактної-наведених внутрішніх хвиль.

Отримане співвідношення (6) визначає критичні умови відсічки дифрагованих хвиль m -го порядку (крім нульового):

$$\text{tg} \varphi_{cr}^m = 1 / m, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

Як видно, максимум першого (і всіх вищих за нього) порядку відсікається при $\varphi_{cr}^1 = 45^\circ$, максимум другого (і всіх вищих за нього) порядку – при $\varphi_{cr}^2 \approx 27^\circ$. Остання величина “за дивним збігом обставин” співпадає з характерною широтою появи сонячних плям, що генеруються у контактному розриві Сонячного ядра [1–4].

Відсічка вищих мод може бути виражена також дещо іншим чином, а саме: з умови $\omega'_m \leq N$, що із врахуванням (7) дає:

$$m \leq \left((N / \omega)^2 - 1 \right)^{1/2} \quad (9)$$

Альтернативний режим дифракції контактної-наведених внутрішніх хвиль відповідає Бреґґівській схемі – рис. 2 б, в. У даному випадку

$$n \cdot d' \cdot \sin \Theta_B = \lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

Тут Θ_B – кут Бреґґа, d' – період ґратки, n – ціле число, що у класичному випадку приймає значення $n = 2$ [7, 8]. Інші, відмінні від двійки, значення n , як свідчить аналіз експериментальних даних, мають місце в результаті нелінійної колективної взаємодії внутрішніх хвиль. При цьому слід розрізняти два характерних випадки: малих ($\Theta_B \geq 0^\circ$, рис. 2б) та великих ($\Theta_B \leq 90^\circ$, рис. 2в) кутів Бреґґа. Період ґратки d' для Бреґґівської дифракції, на відміну від режиму Рамана-Ната, визначається через хвильове число розсіяної, а не падаючої хвилі:

$$d' = 2\pi / k'_z, \quad k'_z = k' \cdot \sin \Theta_B \quad (\text{рис. 2б}), \quad (11a)$$

$$d' = 2\pi / k'_x, \quad k'_x = k' \cdot \sin \Theta_B \quad (\text{рис. 2в}), \quad (11б)$$

$$k'_n / k = n, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

Виходячи з того, що нелінійна взаємодія внутрішніх хвиль у даному випадку буде ефективною при

умові співпадання фазових швидкостей падаючої та розсіяної хвилі, матимемо:

$$v'_{ph} = \omega' / k' = v_{ph} = \omega / k, \quad (13)$$

Звідки із врахуванням (12) отримаємо:

$$\omega'_n / \omega = n, \quad n = 1, 2, 3... \quad (14)$$

Отже, частоти дифрагованих внутрішніх хвиль для Бреґівського режиму дифракції кратні частоті падаючої хвилі.

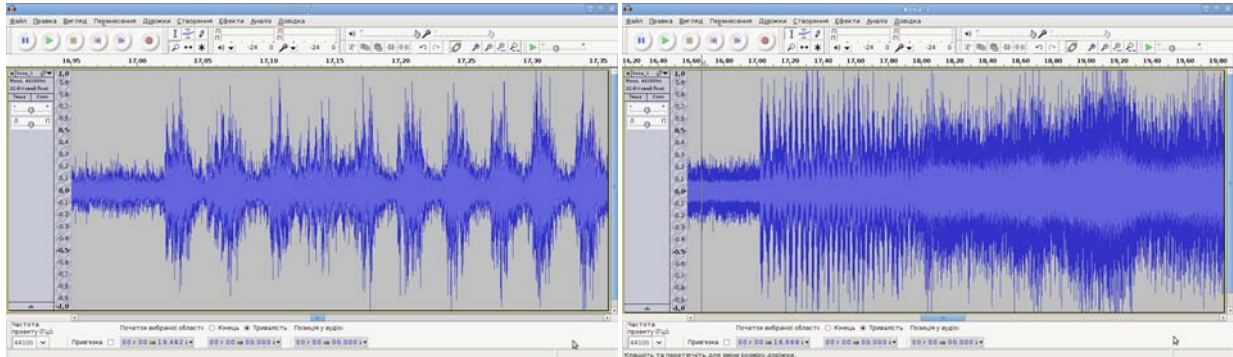


Рис. 3. Акустограми процесу заточування металеві смуги (коси) диском кутової шліфувальної машини

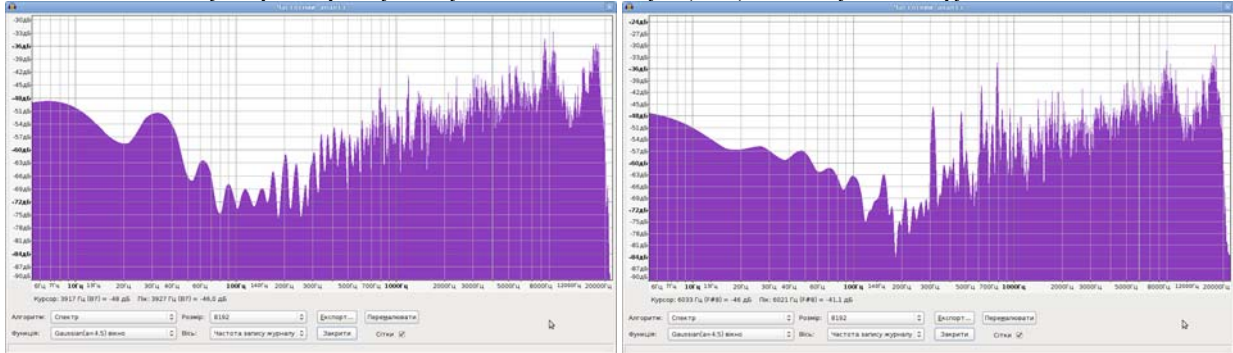


Рис. 4. Спектри Фур'є сигналу акустичної емісії, наведеного на рис. 3, для проміжків часу: 17,6 ÷ 17,9 с (а) та 18,5 ÷ 18,8 с (б)

Отримані співвідношення дозволяють зрозуміти спектральні особливості як технічної, так і космічної контактної-наведеної турбулентності з відповідними когерентними структурами руху. До прикладу, на рис. 3 наведені акустограми процесу заточування металеві смуги (коси) диском кутової шліфувальної машини, а на рис. 4 – відповідні спектри Фур'є сигналу акустичної емісії. На цих спектрах чітко виділяються два кластери – низькочастотний та високочастотний, що відповідають режимам дифракції внутрішніх хвиль типу Рамана-Ната та Бреґа. На початковому етапі процесу (рис. 3а, рис. 4а) формуються виражені низькочастотні форми руху з модовими числами $1 \leq m \leq 14$. При цьому, як видно, відносна спектральна ширина дифракційних максимумів суттєво зменшується по мірі зростання m – у відповідності із зростанням спектрального вирішення дифракційної ґратки [8]. На заключному етапі процесу (рис. 3б, рис. 4б) внаслідок нарощування зовнішнього контактного стиску суттєво підсилюються Бреґівські дифракційні максимуми ($1 \leq n \leq 5$), що беруть початок від роторної частоти (≈ 150 Гц). Чітко виражена ”спектральна долина” між відміченими кластерами (рис. 4) розділяє два каскадних енергетичних потоки: вниз по частотах за рахунок взаємодії внутрішніх хвиль, хвильові вектори яких близькі до нормалі щодо поверхні контакту, та вгору по частотах – за рахунок взаємодії хвиль, хвильові вектори яких майже тангенційні щодо поверхні. В останньому випадку частоти дифрагованих хвиль близькі до N'_n , а каскадне зростання частоти йде за рахунок зростання N'_n , максимальне значення якої для спектрів, наведених на рис. 4, визначається часом взаємодії абразивної частинки з металом.

Для порівняння на рис. 5, 6 наведені часові ряди та вейвлет-спектр сонячної активності. Численні спектральні компоненти на рис. 6 відповідають Раманівському режиму дифракції внутрішніх хвиль. Як свідчить аналіз, у спектрі присутні декілька серій ліній, що відповідають різним значенням N . Частоти цих ліній добре описуються співвідношенням (7). Виділений максимум квазіодинацятирічного циклу при $m = 1$ утворюється за умови відсічки відповідних мод вищих порядків та концентрації енергії в максимумі першого порядку. Між тим, загальне підіймання спектру на рис. 6 в бік низьких частот свідчить про наявність вищевказаного оберненого енергетичного каскаду. Інший максимум, що утворюється в результаті прямого енергетичного каскаду, спостерігається для сонячної активності поблизу 27-денного циклу [9].

Таким чином, характерні частоти і періоди Сонячних циклів активності пояснюються інтерференцією внутрішніх хвиль, дифрагованих на ядерному сонячному контакті. При цьому т.з. торсійні коливання у конвективній зоні Сонця [10,11] є лише наслідком геліоконтактного динамо, а не ключовим механізмом Сонячної активності, як це на сьогодні вважається.

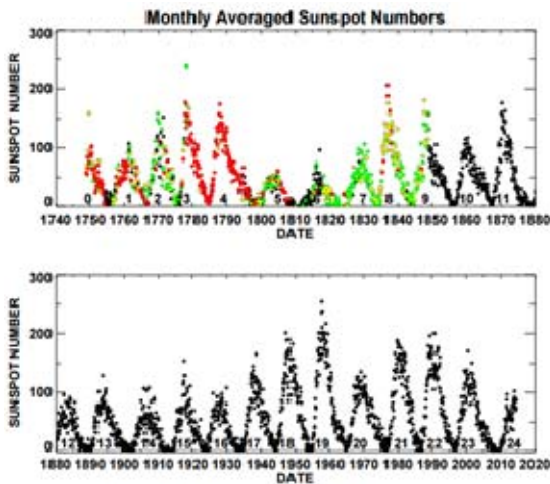


Рис. 5. Часові ряди сонячної активності [28]

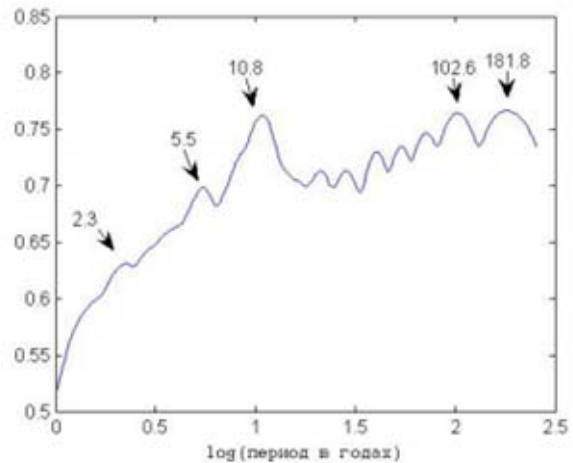


Рис. 6. Вейвлет – спектр часових рядів сонячної активності [9]

Контактне динамо як генератор космічних частинок надвисоких енергій

Особливістю контактних процесів є різко виражена залежність частоти нормальних коливань N від параметрів взаємодії, зокрема, контактного зближення та часу взаємодії. Ця неоднорідність N пояснює фрактальний характер спектрів як механічної, так і космічної контактної-наведеної турбулентності – коли низькочастотні та високочастотні кластери для різних значень N взаємно накладаються, забезпечуючи каскадний транспорт енергії по спектру збурень в двох протилежних напрямках. Раніше нами відзначався лише обернений енергетичний каскад [1–4]. Однак, явно виражена немонотонність спектрів космічної турбулентності [4] пояснюється наявністю слабшого, однак помітного прямого каскаду в бік вищих частот, що забезпечуються Бреґґівською дифракцією внутрішніх хвиль.

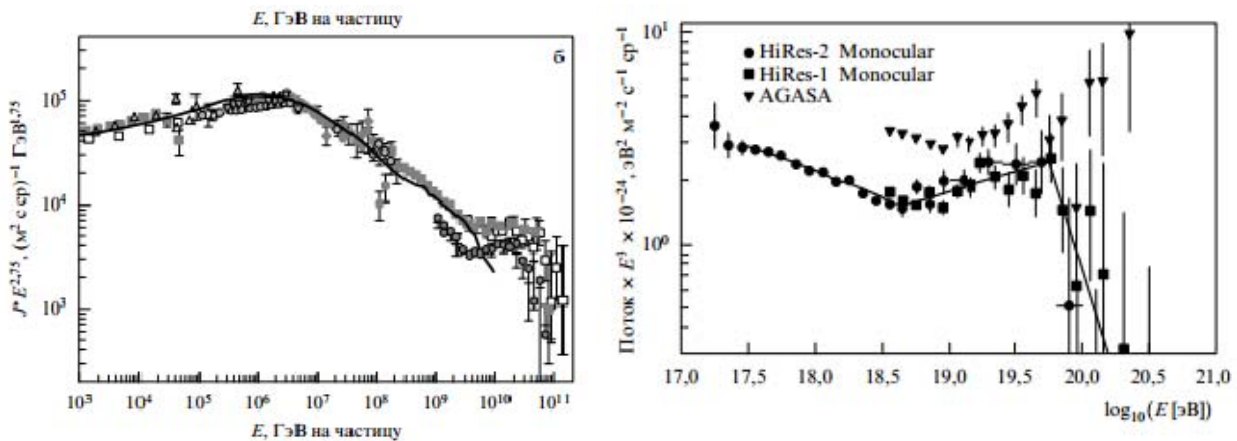


Рис. 7. Спектри космічних частинок надвисоких енергій [24, 25]

На рис. 7 наведені спектри космічних частинок надвисоких енергій, які мають відмічений немонотонний характер. Максимуми спектрів відповідають космічним частинкам, згенерованим контактним динамо в надрах об'єктів з активними ядрами (зір, квазарів, ядра Метагалактики [2]). В якості активатора тут виступає електромагнітна енергія металізованого водню, що забезпечує відповідний температурний режим термоядерних реакцій. Локальність (концентрація) енерговиділення в часі та просторі при цьому, власне, й обумовлює рекордні енергії згенерованих космічних частинок.

Сонячна грануляція, надгрануляція та гігантська грануляція як результат дифракції контактної-наведених внутрішніх хвиль

Те, що контактна генерація внутрішніх хвиль супроводжується перенесенням енергії та маси (останньої – в рідинах, газах та плазмі), суттєво "сплутує карти" при тлумаченні явищ, пов'язаних з такими хвилями. Зокрема, сонячна грануляція, мезогрануляція та гігантська грануляція на-сьогодні пояснюється майже виключно як результат термічної конвекції [12, 13]. Окремі думки геліосейсмологів про хвильовий характер надгрануляції [14] останнім часом "спростовані" наявними візуалізаціями конвективних рухів плазми [12]. В рамках такого підходу генерація спікул в атмосфері Сонця практично відірвана від механізмів виникнення грануляції та надгрануляції, а відповідні теоретичні розрахунки базуються на апріорно заданих магнітних полях [15]. Між тим, слід розуміти, що локалізовані магнітні поля в атмосфері Спокійного Сонця є саме результатом контактної генерації спікул (на границі конвективної зони та

фотосфери), аналогічно до того, як локалізовані в іншому масштабі значно сильніші магнітні поля сонячних плям є результатом контактної генерації когерентних структур руху в сонячному ядрі [1–4]. Не вдаючись в деталі, відмітимо тут, що сонячна грануляція виникає внаслідок контактної (на границі конвективної зони та фотосфери) Бреггівської дифракції внутрішніх хвиль при $n = 1$, що веде до формування вельми чіткої дифракційної картини квазістоячих внутрішніх хвиль у тонкому граничному шарі конвективної зони, а також у фотосфері та хромосфері Сонця. Хвильові вектори тут майже паралельні поверхні, а перенесення енергії та маси здійснюється по вертикалі. Часова когерентність структур руху відносно невисока – порядку одного-двох періодів коливань для гранул та спікул т.з. першого типу [15] та близько півперіоду – для спікул т.з. другого типу [15], що на-сьогодні штучно відділяються один від одного за механізмами утворення [15].

Сонячна надгрануляція та гігантська грануляція [12, 13] відповідають Романівській дифракції контактано-наведених внутрішніх хвиль, хвильові вектори яких майже ортогональні до поверхні. Перенесення енергії та маси тут переважно горизонтальне. Часові періоди надгрануляції, як доводять детальні дослідження [16], мають чітку градацію в межах 1–4 діб (дифракційні максимуми різних порядків) з прямою кореляцією часу життя та площі комірки. Між тим, у сучасному конвективному тлумаченні надгрануляції фігурує лише “середній по лікарні” час життя та середній розмір комірок [12], що свідчить про явну недооцінку реальних фізичних механізмів генерації когерентних структур руху в конвективній зоні та атмосфері Сонця.

Врешті слід відмітити, що сонячна грануляція та спікули є вираженням прямого енергетичного каскаду, в той час, як надгрануляція та гігантські комірки – оберненого каскаду, що спрямовує контактано-згенеровану енергію руху до глобальних течій та диференційного обертання речовини Сонця.

Контактний термоядерний синтез важких елементів в космічних об’єктах з активними ядрами

Звідки на Землі стільки заліза ($\approx 35\%$ маси)? Відповідь відома – з протопланетної хмари [5]. Але ж звідки залізо у самій хмарі? Тут вже не обійтись без своєрідного “цапа-відбувайла” сучасної астрофізики – наднових зір, на які списують практично весь космічний синтез важких елементів [5]. Згідно відомих космологічних теорій [5] саме вибух наднової зорі, що “в потрібний момент” опинилася поруч, збагатив планети Земної групи залізом та нікелем. Момент настав, вочевидь, вже після створення Юпітера, який майже весь з водню. Однак, як не дивно, елементи, важчі за гелій, містяться на Сонці майже у тій же пропорції, що й на Землі [5]. Це свідчить про їх спільне походження, що ніяк не вписується в космогонічну казочку про наднову зорю, що збагатила важкими елементами Землю, Венеру та Меркурій, однак обійшла увагою планети-гіганти та й, врешті, саме Сонце.

Не поділяючи сучасних астрофізичних фантазій щодо виключної ролі наднових зір у космічному синтезі важких елементів, відмітимо, що основним джерелом елементів т.з. залізного піку [5] та більш важких хімічних елементів є контактний термоядерний синтез, активований електромагнітною енергією металізованого водню. Цей активатор здатен підняти температуру в зонах релаксації контактного тиску не лише до значень, достатніх для запуску CNO – циклу термоядерних реакцій [3], але й подальших – до кремнієвого циклу, який врешті приводить до синтезу нікелю та заліза [5]. Активація енергією металізованого водню процесів швидкого нейтронного захоплення (γ -процесів) веде до синтезу елементів, важчих заліза.

Як це не дивно звучить для сучасної астрофізики, однак пік термоядерного синтезу на нашому Сонці вже давно пройдений (~ 4 -5 мільярдів років тому). На-сьогодні запас енергії металізованого водневого активатора на Сонці значно вичерпаний, що й забезпечує відносно низькотемпературне водневе горіння в ядрі з помітною добавкою CNO – циклу [3]. Отже, залізо на Землі – наше – Сонячне. Потрібно лише конкретизувати механізми його доставки з Сонця у протопланетну хмару, тобто пояснити, власне, походження хмари. Ці механізми стосуються значно ширшої проблеми контактано-обумовленого витікання речовини з надр космічних об’єктів з активними ядрами.

Гравітаційний колапс та контактано-обумовлене витікання речовини з надр космічних об’єктів з активними ядрами

На рис. 8 наведені фазові діаграми водню, які свідчать про те, що перехід з діелектричної в твердотіlnу металічну фазу водню йде через проміжну рідку металічну фазу. Вочевидь, архаїчні металізовані ядра галактик та Метагалактики [2], що виникли в результаті початкового гравітаційного колапсу, були в рідкому стані. Це пояснює походження найдревніших сферіодних (еліпсоїдних) оболонки галактик та “пісочного” гало Метагалактики [2], що утворились в результаті хаотичного витікання речовини з локальних контактних зон на межі ядра та акреційної оболонки. Дискові компоненти галактик та Метагалактики були утворені значно пізніше – після отвердіння металізованих ядер. Останнє в умовах обертання ядра та оболонки обумовило формування орієнтованих певним чином в Абсолютному просторі контактних зон витікання речовини – прецесійного верчення поблизу полюсів та прецесійного кочення в області екватора [2]. Отже, відомий вельми значний часовий розрив, що відділяє сферіодні компоненти галактик від дискових [5], пояснюється саме тривалим процесом отвердіння ядер. В свою чергу, значні вікові розриви у формуванні окремих дискових підсистем галактик (Чумацького Шляху у т.ч.) викликані

нестационарністю процесів контактної-обумовленого витікання речовини з ядер галактик. Це стосується також планетної космогонії. Планети Земної групи та планети-гіганти Сонячної системи сформувались з різного складу космічної речовини, викинутої з надр Сонця механізмом контактної динамо. З тих часів на сьогодні залишився лише слабкий Сонячний вітер.

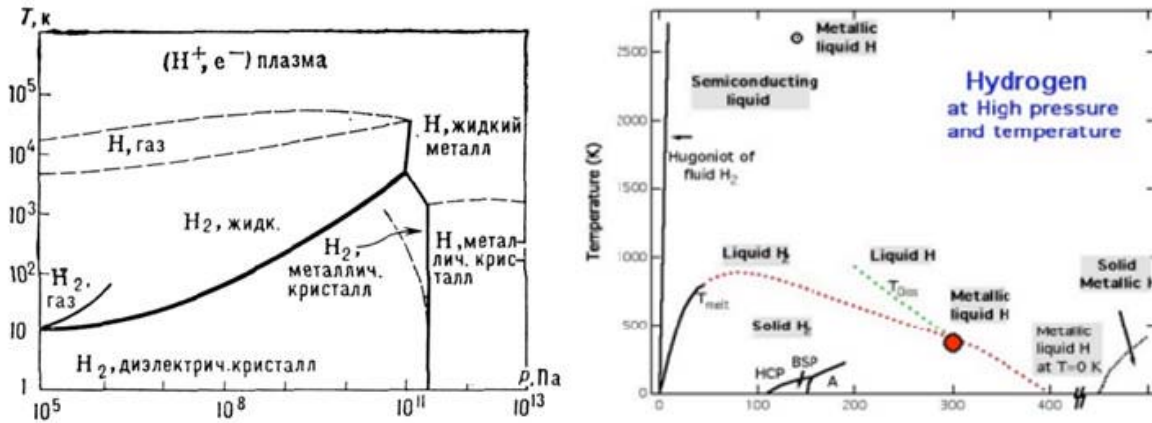


Рис. 8. Фазові діаграми водню [5, 17]

Сучасна астрофізика, заціклена на сингулярностях та вибухах, шукає чорні діри в ядрах галактик [5, 18]. Не варто – їх там нема. Активність ядер космічних об'єктів визначається наявним запасом металізованого водневого активатора термоядерних реакцій. Ядро Чумацького Шляху (квazar Sgr – A* [2]), зокрема, вже значно витратило цей активатор, що й пояснює його "пристаркуватий" спокій, який зрідка порушується незрозумілою для астрофізиків [18] остаточною активністю. Ці астрофізики штучно поділяють галактики на "нормальні" (неактивні) та "аномальні" (об'єкти з активними ядрами) [5]. Слід їм пояснити: всі "всі" "нормальні" на початкових стадіях еволюції були "аномальними".

Контактне зореутворення

Зорі, як відомо [5], утворюються переважно в результаті гравітаційного колапсу холодних та щільних хмар молекулярного водню. Однак, (що також відомо) існує пряма альтернатива: високий темп зореутворення в гарячих хмарах іонізованого водню, що реалізується, зокрема, у внутрішніх оболонках Чумацького Шляху та у спіральних гілках галактик [5]. У цьому випадку необхідний зовнішній фактор стиску, який ініціює колапс. Не відомо, зокрема, те, що цей фактор виникає в результаті інтерференції дифрагованих на відповідних космічних контактах внутрішніх хвиль. В даному випадку мова йде вже про зовнішні контакти – зокрема між речовиною відносно молодих спіральних гілок та старшим за віком населенням зовнішніх галактичних дисків. Конфлікт поколінь галактичної речовини, викинутої в різний час з надр ядра механізмом контактної динамо, по суті й формує ті зони локального стиску, які ініціюють зореутворення.

Подвійне Бреггівське розсіяння фотонів на фонах як механізм червоного зміщення у спектрах галактик та квазарів

На завершення цього розгляду спростуємо найбільшу ілюзію сучасної астрофізики та космології – доплерівську природу червоного зміщення у спектрах галактик та квазарів, що видається за результат т.з. Великого Вибуху та прискореного розширення Всесвіту [5, 20].

Недоплерівська і, відповідно, некосмологічна природа червоного зміщення активно дискутувалась у роботах півстолітньої давності [19], тобто у ті часи, коли наукова істина цінувалась вище за Нобелівські дивіденди, а ура-пропаганда загальної теорії відносності Ейнштейна не досягла сучасної стадії реформатування в релігію [1–4]. Скептики активно шукали, але так і не знайшли механізми "розсіяння світла тільки вперед" [19]. Однак, такий механізм дійсно існує і зводиться до подвійної Бреггівської дифракції фотонів на фонах, подібної до відомого розсіяння Мандельштама-Бріллюена [5, 7].

Характерним моментом "розсіяння тільки вперед" є подвійність (парність) процесів розсіяння, яка є результатом взаємодії "новонароджених" фонів з поверхнею космічної частинки. Дві схеми цього процесу наведені на рис. 9. У випадку рис. 9а кут Брегга Θ_B малий, у випадку рис. 9б – близький до 90° . Парність актів розсіяння в обох випадках забезпечує однаковий результат: хвильовий вектор результуючого фотона \vec{k}'' майже співпадає з хвильовим вектором падаючого фотона \vec{k} .

Схеми рис. 9 відповідають співвідношенням для хвильових векторів:

$$\vec{k} = \vec{k}' + \vec{K}_1, \quad \vec{k}' = \vec{k}'' + \vec{K}_2. \tag{15}$$

Тут \vec{k}' – хвильовий вектор проміжного фотона, \vec{K}_1, \vec{K}_2 – хвильові вектори фонів. Те, що акти розсіяння фотонів мають своїм результатом саме народження фонів, а не їх поглинання, є наслідком асиметрії відповідних ймовірностей: при низьких космічних температурах ймовірність поглинання фотона

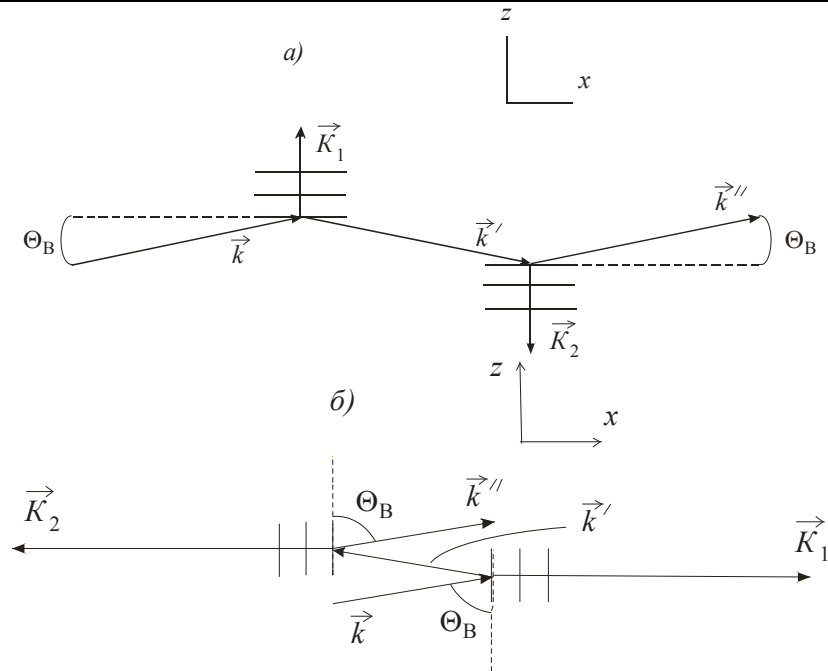


Рис. 9. Схеми подвійної Бреггівської дифракції фотонів на фононах на поверхні космічної частинки при малих (а) та великих (б) кутах Брегга

фотоні значно менша за ймовірність утворення фонона за рахунок енергії фотона (в іншому ракурсі це відзначено, зокрема, в роботі [21]). Така асиметрія, власне, і забезпечує "червоний колір" спектрального зміщення розсіяного світла.:

$$\omega'' = \omega - 2\Omega. \tag{16}$$

Тут ω, ω'' – циклічні частоти падаючого та результуючого фотонів, Ω – циклічна частота фононів. З рис.9 слідує:

$$K_1 = 2k \cdot \sin \Theta_B = 4\pi \sin \Theta_B / \lambda, \tag{17}$$

де λ – довжина хвилі падаючого світла. Окремо слід розглянути розсіяння на акустичних та оптичних фононах. Для акустичної гілки при відносно низьких частотах

$$K_1^{ac} = \Omega / v_{ph}^{ac}, \tag{18}$$

де v_{ph}^{ac} – фазова швидкість акустичних хвиль в матеріалі космічної частинки.

З (17)–(18) маємо:

$$\Omega = 4\pi v_{ph}^{ac} \cdot \sin \Theta_B / \lambda. \tag{19}$$

Підставляючи (19) в (16), отримаємо:

$$\omega'' = \omega - 8\pi v_{ph}^{ac} \cdot \sin \Theta_B / \lambda \tag{20}$$

або ж у термінах частот світла $\nu = \omega / 2\pi, \nu'' = \omega'' / 2\pi$:

$$\nu'' = \nu - 4v_{ph}^{ac} \cdot \sin \Theta_B / \lambda. \tag{21}$$

Переходячи в (21) від частот до довжин хвилі світла $\lambda = c / \nu, \lambda'' = c / \nu''$, отримаємо:

$$\frac{\lambda'' - \lambda}{\lambda''} = 4 \sin \Theta_B \cdot v_{ph}^{ac} / c, \tag{22}$$

де c – швидкість світла у вакуумі. Виразимо ліву частину (22) через звичну для космологів величину відносного червоного зміщення z :

$$z = \frac{\lambda'' - \lambda}{\lambda}. \tag{23}$$

Врешті отримаємо для "елементарного" зміщення z_e в результаті двох послідовних актів розсіяння наступний вираз:

$$\frac{z_e}{1+z_e} = 4 \sin \Theta_B \cdot v_{ph}^{ac} / c. \tag{24}$$

Як видно, величина "елементарного" червоного зміщення в даному випадку не залежить від довжини хвилі світла, однак ця незалежність вельми далека від космологічного походження. З (24) слідує,

що при $v_{ph}^{ac} \ll c$ елементарне червоне зміщення мале: $z_e \ll 1$. Отже, значні зміщення частоти і довжини хвилі світла при Бреггівському розсіянні на акустичних фонах набираються за рахунок багаторазового розсіяння на поверхні різних частинок по всій трасі проходження світла від об'єкта-джерела до спостерігача на Землі.

Оптичні фонони при відносно малих хвильових числах, як відомо [5, 6], мають значно вищі частоти за акустичні фонони та відносно слабку дисперсійну залежність циклічної частоти від хвильового числа. Отже, відповідні червоні зміщення навіть в результаті двох елементарних актів розсіяння будуть помітними:

$$\frac{z_e}{1+z_e} = 2v_{ph}^{opt} \cdot \lambda / c. \tag{25}$$

Тут v_{ph}^{opt} – частота оптичного фонону. В даному випадку, як видно, величина червоного зміщення залежить від довжини хвилі світла. При $v_{ph}^{opt} \geq 10^{13}$ Гц [5] відношення (25) при розсіянні на оптичних фонах наближається до одиниці по мірі переходу від видимого до інфрачервоного діапазону спектру падаючого світла.

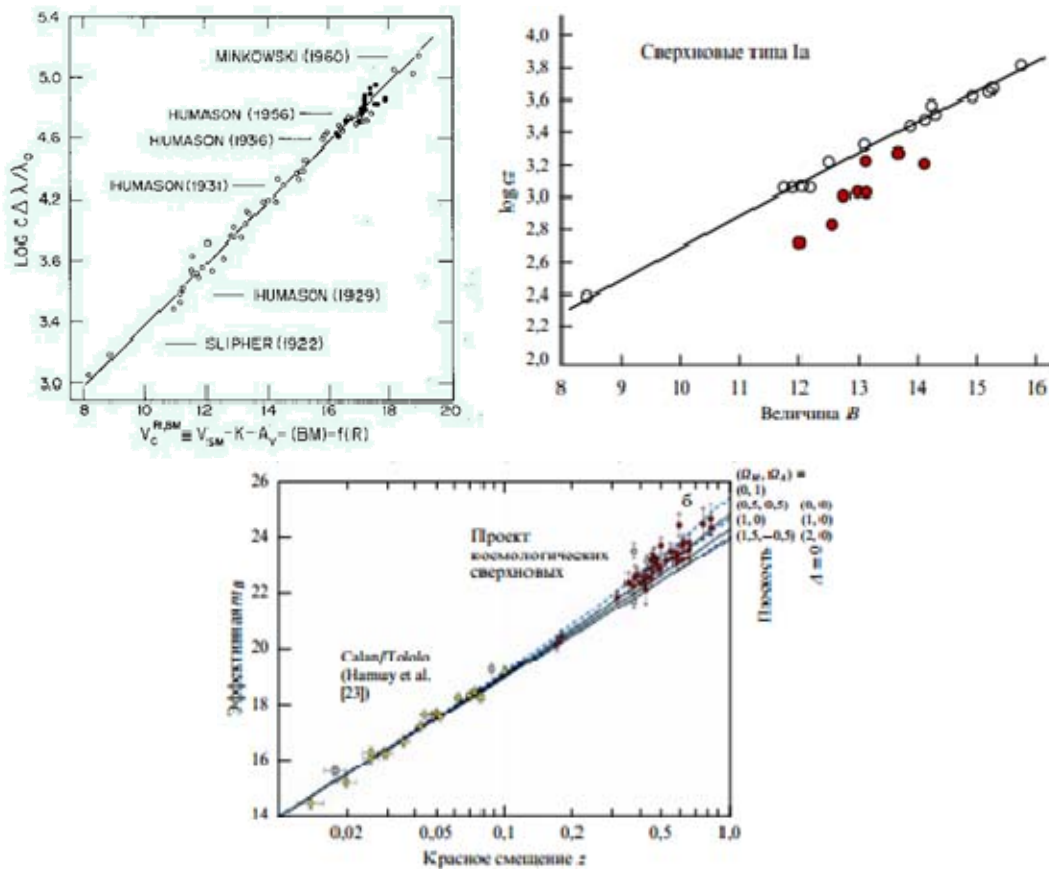


Рис. 10. Хабблівські діаграми для червоних зміщень віддалених галактик (а) [23] та наднових зір (б, в) [20]

На рис. 10 наведені Хабблівські діаграми для червоних зміщень віддалених галактик на наднових зір, які містять лінійні та нелінійні ділянки. Мінімальні значення величини $\log(cz)$, як видно, становлять $\approx 2,4 \div 3,0$, або ж, відповідно, $cz \approx 250 \div 1000$. Приймаючи ці значення як оціночні для елементарних червоних зміщень при розсіянні на акустичних фонах, з (24) отримуємо (при $v_{ph}^{ac} \geq 10^3$ м/с):

$$\sin \Theta_B \approx \frac{zc}{4v_{ph}^{ac}} \sim 10^{-2} \div 10^{-1}. \tag{26}$$

Отже, як правило, реалізується схема розсіяння, що наведена на рис. 9а.

Нелінійність Хабблівських діаграм при $z \sim 1$ (рис. 10в), яку на-сьогодні штучно відносять на рахунок прискореного розширення Всесвіту [20], в дійсності обумовлена наближенням показника експоненти в законі Бугера для подвійного Бреггівського розсіяння світла та акустичних фонах до одиниці:

$$\alpha \cdot l \sim 1, \alpha = n \cdot \sigma. \tag{27}$$

Тут α – коефіцієнт розсіяння, l – довжина траси, n – концентрація космічного пилу (частинок-

метеороїдів), σ – переріз розсіяння.

Згадаємо закон Хаббла:

$$cz = H \cdot l, \quad (28)$$

де H – постійна Хаббла. Вважаючи, що $\alpha \cdot l \sim 1$ при $z \sim 1$, із (27) – (28) отримаємо вираз для концентрації космічного пилу:

$$n \sim \frac{H}{\sigma \cdot c}. \quad (29)$$

Приймаючи, що переріз розсіяння σ є просто площею фізичного профілю пилової (метеороїдної) частинки радіусом r та густиною ρ_0 , з (29) отримаємо оцінку густини міжгалактичного пилу ρ :

$$\rho = n \cdot \rho_0 \sigma r \sim \rho_0 \cdot r \cdot H / c. \quad (30)$$

При $\rho_0 \sim 10^3$ кг/м³, $r \sim 10^{-7}$ м, $H \sim 2 \cdot 10^{-18}$ с⁻¹ із (30) слідує:

$$\rho \sim 10^{-30} \text{ кг/м}^3 \sim 10^{-33} \text{ г/см}^3. \quad (31)$$

Отримане значення густини міжгалактичного пилу на два-три порядки величини менше за середню густину галактичної речовини у Метагалактиці ($\sim 3 \cdot 10^{-31}$ г/см³ [5]), що виглядає вельми прийнятним з фізичної точки зору та дає дійсну, а не штучну (космологічну) інтерпретацію закону Хаббла, від якої врешті відмовився й сам автор цього закону [22].

Із (27) слідує, що коефіцієнт розсіяння α не залежатиме від радіуса частинки і, відповідно, від довжини хвилі електромагнітного випромінювання, при умові:

$$n \sim \sigma^{-1} \sim r^{-2}. \quad (32)$$

Як показує аналіз відомих джерел [5], принаймні для космічного пилу у міжзоряному середовищі ця умова приблизно виконується.

Вищенаведене некосмологічне тлумачення червоного зміщення у спектрах галактик та квазарів пояснює очевидну абсурдність сучасного оцінювання відстаней до космічних об'єктів на основі червоного зміщення у їх спектрах [5, 20, 22, 23], коли, наприклад, квазари з великими z відкидаються в буквальному розумінні "на край Всесвіту", хоча знаходяться нерідко у нас "під боком" – на відстанях в десятки-сотні мегапарсек, як стверджував ще півстоліття тому видатний астрофізик Х.К. Арп (H.C. Arp) [19].

Окремо слід зупинитись також на абсурдності сучасного тлумачення гравітаційного лінзування та мікролінзування за містичною участю темної матерії та темної енергії [26, 27]. Адже саме космічні лінзи "за дивним збігом обставин" дозволяють побачити віддалені об'єкти з рекордними червоними зміщеннями ($z \geq 10$) [23]. Як уже відзначалось [2, 4], таке лінзування в дійсності має той же пиловий характер.

Фотон-фононна взаємодія проявляється астрофізиці й іншим чином: як термодинамічна рівновага зовнішнього електромагнітного випромінювання з тепловими фонами всередині космічного пилу та метеороїдів. В такому випадку [2, 4] за законом Віна

$$r \sim \lambda \sim b / T, \quad (33)$$

де b – постійна Віна, T – абсолютна температура. Зокрема, для сонячної корони при $T \sim (2 \div 3) \cdot 10^6$ °K із (33) отримуємо оцінку розміру частинок пилової корони Сонця $r \sim 10^{-9}$ м.

В іншому псевдокосмологічному прикладі реліктового випромінювання при $T \approx 2,7$ ° K із (33) слідує оцінка розмірів частинок "пісочного" гало Метагалактики [2]: $r \sim 10^{-3}$ м. Це ще раз підтверджує ілюзорність космологічної сингулярності – Великого Вибуху, якого не було.

Висновок

Таким чином, запропоновані фізичні механізми космічного контактного динамо дозволяють нарешті позбутись стійких ілюзій та міфів сучасної астрофізики і космології.

Література

1. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного і галактичного магнетизму. Частина I / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 5 (229). – С. 106–118.
2. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного, галактичного і метагалактичного магнетизму. Частина II / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 2 (235). – С. 36–52.
3. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної, галактичної і метагалактичної енергії. Частина III / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 3 (237). – С. 92–100.
4. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної, галактичної і метагалактичної енергії. Частина IV / Ю.П. Заспа // Вісник

Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 3 (237). – С. 115–128.

5. Физическая энциклопедия : в 5 томах / под ред. А.М. Прохорова. – М. : Большая рос. Энциклопедия, 1999. – 760 с.
6. Рабинович М.И. Введение в теорию колебаний и волн / Рабинович М.И., Трубецков Д.И. – М. : Наука, 1984. – 432 с.
7. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / под ред. И.П. Голяминой. – М. : Сов. энциклопедия, 1979. – 400 с.
8. Савельев И.В. Курс общей физики : в 3 томах. Том 2 / Савельев И.В. – М. : Наука, 1978. – 480 с.
9. Кононович Э.В. Частотно-временной анализ рядов солнечной активности [Электронный журнал] / Э.В. Кононович, И.В. Миронова, В.А. Батулин // Исследовано в России : электронный научный журнал. – 2006. – Режим доступа : <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/182.pdf>
10. Howe R. et. al. A note on the torsional oscillation at solar minimum / R. Howe // The Astrophys.J. – 2009. – V. 701. – P. L87–L90.
11. Логинов А.А. Гидродинамическая модель торсионных колебаний Солнца / А.А. Логинов, О.К. Черемных, В.Н. Криводубский, Н.Н. Сальников // Космічна наука і технологія. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 74–81.
12. Zlebick R. Space-time segmentation method for study of the vertical structure and evolution of solar supergranulation from data provided by local helioseismology / R. Zlebick, M. Svanda, M. Klvana // New Astronomy. – 2011. – V. 16. – P. 1–5.
13. Hathaway D.H. Giant Convection Cells Found on the Sun / D.H. Hathaway, L. Upton, O. Colegrove // Science. – 2013. – V. 342, № 6163. – P. 1217–1219.
14. Gizon L. Wave-like properties of solar supergranulation / L. Gizon, T.L. Duvarll, J. Schou // Nature. – 2003. – V. 421, № 2. – P. 43–44.
15. De Pontieu B. et. al. A Tale of Two Spicules: The Impact of Spicules on the Magnetic chromosphere / B. De Pontieu // Publ. Astron Soc. Japan. – 2007. – V. 59. – P. 655–S662.
16. Hirzberger J. Structure and Evolution of Supergranulation from Local Helioseismology / J. Hirzberger, L. Gizon, S.K. Solanki, T.L. Duvall // Solar Phys. – 2008. – V. 251. – P. 417–437.
17. Silvera I.F. Metallic Hydrogen: The Most Powerful Rocket Fuel Yet Exist / I.F. Silvera, J.W. Cole // J. of Physics: Conference Ser. – 2010. – V. 2015. – P. 1–9.
18. Докучаев В.И. Физическая лаборатория в центре Галактики / В.И. Докучаев, Ю.Н. Ерошенко // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185, № 8. – С. 829–843.
19. Мельников О.А. Недоплеровские объяснения красного смещения в спектрах далеких галактик / О.А. Мельников, В.С. Попов // Некоторые вопросы физики Космоса : сборник 2. – М. : ВАГО АН СССР, 1974. – С. 9–32.
20. Перлмуттер С. Измерение ускорения космического расширения по сверхновым : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 г. / С. Перлмуттер // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183, № 10. – С. 1060–1077.
21. Рейсленд Дж. Физика фононов / Дж. Рейсленд. – М. : Мир, 1975. – 365 с.
22. Черепашук А.М. История истории Вселенной / А.М. Черепашук // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183, № 5. – С. 535–556.
23. Ефремов Ю.Н. Постоянная Хаббла [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.astronet.ru/ab/msg/1198709>
24. Птускин В.С. Происхождение космических лучей / В.С. Птускин // Успехи физических наук. – 2010. – Т. 180, № 9. – С. 1000–1004.
25. Филоненко А.Д. Радиоастрономический метод измерения потоков космических частиц сверхвысокой энергии / А.Д. Филоненко // Успехи физических наук. – 2012. – Т. 182, № 8. – С. 793–827.
26. Гуревич А.В. Мелкомасштабная структура темной материи и микролинзирование / А.В. Гуревич, К.П. Зыбин, В.А. Сирота // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 913–943.
27. Захаров А.Ф. Гравитационное микролинзирование / А.Ф. Захаров, М.В. Сажин // Успехи физических наук. – 1998. – Т. 168. – С. 1041–1082.
28. Hathaway D. H. The Solar Cycle [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [arXiv: 1502.07020v1](https://arxiv.org/abs/1502.07020v1) [astro-ph.SR] 25 Feb 2015

Рецензія/Peer review : 15.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.
Рецензент: д.ф-м.н., проф.. Качурик І.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПІДСИСТЕМИ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ *SMART GRID*

В статті досліджено функціональну стійкість підсистеми обміну інформації локальної електричної системи з відновлюваними джерелами енергії, а також запропоновано закон оптимального керування схемою приєднання інверторів, тобто зміни схеми видачі потужності до електричної мережі. Показано, що запропонована підсистема обміну інформацією забезпечить надійне функціонування відновлюваних джерел енергії оснащених засобами локальної автоматизації керування.

Ключові слова: функціональна стійкість, локальна електрична система, відновлювані джерела енергії, Smart Grid технології.

J.V. MALOHULKO, I.O. HUNKO
Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, Ukraine

THE RESEARCH OF FUNCTIONAL STABILITY OF SUBSYSTEM INFORMATION EXCHANGE IN LOCAL ELECTRICAL SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES USING THE SMART GRID TECHNOLOGY

The aim of the research - to automate the methods of the renewable energy sources optimization in local electric systems. It will allow us to use them in automation modes of local electrical systems and increase the efficiency of optimizing their functioning. It was proposed the law of optimal control the scheme inverter accession, like the scheme changes of capacity issue to the electrical network. Algorithmic realization of the proposed law has been used to coordinate schedules of solar power plants with local power consumption in an automatic control system by issuing scheme power of renewable energy. The article shows that the proposed information of exchange subsystem provides the reliable operation of renewable energy functioning, which equipped the local automation control.

Keywords: functional stability, the local electrical system, renewable energy, Smart Grid technology.

Вступ

Державна підтримка розбудови відновлюваної енергетики стимулює дослідження питань проектування та експлуатації відновлюваних джерел (ВДЕ) з метою підвищення рівня енергетичної безпеки країни та зниження впливу енергетики на довкілля. Забезпечення процесу оптимізації функціонування ВДЕ в локальних електричних системах (ЛЕС) в сучасних умовах, передбачає застосування автоматизованих систем керування в контексті підвищення якості виробництва та розподілу електроенергії з використанням технології та стандартів *Smart Grid* [1]. Це не тільки прискорює та спрощує цей процес, але і створює умови для побудови сучасних інтегрованих систем керування. Таким вимогам найбільше відповідають адаптивні автоматизовані системи керування (АСК), які дозволяють підтримувати належну якість технологічного процесу в умовах неповної або недосконалої початкової інформації щодо його параметрів та впливів навколишнього середовища. Останнє особливо важливе для експлуатації ВДЕ в локальних електричних системах. Використання таких систем потребує вдосконалення і розробки технічного, інформаційного та програмного забезпечення. Саме тому, необхідно автоматизувати розроблені в [2–6] спосіб узгодження графіків генерування сонячних електростанцій та споживачів енергії локальних електричних систем та методи оптимізації функціонування ВДЕ в локальних електричних системах та спосіб, що дозволить використати їх у системі автоматизованого керування (САК) режимами ЛЕС та підвищить ефективність процесу оптимізації їх функціонування.

Експериментальна частина

Для підвищення ефективності функціонування ВДЕ шляхом зменшення втрат електроенергії в електричній мережі [2–6] пропонується вимірювати струм на шинах високої напруги сонячної електростанції та, в залежності від значення оптимальної потужності, що визначена за алгоритмом оптимізації добових режимів генерування ВДЕ, змінювати кількість інверторів N_v , що підключені на першу або другу систему шин для підтримання напруги на шинах в області допустимих значень так, як це запропоновано в [5].

$$\Delta i(t) = K_1 \left[(I(t) - I_{уст}) - K_2 (U(t) - U_{уст}) \right];$$

$$N_B = \begin{cases} n(t) + 1, \text{ якщо} & \begin{cases} \Delta i(t) \leq i_{н.з.}; \\ \Delta i(t - \tau_3) \leq i_{н.з.}; \\ U(t) \leq U_{max}; \\ \frac{dI_{ог}}{dt} \leq 0; \\ n(t) + 1 \leq n_{max}; \end{cases} \\ n(t), \text{ при } i_{н.з.} < \Delta i(t) < i_{в.з.}; \\ n(t) - 1, \text{ якщо} & \begin{cases} \Delta i(t) \geq i_{в.з.}; \\ \Delta i(t - \tau_3) \geq i_{в.з.}; \\ U(t) \geq U_{min}; \\ \frac{dI_{ог}}{dt} \geq 0; \\ n(t) - 1 \geq 0; \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

де N_B – кількість інверторів, підключених на регульовану систему шин; $\Delta i(t)$ – відхилення струму від оптимального з урахуванням зміни напруги на шинах ВДЕ; $i_{н.з.}, i_{в.з.}$ – межі зони нечутливості, відповідно нижня та верхня зони; $I_{уст}$ – уставка по струму, що відповідає оптимальній потужності ВДЕ та коригується в залежності від параметрів режиму ЛЕС, відпускної ціни тощо; $U_{уст}$ – уставка по напрузі на шинах ВДЕ, дорівнює номінальній напрузі, або іншому значенню, якщо ВДЕ приймає участь у регулюванні напруги в ЛЕС; $I(t), U(t), n(t)$ – виміри струму та напруги, а також кількість увімкнених інверторів у момент часу t ; K_1 – коефіцієнт підсилення, що визначає чутливість регулятора до відхилення струму; K_2 – еквівалентна провідність для перерахунку відхилення напруги від уставки в еквівалентне відхилення струму від оптимального, що забезпечує реакцію системи на перевищення напруги у випадку, коли струм відповідає області оптимальності; $I_{ог}$ – огинаюча сумарного струму інверторів $I(t)$; τ_3 – час затримки сигналу; t – момент часу, для якого здійснюється регулювання; n_{max} – максимальна кількість інверторів, що можуть бути увімкнені на регульовану систему шин.

У відповідності з викладеним обґрунтуванням та для реалізації запропонованого способу узгодження графіків генерування СЕС з локальним електроспоживанням закон оптимального керування комутаційними апаратами системи реконфігурації схеми видачі їх потужності має вигляд (1), аналогічно до [7].

Кожен додатковий інвертор буде вмикатися на регульовану систему шин, якщо відхилення струму $\Delta i(t)$ буде нижчим за нижню межу зони нечутливості ($\Delta i(t) = -6A$, а $i_{н.з.} = -5A$), напруга менша за максимальну, кількість ступенів не перевищує максимальне значення, а виміряний струм ВДЕ має тенденцію до зменшення. І навпаки, якщо відхилення струму $\Delta i(t)$ буде вищим за верхню межу зони нечутливості ($\Delta i(t) = +6A$, а $i_{в.з.} = +5A$), напруга вища за максимальну, кількість ступенів не менша мінімального значення, а виміряний струм ВДЕ матиме тенденцію до збільшення, буде виконуватись перемикання інвертора з регульованої на нерегульовану систему шин. Для забезпечення можливості здійснення автоматичного керування конфігурацією схеми видачі потужності ВДЕ та узгодження керувальних впливів з оперативним керуванням розроблено алгоритм функціонування мікропроцесорного пристрою (МП) групового керування інверторами сонячної електричної станції (СЕС) (рис. 1), що працює відповідно до запропонованого вище закону оптимального керування засобами реконфігурації схеми видачі потужності ВДЕ у локальних електричних системах (1).

На початку роботи алгоритму відбувається ініціалізація, зчитування та перезапис внутрішніх регістрів, тестування основних блоків, перевірка зв'язку з ОІК та засобами регулювання.

Зчитування налагоджувальних параметрів виконується з бази даних оперативно-інформаційного комплексу ЛЕС. У якості налагоджувальних параметрів використовуються межі регулювання напруги U_{max}, U_{min} на шинах підстанції ВДЕ, максимальна кількість інверторів регульованої шини n_{max} , межі зони нечутливості $i_{н.з.}, i_{в.з.}$, час затримки сигналу τ_3 , та вагові коефіцієнти K_1 і K_2 .

Після зчитування налагоджувальних даних з бази даних оперативно-інформаційного комплексу (ОІК) виконується перевірка статусу підсистеми автоматичного керування конфігурацією схеми видачі потужності ВДЕ зчитуванням відповідного прапора з бази даних. У випадку, якщо статус підсистеми активний, то алгоритмом передбачено зчитування параметрів режиму ЛЕС $I(t)$ та $U(t)$ для поточного моменту часу t . Також, з бази даних зчитується кількість інверторів, підключених на регульовану систему шин $n(t)$ та уставок по струму $I_{уст}$ і напрузі $U_{уст}$ для на шин підстанції ВДЕ. В іншому випадку підсистема закінчує свою роботу, а її запуск виконується за запитом оператора.

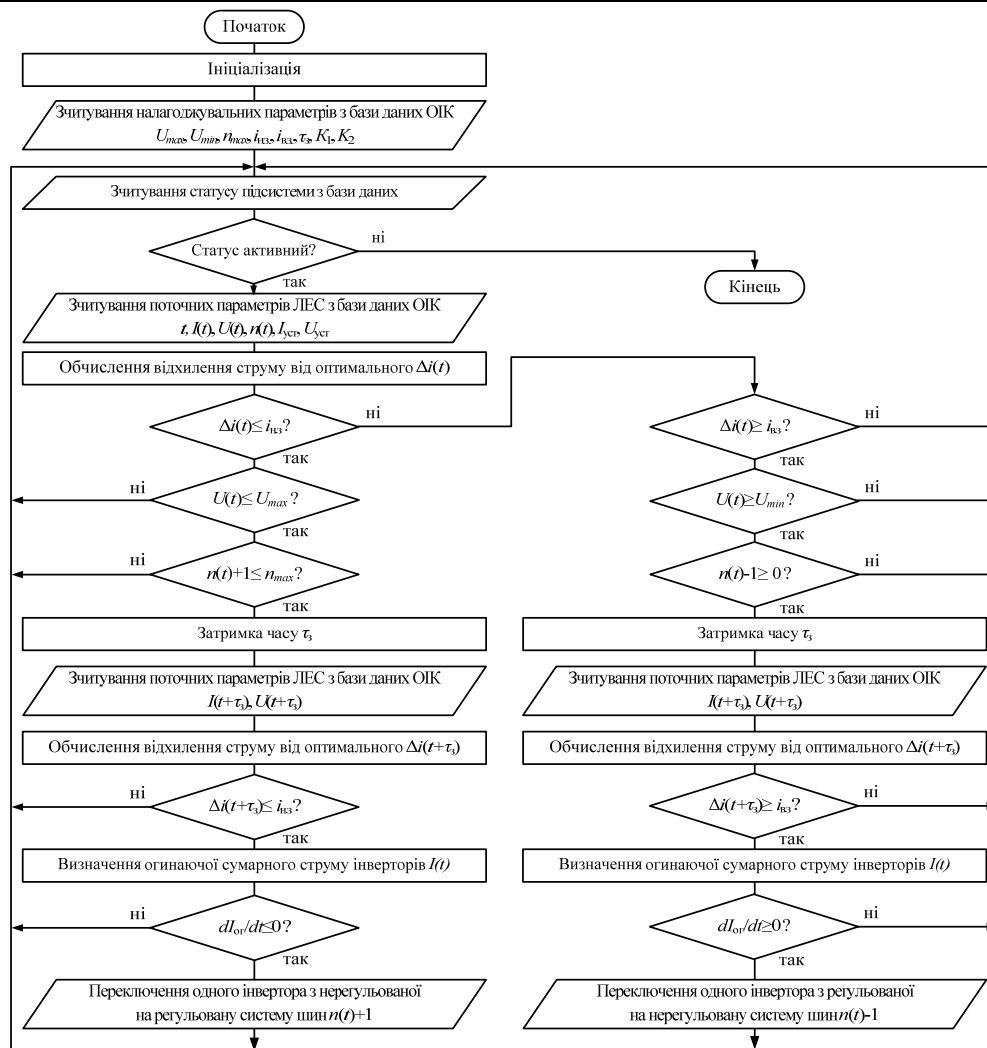


Рис. 1. Алгоритм функціонування мікропроцесорного пристрою

Наступним етапом виконується розрахунок відхилення струму $\Delta i(t)$ від оптимального. Отримане значення порівнюється із нижньою $i_{н.з.}$ (верхньою $i_{в.з.}$) зоною нечутливості. Якщо відхилення значне, тобто умова виконується, то відбувається перевірка можливості виконання переключення інверторів між шинами та перевірка дотримання поточної напруги у межах норми. Після затримки часу, що рівний часу затримки сигналу τ_z в підсистемі передачі інформації порівнюється відхилення струму від оптимального із межами зони нечутливості. Якщо відхилення перевищує зону нечутливості, то розраховується огинаюча сумарного струму інверторів та її похідна $dl_{сум}/dt$. В залежності від знаку похідної $dl_{сум}/dt$ подається сигнал про збільшення або зменшення кількості інверторів, підключених до регульованої системи шин СЕС.

Для реалізації комплексу задач оптимального керування ВДЕ в локальних електричних системах необхідною умовою є забезпечення можливості централізованого керування об'єктом у реальному часі. Однак, ця умова не може бути забезпечена через просторову розподіленість об'єкта керування та обмежену надійність каналів зв'язку між ними та диспетчерським центром [8–10]. Виходячи з цього автоматизована система керування (АСК) з необхідним переліком функцій керування може бути побудована як централізована система оперативного керування з децентралізацією функцій реального часу за рахунок застосування локальних САК.

Враховуючи структурну та апаратну складність такої системи у поєднанні з достатньо жорсткими фінансовими обмеженнями щодо проектування, реалізації та подальшого супроводження, АСК має будуватися на принципах ієрархічної структури керування з виділенням трьох рівнів:

- перший рівень – диспетчерський центр централізованого керування;
- другий рівень – «опорні» керувані ВДЕ, які функціонально підпорядковуються першому рівню та здійснюють керування відновлюваними джерелами третього рівня, ретранслюючи команди, або коригуючи налагоджувальні параметри, що надходять з вищого рівня;
- третій рівень – відновлювані джерела, оснащені засобами локальної автоматизації керування з мінімально-необхідною інтелектуалізацією та максимальною автономністю функціонування, які виконують команди та реалізують закони керування з вищих ієрархічних рівнів, адаптуючи їх до місцевих умов.

Така структура дозволяє зменшити витрати на апаратно-програмну реалізацію АСК.

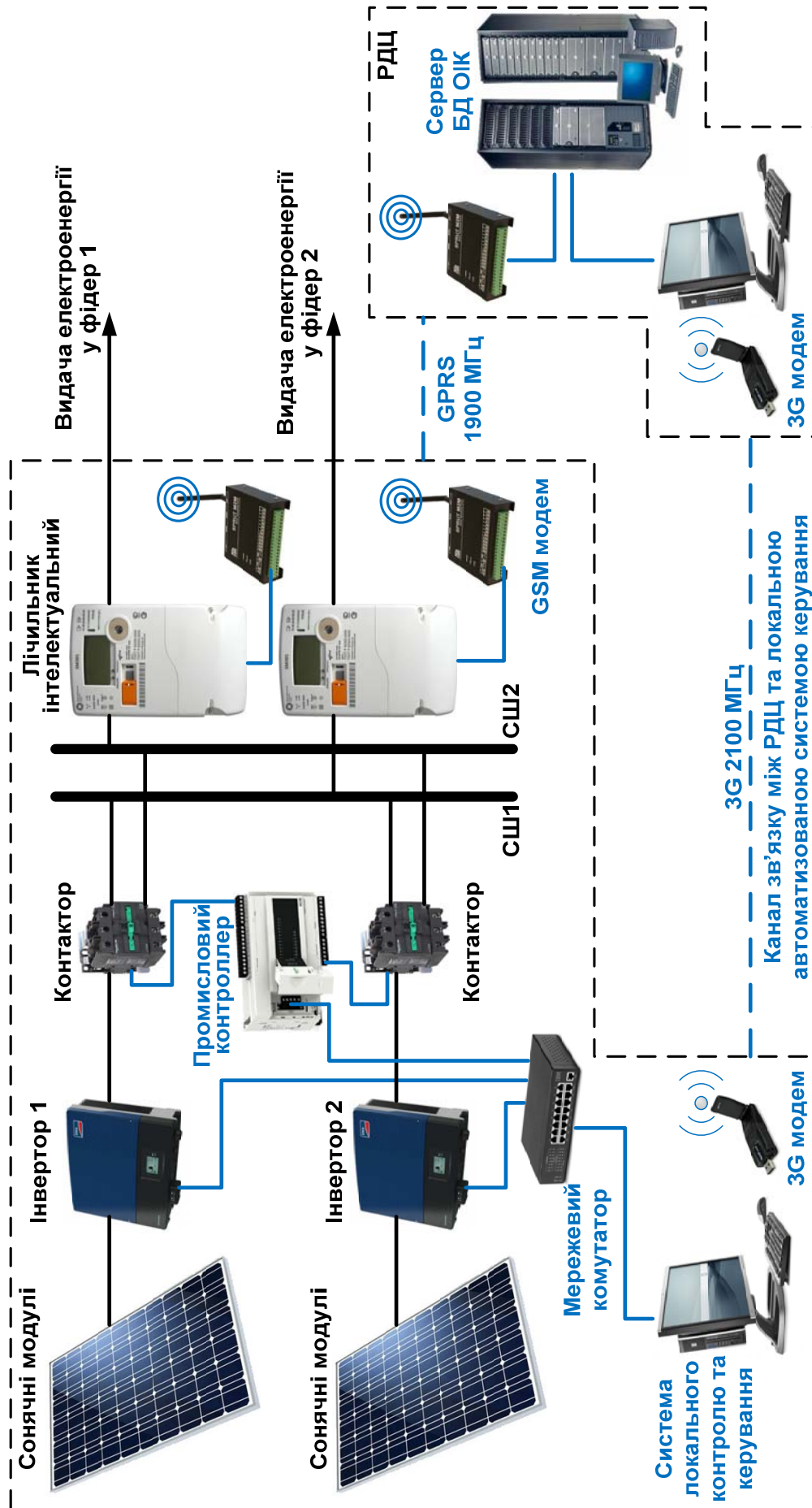


Рис. 2. Особливості апаратної реалізації АСК схемою видачі потужності ВДЕ

Відповідно до наведеної вище структури та пропонованого способу узгодження графіків генерування СЕС з локальним електроспоживанням [6] на рис. 2 показано особливості апаратної реалізації автоматизованої системи керування СЕС. На рис. 2 зображено взаємозв'язок підсистеми обміну інформацією розрахунково-диспетчерського центру (РДЦ) локальної електричної системи (перший рівень) та САК сонячною електростанцією (третій рівень) автоматизованої системи керування.

Відповідно до пропонованого способу оперативного коригування схеми видачі потужності до електричної мережі (ЕМ) апаратна реалізація передбачає застосування керованих комутаційних апаратів (контакторів), паспортні дані яких залежать від номінальної потужності інверторів, що встановлені на СЕС.

Керування комутаційними апаратами здійснюється промисловим контролером, який функціонує відповідно до алгоритму наведеному на рис. 1 за законом керування (1). Промисловий контролер порівнює інформацію про поточні значення напруги та струму на шинах СЕС зі значенням оптимальної потужності, розрахованої та збереженої у базі даних ОІК РДЦ. Інформація про поточні значення струму та напруги на керованій системі шин зчитується з бази даних ОІК та комунікаційних виходів інверторів.

Залежно від результатів роботи алгоритму на регульовану систему шин підключається кількість інверторів, що здатні забезпечити споживання у ЛЕС з дотриманням показників якості та мінімальних втрат електроенергії. Надлишок виробленої електроенергії видається на нерегульовану систему шин.

Застосування вказаної апаратної реалізації автоматизованої системи керування дозволить вдосконалити існуючу систему засобами дискретного керування. Це дозволить підвищити ефективність функціонування локальної електричної системи, а також покращити показники якості електроенергії та дасть можливість оперативного керування режимами роботи розосередженого генерування без погіршення їх прибутковості.

Таким чином, пропонована автоматизована система керування СЕС (рис. 2) базується на принципах функціонування *Smart Grid*, що полягають в значній інтеграції та автоматизації процесів генерування, передачі та споживання. Інформаційні зв'язки з інтелектуальним вимірювальним і керувальним обладнанням, а також базою даних ОІК, що дозволяють на рівні диспетчерського керування враховувати експлуатаційні особливості розосереджених відновлюваних джерел енергії та локальної електричної системи.

Дослідження функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією локальної електричної системи

Запропонована на рис. 2 структура апаратної реалізації автоматизованої системи керування схемою видачі потужності ВДЕ в локальних електричних системах складається з сукупності взаємозалежних і узгоджено діючих апаратно-програмних засобів передачі, зберігання та обробки цифрової інформації, сполучених комунікаційними зв'язками і призначених для рішення широкого класу задач контролю та керування режимами роботи ВДЕ.

В сучасних умовах актуальним є забезпечення в автоматизованій системі керування ВДЕ властивості функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією. Функціональна стійкість – це властивість складної технічної системи, що характеризує можливість продовжувати виконувати певний обсяг функцій, можливо з погіршенням якості, під час впливу внутрішніх і зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Для розв'язання цієї задачі потрібно забезпечити збір, опрацювання й аналіз інформації з автоматичним розпізнанням позаштатної ситуації, що зароджується, і формуванням рекомендацій щодо дій в умовах таких ситуацій. Забезпечення функціональної стійкості будь-якої складної технічної системи здійснюється за рахунок надмірності різних видів: структурної, апаратної, часової, інформаційної, тощо. Заходи, які спрямовані на забезпечення або підвищення рівня функціональної стійкості, в першу чергу, забезпечують поліпшення характеристик відмовостійкості та живучості, але не обов'язково показників надійності окремих комплектуючих елементів і виробів, а також тактико-технічних характеристик системи [11].

Однією з причин функціональної нестійкості складних технічних систем у позаштатних ситуаціях є недостатня готовність обчислювальної системи до розпізнавання та дій у непередбачених умовах. Це проявляється в тому, що в обчислювальній системі не враховується весь набір ситуацій. Однією з ознак може бути перший сприйнятий сигнал про порушення режиму ЛЕС або роботи ВДЕ, або просторово-часової структури конкретних особливих випадків, або відсутності алгоритмів розпізнавання відмови, а також в обмеженні дій при парированні позаштатної ситуації.

Функціонування АСК схемою видачі потужності ВДЕ з метою ідентифікації позаштатної ситуації передбачає виконання наступних операцій.

1. Виявлення невідповідності фактичних параметрів функціонування заданим параметрам;
2. Визначення найбільш імовірної групи, до якої відноситься відмова;
3. Відтворення повного образу передбачуваної відмови;
4. Здійснення активного сприйняття інформації на основі способу-еталона для точного розпізнавання ситуації.

Для цього до системи поставлені вимоги можливості передачі інформації з будь-якого вузла на будь-який інший. Разом з тим, продовження функціонування, можливо зі зменшенням якості, під час впливу

дестабілізуючих факторів вимагає виявлення і використання надмірності в структурі системи. Тому доцільно обмежитись дослідженням структури підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ.

Для виявлення надмірності запропоновано виконання зворотної задачі, а саме синтезу надмірної структури із заданими властивостями функціональної стійкості і вартості побудови та експлуатації системи.

Пропонується обчислювати рівень функціональної стійкості для систем передачі даних АСК схемою видачі потужності ВДЕ узагальненим імовірнісним показником $F_{АСК}$, що обраховується як згортка матриці ймовірностей зв'язності:

$$P_{3B} = \begin{bmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & 0 & P_{23} & \dots & P_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n3} & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$F_{АСК} = F(P_{3B}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} \cdot P_{ij},$$

де n – кількість вузлів комутації в підсистемі обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ; $_{ij}$ – імовірність зв'язності між вузлами v_i та v_j ; w_{ij} – вагові коефіцієнти ліній зв'язку, які залежать від заданої інтенсивності передачі інформації ρ_{ij} між вузлами v_i та v_j :

$$w_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{при } \rho_{ij} \geq M[\rho]; \\ 1, & \text{при } 0,1M[\rho] \leq \rho_{ij} \leq M[\rho]; \\ 1/2, & \text{при } \rho_{ij} < 0,1M[\rho]. \end{cases}$$

Математичне очікування заданої інтенсивності передачі інформації $M[\rho]$ у системі передачі даних АСК схемою видачі потужності ВДЕ визначається на основі наступної залежності:

$$M[\rho] = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \rho_{ij} \quad (3)$$

Імовірність зв'язності P_{ij} визначається на основі наступних вихідних даних:

1) структури системи передачі даних АСК схемою видачі потужності ВДЕ, що задана матрицею зв'язків A_{3B} ;

2) коефіцієнту готовності передачі інформації K_{rij} по лінії зв'язку l_{ij} .

Таким чином, задачу синтезу функціонально стійкої підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ можна сформулювати таким чином:

Визначити: Оптимальну структуру графа $G_{\xi}(V,E)$, $\xi = 1,2,\dots,N$, що задовольняє вимогам:

$$F_{АСК} = f(P_{ij}) \rightarrow \max, \quad (4)$$

при обмеженнях:

$$C_{\xi} = \sum_i \sum_j C_{ij}(l_{ij}, \rho_{ij}, h_{ij}) \leq C_{ДОП\xi}; i, j = 1,2,\dots,N; \quad (5)$$

$$\chi(G) \geq 2; \quad \lambda(G) \geq 2; \quad G_0(V,E) \subseteq G_{\xi}(V,E).$$

В запропонованому підході до оптимізації структури підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ пропонується оптимізувати за критерієм максимуму показника функціональної стійкості при обмеженнях на вартість системи. Така постановка завдання в практичному сенсі інтерпретується як намагання отримати структуру системи, яка б за рахунок закладеної надмірності могла б максимально чинити опір зовнішнім та внутрішнім дестабілізуючим факторам.

Індекс ξ в (5) припускає знаходження декількох структур для заданої вартості $C_{ДОП}$ для оптимізації та нарощування структури системи.

Для можливості досягнення результату в роботі прийнято рішення стосовно вирішення декількох однокритеріальних оптимізаційних задач із заданими значеннями $C_{ДОП}$, так як обчислення багатокритеріальної задачі на графах є майже недосяжним.

Припущення:

1. Шукані структури $G_{\xi}(V,E)$, $\xi = 1,2,\dots,5$, не повинні мати кратних ребер.

2. Шукані структури не мають заборонених ліній зв'язку. Будемо вважати, що із будь-якого вузла v_i у будь-який вузол v_j можна простягнути лінію зв'язку $e_{ij}(v_i, v_j)$, що має довжину l_{ij} і вартість витрат C_{ij} на капітальні вкладення та експлуатацію лінії зв'язку.

3. Пропускна здатність поодинокого каналу передачі інформації приймається $\rho_{ij} > h_{ij}$, де h_{ij} – інтенсивність інформаційного обміну між вузлами v_i і v_j .

4. Вартість капітальних вкладень і експлуатації будь-якої структури $G_{\xi}(V,E)$ обчислюється на основі

відомих емпіричних залежностей.

5. Вагові коефіцієнти w_{ij} у виразі (2) при обчисленні узагальненого показника функціональної стійкості $F_{АСК}$ носять суб'єктивний характер і повинні визначатися на основі методу експертних оцінок після ранжирування різних напрямків передачі даних за важливістю.

Аналіз значень узагальненого показника функціональної стійкості дозволяє порівнювати різні структури систем. Чим вище $F_{АСК}(P_{ij})$, тим більше «захищеною» буде система від різних збоїв, відмов та ушкоджень за рахунок структурної надмірності. Зниження значень K_r приводить до пом'якшення вимог до фізичних каналів передачі інформації, але вимагає необхідності більш високих витрат на побудову додаткових ліній зв'язку для забезпечення функціональної стійкості розподіленої автоматизованої системи керування.

В свою чергу, показник K_r сам по собі відображає як фізичну природу каналу зв'язку (кабельний, радіо, оптоволоконний тощо), так і комплекс заходів щодо забезпечення необхідної живучості (надійності) цього каналу. Тому іншим напрямком підвищення функціональної стійкості є підвищення значень кожного окремого показника K_r для кожної окремої лінії зв'язку. Очевидно, що комплекс заходів щодо підвищення живучості (надійності) також буде впливати на вартість каналу, що, в остаточному підсумку, приведе до необхідності вирішення нової проблеми вибору раціонального варіанту удосконалення підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ.

Оцінка функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією локальної електричної системи

Граф пропонованої підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ у локальній електричній системі представлена на рис. 3, на якому вершини графа позначено: 0 – промисловий контролер; 1 – система локального контролю та керування; 2 – сервер бази даних розрахунково-диспетчерський центр; 3 – маршрутизатор; 4,5 – інвертори; 6,7 – інтелектуальні лічильники; 8 – АРМ диспетчера; 9, 10 – контактори., а ребра графа – лінії зв'язку між ними. Вказана структура відповідає пропонованій вище апаратній реалізації АСК схемою видачі потужності ВДЕ (рис. 2).

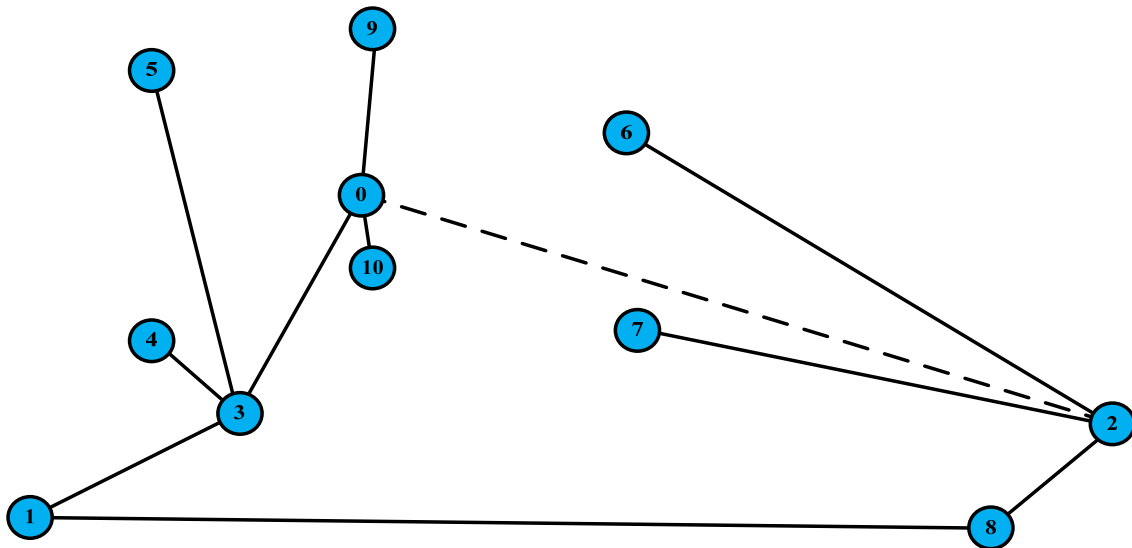


Рис. 3. Граф пропонованої підсистеми обміну інформацією ЛЕС

З метою дослідження функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією пропонованої АСК схемою видачі потужності ВДЕ застосовано метод викладений вище. Досліджуваний граф АСК має $n=11$ ліній зв'язку, та $m=11$ вершин. В процесі розрахунку використано припущення, згідно якого задана інтенсивність передачі інформації ρ_{ij} між вузлами напряму зв'язаними лінією зв'язку приймається рівною пропускній здатності поодинокого каналу передачі інформації. Інтенсивність передачі інформації між вузлами, зв'язаними декількома лініями зв'язку приймається рівною найменшій пропускній здатності поодинокого каналу на шляху між вузлами v_i та v_j .

Відповідно до зроблених припущень прийнято таку інтенсивність передачі інформації лініями зв'язку:

- лінії 0-9 та 0-10 – двох провідні лінії зв'язку $\rho=1$ біт/с;
- лінії 0-3, 3-4, 3-5, 3-1, 8-2 – провідні лінії зв'язку Ethernet 100BASE-T $\rho=100$ Мбіт/с;
- лінія 1-8 – безпроводна лінія зв'язку мережами загального користування 3G $\rho=3,2$ Мбіт/с;
- лінії 7-2, 6-2 – безпроводні лінії зв'язку мережами загального користування GPRS $\rho=21,4$ кбіт/с.

Математичне очікування заданої інтенсивності передачі інформації $M[\rho]$ у системі передачі даних АСК схемою видачі потужності ВДЕ розраховано за виразом:

$$M[\rho] = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \rho_{ij} = 2,012 * 10^7 \text{ кбіт/с.}$$

Відповідно до розрахованого значення $M[\rho]$ обрано вагові коефіцієнти ліній зв'язку, які залежать від заданої інтенсивності передачі інформації ρ_{ij} між вузлами v_i та v_j .

Імовірність зв'язності P_{ij} двополюсного графа з вершиною-джерелом v_i і вершиною-приймачем v_j розраховано на основі методів теорії надійності як послідовно-паралельне з'єднання елементів, де коефіцієнт готовності передачі інформації між вузлами прийнято $K_r=0,997$ для систем автоматизованого регулювання частоти і потужності [12].

Значення узагальненого показника функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ, обчисленого на основі матриці ймовірностей зв'язності з урахуванням вагових коефіцієнтів w_{ij} визначене у відповідності до (2) становить:

$$F_{АСК} = F(P_{3B}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} \cdot P_{ij} = 45,796 \text{ в.о.}$$

З метою оцінювання якісного значення функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією виконано порівняння отриманого результату із значенням функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією АСК для ідеальної системи $F_{АСК}^{p=1} = 46$ в.о. з коефіцієнтом готовності передачі інформації між вузлами $K_r = 1$:

$$F_{АСК}^* = F_{АСК} / F_{АСК}^{K_r=1} = 0,9956 \text{ в.о.}$$

Враховуючи властивість показника функціональної стійкості відмови каналів зв'язку та резервування структури передачі інформації проведено аналіз функціональної стійкості пропонованої підсистеми обміну інформацією під час відмови ліній зв'язку. Результати розрахунків приведено у табл. 1.

Таблиця 1

Чутливість показника функціональної стійкості пропонованої підсистеми обміну інформацією АСК ВДЕ до відмови ліній зв'язку

№ лінії	0-3	0-10, 0-9	3-5, 3-4	3-1	1-8	8-2	2-6, 2-7
$F_{АСК}$, в.о.	29,88	45,298	33,856	29,88	41,814	39,82	44,799
$F_{АСК}^*$, в.о.	0,649	0,985	0,736	0,649	0,909	0,866	0,974

Таким чином, функціональна стійкість пропонованої підсистеми обміну інформацією АСК, не задовольняє вимогам стійкості передачі інформації між вузлами, оскільки за такого значення імовірності передачі інформації системою буде менша нормативного значення коефіцієнта готовності 0,997 для систем автоматизованого регулювання частоти і потужності [12].

Підвищення показника функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією можливе двома шляхами:

1. Підвищення готовності до передачі інформації між вузлами, шляхом покращення параметрів каналів зв'язку;
2. Резервування ліній зв'язку пропонованої підсистеми обміну інформацією ЛЕС для забезпечення надмірності передачі інформації.

За результатами розрахунків встановлено, що $F_{АСК}^* > 0,997$ в.о. для діапазону імовірності передачі інформації $0,998 < K_r < 1$ кожною поодинокую лінією зв'язку. Вартість технічної реалізація та підтримки такої підсистеми обміну інформацією буде значно вища за вартість побудови резервованої схеми передачі інформації.

З метою перевірки можливості забезпечення функціональної стійкості системи передачі інформації шляхом резервування ліній зв'язку запропоновано впровадження додаткової безпроводної лінії зв'язку 0-2, що з'єднує промисловий контролер та сервер бази даних розрахунково-диспетчерського центру та показано на рис.3 пунктирною лінією. У результаті появи паралельного зв'язку значення узагальненого показника функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ збільшилось до $F_{АСК} = 53,404$ в.о., що в порівнянні з безвідмовною системою:

$$F_{АСК}^* = F_{АСК} / F_{АСК}^{p=1} = 53,404/53,5 = 0,9982 \text{ в.о.}$$

Таким чином, функціональна стійкість підсистеми обміну інформацією АСК з резервованими зв'язками, задовольняє вимогам стійкості передачі інформації, а відносний показник функціональної стійкості пропонованої підсистеми у випадку найважчої відмови лінії зв'язку набуває значення 0,92 в.о. Пропонована підсистема обміну інформацією у АСК схемою видачі потужності ВДЕ забезпечить надійне функціонування ВДЕ оснащених засобами локальної автоматизації керування, які виконують команди та реалізують закони керування з вищих ієрархічних рівнів, адаптуючи їх до місцевих умов.

Висновки

В статті запропонований закон оптимального керування оптимального керування схемою приєднання інверторів, тобто зміни схеми видачі потужності до ЕМ. Алгоритмічну реалізацію розробленого способу використано для узгодження графіків генерування СЕС з локальним електроспоживанням в АСК схемою видачі потужності ВДЕ. Також, запропоновано варіант апаратної реалізації автоматизованої системи керування схемою видачі потужності ВДЕ у локальних електричних системах. Пропонована автоматизована система керування ВДЕ базується на принципах функціонування *Smart Grid*, що полягають в значній інтеграції та автоматизації процесів генерування, передачі та споживання.

Запропонований підхід щодо визначення показників та критеріїв оцінки функціональної стійкості підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ комплексно використовує принцип декомпозиції процедури забезпечення функціональної стійкості на більш прості етапи і використовує методику розрахунку узагальненого показника функціональної стійкості як згортки матриці зв'язності структури. За використаними показниками та критеріями можна оцінювати та порівнювати різні структури підсистеми обміну інформацією автоматизованої системи керування.

Показано, що функціональна стійкість пропонованої підсистеми обміну інформацією АСК схемою видачі потужності ВДЕ локальної електричної системи забезпечується шляхом резервування каналів зв'язку. Пропонована підсистема буде функціонально стійка навіть за відмови каналу зв'язку з найбільшою інтенсивністю передачі інформації.

Література

1. Кулик В.В. Оптиміальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами Smart Grid [Електронний ресурс] / В.В. Кулик, Т.Є. Магас, Ю.В. Малогулко // Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2011. – № 4. – С. 1–6. – Режим доступу : <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1404/999>. – ISSN 2307-5376.
2. Бурикін О.Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка та електротехнології». – 2013. – № 2. – Вип. 15 (338). – С. 42–46. – ISSN 2074-2630.
3. Кулик В.В. Оптимізація перетікань активної та реактивної потужностей у розподільних електромережах засобами розосередженого генерування / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Вісник Вінницького політехнічного університету. Енергетика та електротехніка. – 2014. – № 1. – С. 90–93. – ISSN: 1997-9274.
4. Лежнюк П.Д. Оптимізація функціонування розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах. енергії / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, Ю.В. Малогулко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2014. – № 60 (1102). – С. 68–77. – ISSN 2079-4525.
5. Кулик В.В. Дослідження ефективності сумісної експлуатації локальних електричних мереж з ВДЕ та систем централізованого електропостачання / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». Електрифікація та автоматизація гірничих робіт». – 2014. – Вип. 25. – С. 113–120. – ISSN 2079-5688.
6. Бурикін О.Б. Спосіб узгодження графіків генерування сонячних електростанцій та споживачів енергії локальних електричних систем / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко, О.В. Нікіторович // Відновлювана енергетика XXI століття : XV міжнарод. наук.-техн. конф. : матеріали конференції. – Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2014. – С. 52–55.
7. Мокин Б. И. Автоматические регуляторы в электрических сетях / Б. И. Мокин, Ю. Ф. Выговский. – К. : Техника, 1985. – 104 с.
8. Воротницкий В.Э. Методика и программа оценки эффективности применения РПН и АРПН в замкнутых электрических сетях / В.Э. Воротницкий, П.Д. Лежнюк, И.А. Серова // Электрические станции. – 1992. – № 1. – С. 60–66.
9. Астахов Ю.Н. Применение критериального метода в электроэнергетике / Ю.Н. Астахов, П.Д. Лежнюк. – Киев : УМК ВО, 1989. – 137 с.
10. J. Conejo, J. M. Arroyo, N. Alguacil, and A.L. Guijarro, “Transmission loss allocation: a comparison of different practical algorithms,” *Power Systems, IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 17, P. 571–576, Aug. 2002.
11. Неділько С. М. Система показників і критеріїв для формалізації процесів забезпечення функціональної стійкості систем управління повітряним рухом / С. М. Неділько // Інформаційні технології управління. – С. 102–105.
12. ГКД 34.48.151-2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eom.com.ua/index.php?action=downloads;sa=view;down=2298>.

Рецензія/Peer review : 7.9.2016 р. Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Лежнюк П.Д.

СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

В статье проведен анализ процесса технического творчества с точки зрения фундаментальных положений кибернетики. Из процесса технического творчества выделены две системы управления, отражающие его двойную природу. Построены простейшие структурные схемы этих систем. Показана общность структур и связей систем управления процесса творчества с системами иной физической природы.

Ключевые слова: техническое творчество, природа творчества, кибернетика, система управления, связи, структурная схема.

U. SMOLIN

Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

STRUCTURAL COMPONENTS OF THE MANAGEMENT AND CONTROL SYSTEMS OF TECHNICAL CREATIVITY PROCESSES

The article analyzes the process of technological creativity in terms of fundamental principles of cybernetics. From the process of technical work identified two management systems, reflecting its dual nature. A simple block diagrams of these systems. Shows the commonality of the structures and relationships of the creative process control systems with the systems of different physical nature.

Keywords: technical work, the nature of creativity, cybernetics, system, management, communication, block diagram.

Постановка проблемы. Качественное развитие экономики в Украине возможно только за счет создания и внедрения новейших инновационных технологий во всех отраслях отечественной науки, техники и промышленности. Поэтому важной задачей является подготовка специалистов, способных творчески, то есть с элементами новизны, присущими любой инновационной технологии, решать стоящие перед ними проблемы. Именно творческие способности, в первую очередь и следует развивать в процессе обучения, а затем и дальнейшей трудовой деятельности. При этом возникает необходимость управлять процессом творчества, контролировать и оценивать этот процесс.

Цель работы. Целью работы является разработка структуры системы управления творческим процессом на основании анализа природ творческой деятельности и общих законов фундаментальной науки.

Содержание работы. Процесс творчества многогранен, и объяснить механизм творчества с позиций какого-либо одного, даже фундаментального положения науки, невозможно. Очевидно, что объяснение механизмов этого процесса должно находиться на стыке ряда наук: техники, психологии, физиологии, кибернетики, педагогики и др. Следовательно, творческий процесс является сложной системой, состоящей из взаимосвязанных подсистем, функционального и обеспечивающего назначения, каждая из которых может иметь различную физическую природу.

Известно, что общая цель системы определяется её назначением. Назначение определяет основную функцию системы. У системы возможно наличие нескольких функций. Это позволяет выделять из системы несколько новых систем, каждая из которых решает свою функциональную задачу, и которые по отношению к общей системе можно считать подсистемами. Из этих подсистем, в свою очередь, в соответствии с их функциями, возможно выделить новые, более мелкие системы.

Согласно основным положениям кибернетики в любой системе управления существует два вида связей. Это управляющее воздействие, приложенное от устройства управления к объекту управления по цепи управления, и информационный сигнал о текущем состоянии объекта, передаваемый от объекта к устройству управления по цепи обратной связи.

Анализируя структурные схемы систем различной физической природы, таких как техническая система, управляемая человеком, техническая система, управляемая компьютером, система рефлекторной дуги в живом организме и др., с точки зрения общих законов кибернетики, как это показано в работе [1] и учитывая одно из основных свойств процесса творчества – его многообразие, сделан вывод о возможности представления системы управления творческим процессом двумя подсистемами, которые наиболее полно отражают её двойственность.

Поскольку одной из природ творчества является трудовая деятельность человека, в частности техническая, характеризующаяся в основном интенсивностью его физического труда и в результате которой получается некий конечный продукт, характеризующийся заранее оговоренными техническими параметрами, то систему творчества, отражающую данную природу, можно назвать «рабочей». Отличительной особенностью «рабочей» системы будет являться ее управление по жесткому алгоритму управления и жизнеобеспечения, который предусмотрен заранее и принципиально ограничивает ее потенциальные возможности.

Эта система является детерминировано, так как ее состояние полностью определяется начальными условиями, значениями параметров и всех известных воздействий.

Объектом управления в такой системе является некий объект творческой деятельности (механизм,

устройство, предмет быта, культуры и пр.). Роль устройства управления выполняет человек – творец. При этом управляющее воздействие на объект управления оказывается при помощи исполнительных органов человека (рук, ног, языка и др.). По цепи обратной связи от объекта творческой деятельности передаются сигналы информации от человеческих органов чувств (зрения, слуха, обоняния и др.) о временных, пространственных и иных параметрах объекта. Структурная схема управления «рабочей» системы творческого процесса, построена в соответствии с приведенным описанием и общими законами кибернетики, показана на рисунке 1.



Рис. 1. Структурная схема управления «рабочей» системы творческого процесса

Другой природой творчества является трудовая деятельность человека, характеризующаяся не столько физической составляющей труда, сколько умственной, основанной на его интеллекте. В этом случае также получается некий конечный продукт, в соответствии с поставленной целью, но его свойства, характеристики, параметры и пр., либо несут элементы новизны, либо отличаются существенно улучшенными качествами. Систему творчества, отражающую данную природу можно назвать «интеллектуальной». Отличительной особенностью «интеллектуальной» системы является возможность ее управления не по заранее составленному плану и алгоритму его решения, а по произвольной, формируемой в устройстве управления программе.

Такая система является вероятностной, так как ее состояние может быть определено по значениям влияющих на нее воздействий только с определенной вероятностью.

Объектом управления в такой системе является тот же объект творческой деятельности, как и в предыдущей системе. Роль устройства управления выполняет человеческий мозг. При этом управляющее воздействие на объект управления оказывается мысленное, обусловленное вдохновением, талантом, уровнем интеллектуального развития, логикой, воображением, интуицией и рядом других, порой еще неизвестных науке факторов. По цепи обратной связи, от объекта творческой деятельности передаются сигналы информационных ощущений удобства, удовлетворения, внутреннего комфорта, радости и др. Структурная схема управления «интеллектуальной» системы творческого процесса, построенная в соответствии с приведенным описанием показана на рисунке 2.

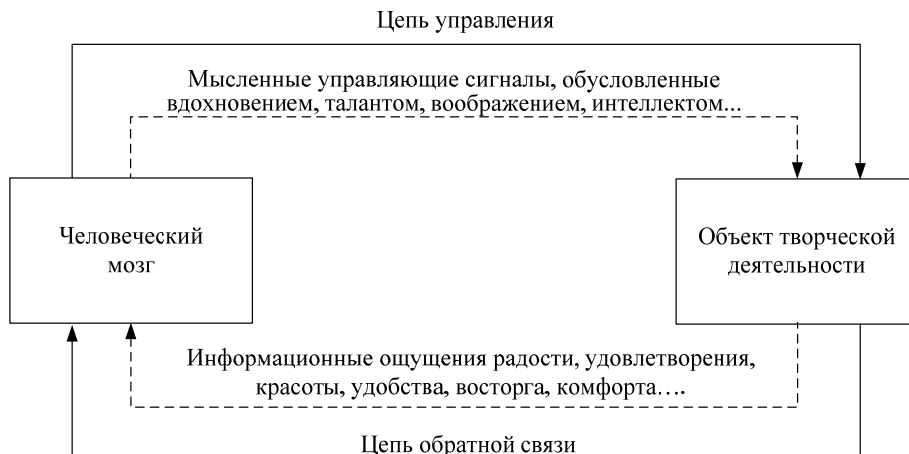


Рис. 2. Структурная схема управления «интеллектуальной» системы творческого процесса

Две структурные схемы управления «рабочей» и «интеллектуальной» систем, в соответствии с определениями приведенными выше, можно считать подсистемами единой системы управления процессом

творческого творчества. Но при этом следует понимать, что система управления творческим процессом является целостным и неразрывным образованием, построенным из элементов различной природы, находящихся в определенных причинно-следственных и функционально-целевых отношениях. Целостность единой системы управления техническим творчеством обуславливает несводимость её свойств к сумме свойств составляющих её подсистем и элементов. Следует также понимать, что каждая подсистема, каждый элемент, каждое определенное в подсистеме отношение или свойство зависит от его места и функции внутри системы как целого.

Вместе с тем, приведенные структурные схемы отражают реальные структуры и связи каждой из рассмотренных подсистем и позволяют рассматривать их как отдельные системы, обладающие своими свойствами, отношениями и характеристиками, влияющими на свойства и характеристики не только единой системой управления творческим процессом, но и технического творчества в целом.

«Рабочая» и «интеллектуальная» системы управления являются составной частью процесса технического творчества, под которым, уже с позиций кибернетики мы понимаем множество «рабочих» и «интеллектуальных» мероприятий, с помощью которых осуществляется производство конечного продукта – объекта творческой деятельности. Это никак не противоречит описанию механизмов технического творчества рассмотренных в работах посвященных исследованиям творческой деятельности [2–4]. Таким образом, в предложенных схемах можно рассматривать два класса процедур, отличающихся физической природой их реализации, а так же два вида информационных потоков различной природы на входах и выходах структурных схем.

Как видно из приведенных схем и проведенного анализа между приведенными структурными схемами, имеется полное структурное сходство, то есть они построены по общему принципу и структуре. Эта общность имеет большое практическое значение, выражающееся в едином подходе к изучению этих систем в целом, и подсистем сбора, передачи, хранения и обработки информации, в частности, связей в системе, воздействия внешней среды, параметров систем и критериев их оценки и контроля.

Выводы. Полученные структурные схемы подсистем управления творческим процессом позволяют применять к исследованию механизма технического творчества, в частности возможности его управления и контроля, различных методов и критериев, используемых в системах иной физической природы.

Литература

1. Смолин Ю.А. Анализ основных структурных составляющих и их связей в управлении процессом технического творчества инженерно-педагогического направления / Ю.А. Смолин, Н.Ю. Смолина // Проблемы інж.-пед. Освіти : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – X., 2012. – Вип. 34-35. – С. 326–334.
2. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для студентов вузов / А.И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Михелькевич В.Н. Основы научно технического творчества / В.Н. Михелькевич, В.М. Радомский. – Ростов н/Д. : Феникс, 2004. – 320 с. – (Серия «Высшее профессиональное образование»).
4. Стратегія творчої діяльності: школа В.О. Моляко / за загальною редакцією В.О. Моляко. – К. : «Освіта України», 2008. – 702 с.

Рецензія/Peer review : 18.9.2016 р.

Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф.. Троцишин І.В.

АСПЕКТИ ПЕРЕХОДУ НА HTTP2

В статті розглядається HTTP / 2 – протокол, заснований на протоколі SPDY від Google. Це найновіший стандарт, який вже підтримується Chrome, Firefox, Opera, Safari та іншими браузерами. Основні завдання HTTP / 2 – дозволити клієнтам серверів обирати протокол, реалізувати сумісність з HTTP / 1.1, знизити затримку завантаження сторінок, а також підтримати існуючі способи використання HTTP.

Ключові слова: протокол HTTP / 2, новітні технології, шардінг, мультиплексування веб-сервера, відкритий код, розробка сайтів.

О.А. KRAVCHUK

Khmelnitsky National University

ASPECTS OF THE TRANSITION ON THE HTTP 2

Annotation In the article we review HTTP / 2 - protocol based on SPDY protocol from Google. This is the most recent standard is already supported Chrome, Firefox, Opera, Safari and other browsers. The main tasks of HTTP / 2 - enable client / server protocol to select, implement compatibility with HTTP / 1.1, lower latency pages as well as support existing uses of HTTP. When planning the transition to the HTTP / 2? No single answer to this question is not and can not be. Let us, however, a hint: watch regularly logs traffic to your service. When you see that most of the visitors are using supports HTTP / 2 browsers - can proceed. To date, support for HTTP / 2 is implemented in Chrome (including the mobile versions for Android), Firefox, Opera, Edge, Safari. When planning the transition should take into account the specifics of your project. If you have many people who come to you with a mobile, it means that you preferably go to the HTTP / 2 as soon as possible. Smartphones and tablets advantages of the new protocol will be especially apparent. However, one needs to consider many nuances: for example, in many parts of the world are still many users browser Opera Mini, but it is HTTP / 2 is not yet supported. If you are planning to launch a new Web service - think about the prospect of switching to HTTP / 2. Of course, you still have to use HTTP / 1.1 for some time, but now you can take steps to optimize that will facilitate your life in the future.

Keywords: protocol HTTP / 2, the latest technology, fast sharding, multiplexing, Web server, open source, web development

Постановка проблеми. У минулому році в світі мережевих технологій відбулася дуже важлива подія: була затверджена і стандартизована нова версія протоколу HTTP – HTTP / 2. Вона вже підтримується на популярних веб-серверах: Apache і Nginx, йде робота по впровадженню HTTP / 2 в ІІС та реалізована підтримка більшості сучасних браузерів.

В останній час використання HTTP/2 істотно розширилося. За статистичними даними на середину 2015 року відсоток сайтів і веб-сервісів, які перейшли на HTTP / 2, був невеликий – всього 0,4%. А в січні 2016 року відбулося значне зростання: з 0,4 % до 6,5%. Є всі підстави вважати, що найближчим часом ці темпи будуть збільшуватися. Задуматися про практичні аспекти переходу на HTTP / 2 варто вже сьогодні.

Аналіз досліджень. Протокол HTTP 1.1 став незамінним для використання в Інтернеті. Величезні інвестиції були вкладені в протоколи та інфраструктуру, які тепер отримують з цього прибуток. Дійшло до того, що сьогодні часто простіше запустити що-небудь поверх HTTP, ніж створювати щось нове замість нього.

Коли HTTP був створений і випущений в світ, він, ймовірно, сприймався скоріше як простий та прямолінійний протокол, але час показав, що це не так. HTTP 1.0 в RFC 1945 – це 60 сторінок специфікації, випущеної в 1996 році. RFC 2616, який описував HTTP 1.1, був випущений лише трьома роками пізніше в 1999 році та значно розрісся до 176 сторінок. Крім того, коли в IETF працювали над оновленням специфікації, вона була розбита на шість документів з ще більшою кількістю сторінок в підсумку. Без сумнівів, HTTP 1.1 великий та включає безліч деталей, тонкощів, опціональних розділів.

Природа HTTP 1.1 полягає в наявності великої кількості дрібних деталей та опцій, доступних для подальшої зміни, що виростила систему програм, де немає жодної реалізації, яка б втілила все. Це привело до ситуації, коли можливості, що спочатку мало використовувалися, з'явилися лише в невеликому числі реалізацій, і ті хто їх реалізовував після спостерігали незначне їх використання.

Пізніше це викликало проблеми в сумісності, коли клієнти та сервери почали активніше використовувати подібні можливості. Конвеєрна обробка HTTP (HTTP pipelining) – це один з показових прикладів подібних можливостей.

HTTP 1.1 пройшов важкий шлях, щоб по-справжньому скористатися всією потужністю та продуктивністю, яку дає TCP. HTTP-клієнти і браузери повинні бути винахідливими, щоб знайти способи для зменшення часу завантаження сторінки.

Інші експерименти, які паралельно проводилися протягом багатьох років, також підтверджували, що TCP не так просто замінити і тому фахівці продовжують працювати над поліпшенням як TCP, так і протоколів, що працюють поверх нього.

TCP можна легко почати використовувати повноцінно, щоб уникнути пауз та періодів часу, які могли бути використані для відправки або прийому більшої кількості даних.

Коли дивитися на тенденції розвитку деяких найбільш популярних на сьогодні сайтів і порівнюєш скільки часу займає завантаження їх головної сторінки, вони стають очевидними. За останні роки кількість даних, які потрібно поступово передати, зросла до позначки 1,5Мб і вище, але, що найбільш важливо для нас в цьому контексті, так це число об'єктів, яке в середньому тепер близько до сотні. Сто об'єктів необхідно завантажити, щоб відобразити всю сторінку цілком.

HTTP 1.1 дуже чутливий до затримок частково через те, що в конвеєрній передачі HTTP й раніше вистачало проблем і вона відключена у переважній більшості користувачів.

У той час, як всі спостерігали значне збільшення пропускної смуги у користувачів за останні кілька років, ми не бачили подібного рівня зниження затримки. Канали з високою затримкою, як у багатьох сучасних мобільних технологіях, значно знижують відчуття швидкої веб-навігації, навіть якщо у вас є дійсно високошвидкісне підключення.

Конвеєрна передача HTTP – це спосіб відправки чергового запиту, вже чекаючи відповідь на попередній запит, що схоже на чергу до касира в супермаркеті. Ви не знаєте, що за люди перед вами: швидкі клієнти або докучливі персони, яким буде потрібно нескінчену кількість часу, щоб завершити обслуговування, блокування початку черги. Безумовно, ви можете ретельно вибирати чергу і в підсумку вибрати ту, яку вважаєте за правильну, а іноді можете створити свою власну чергу, але, врешті-решт, ви не зможете уникнути прийняття рішення і одного разу вибравши чергу, не зможете її змінити. Створення нової черги пов'язане з продуктивністю та втратою ресурсів, і не може масштабуватися за межі невеликого числа черг. Для вирішення цього завдання немає ідеального рішення.

Заключний нюанс, на нашу думку, який застосовується власниками сайтів для поліпшення завантаження в браузерях, часто називають «шардінгом». Це, в основному, означає розосередження вашого сервісу по максимально можливому числу різних хостів. На перший погляд це звучить божевільно, але на це є проста причина.

Спочатку HTTP дозволяв використовувати клієнту максимум два TCP з'єднання на кожен хост. Таким чином, щоб не порушувати специфікацію, просунуті сайти просто придумали нові імена хостів, що дало можливість отримати більше число з'єднань для вашого сайту та скоротити час завантаження сторінки. Згодом, це обмеження було прибрано зі специфікації. На сьогодні клієнти використовують 6-8 з'єднань на хост, але й досі мають обмеження, тому сайти використовують цю техніку збільшення числа з'єднань. По мірі збільшення числа об'єктів велика кількість з'єднань почала використовуватися просто для того, щоб переконатися, що HTTP справляється добре й робить сайт швидше.

Ще одна причина шардінга – це розміщення зображень і подібних ресурсів на окремих хостах, які не використовують cookie, оскільки вони на сьогоднішній день можуть бути значного розміру. Використовуючи хости зображень без cookie, ви можете збільшити продуктивність за рахунок значно менших HTTP-запитів.

Специфікація протоколу роз'яснює, як саме використовувати його для тексту і TLS. Однак Google (Chrome) і Mozilla (Firefox) оголосили про те, що будуть підтримувати HTTP / 2 тільки по TLS. Хоча Microsoft і не оголосила про це офіційно, але тестові версії Internet Explorer на Windows 10 показали, що компанія прийняла те ж саме рішення. Все це говорить про те, що новий протокол поступово стане застосовуватись тільки через TLS. Отже, HTTP / 2 буде підтримуватись тільки для URL-адрес типу HTTPS. Безумовно, це звучить як примус до використання HTTPS, проте в кінцевому рахунку це призведе тільки до вигоди, адже Інтернет стане безпечніше.

Цей стандарт має певні вимоги до TLS і буде використовувати саму безпечну реалізацію TLS. Специфікація вимагає TLS 1.2 і вище, забороняє стиснення та повторне погодження, а також має жорсткі вимоги до розміру ключів і набору шифрів.

Нижче представлені загальні рекомендації (можливості) TLS для HTTP / 2:

- застосування щодо безпечного використання TLS;
- підтримка Server Name Indication (SNI), що потрібно тільки для стандарту з TLS3 і вище;
- для HTTP / 2 через TLS2 відключення стиснення (воно не потрібно, оскільки протокол забезпечує можливість безпечного стиснення);
- для HTTP / 2 через TLS2 необхідно відключення повторного погодження;
- розмір ключа повинен бути як мінімум 2048 бітів для DHE і 224 біта для ECDHE;
- протокол не використовує набори шифрів з «чорного списку»;
- набір шифрів повинен бути тільки AEAD;
- мінімальний розмір ключів – 128 біт EC, 2048 біт RSA.

Формулювання цілей статті. Мета дослідження – огляд та аналіз протоколу HTTP / 2 – це нова версія стандартного протоколу передачі гіпертексту. Протокол HTTP (Hypertext Transfer Protocol) є основою взаємодії браузерів з веб-серверами, завдяки чому здійснюються завантаження і відображення веб-сторінок. Головною метою поновлення якого було підвищення швидкості завантаження сторінок.

Виклад основного матеріалу дослідження. Задуматися про практичні аспекти переходу на HTTP / 2 варто вже зараз. Цю тему ми хотіли б розглянути в сьогоднішній статті. Особливо нас буде цікавити проблема адаптації існуючих прийомів оптимізації продуктивності веб-сайтів під специфіку нового протоколу.

Перш ніж перейти безпосередньо до розгляду цього питання, звернемося до історії протоколу HTTP / 2 і коротко опишемо основні нововведення, що відрізняють його від HTTP / 1.1.

Від HTTP до HTTP / 2. Трохи історії. Перший опис протоколу HTTP (HyperText Transfer Protocol) було опубліковано в 1991 році. У 1999 році була розроблена і описана версія HTTP 1.1, яка використовується і до цього дня. У той далекий час (майже 20 років тому) веб-сайти були зовсім не такими, як зараз. За відносно невеликий період часу сайти стали «важити» набагато більше. Домашня сторінка середньостатистичного сучасного сайту містить приблизно 1,9 МБ даних: зображення, JS, CSS і багато іншого.

Через обмеження на кількість одночасних підключень в HTTP / 1.1 завантаження сторінок, що містять велику кількість «важкого» контенту, здійснюється повільно. Можна виділити два шляхи вирішення цієї проблеми. Перший полягає у використанні різних технік оптимізації продуктивності, а другий – в спробі модифікації самого протоколу HTTP з метою усунення можливих вузьких місць. Розглянемо такі спроби більш докладно.

Перший масштабний проект реформування HTTP був представлений в 2009 році інженерами

Google. Це протокол SPDY, метою якого в першу чергу було прискорення роботи веб-сайтів і додатків шляхом модифікації традиційних способів прийому і відправлення запитів.

SPDY вимагає підтримки як на стороні сервера, так і на стороні клієнта. Розробники Google створили спеціалізовані модулі для Apache (mod_spdy) і для Nginx (ngx_http_spdy_module). Підтримується він і практично у всіх популярних браузерах.

HTTP / 2, представлений шістьма роками пізніше, багато в чому ґрунтується на SPDY. Нова версія HTTP була створена робочою групою Hypertext Transfer Protocol working group. У травні 2015 року специфікація HTTP / 2 була опублікована як RFC 7540.

Протокол HTTP / 2 сумісний з HTTP / 1.1. Зміни, спрямовані на усунення вузьких місць і підвищення продуктивності, багато в чому продовжують лінію SPDY. Розглянемо коротко найбільш важливі з них.

Мультиплексування, можливо, це найголовніша перевага HTTP / 2. У HTTP / 1.1 для кожного запиту потрібно встановлювати окреме TCP-з'єднання. Мультиплексування ж дозволяє браузеру виконувати безліч запитів в рамках одного TCP-з'єднання: HTTP / 2. В сучасних браузерах кількість одночасних TCP-з'єднань обмежена. Тому сторінки з великою кількістю статичного контенту завантажуються не так швидко, як хотілося б. У HTTP / 2 завдяки мультиплексуванню статичні елементи завантажуються паралельно, і завдяки цьому істотно поліпшується продуктивність.

Ще одне нововведення HTTP / 2 – це пріоритизація. Кожному запиту можна призначити пріоритет. Існує два підходи до призначення пріоритетів: на основі ваги і на основі залежностей. У першому підході кожен потік отримує певну вагу. Потім на основі ваги сервер розподіляє навантаження між потоками. Такий підхід вже використовувався в протоколі SPDY.

Другий метод, який є основним в HTTP / 2, полягає в наступному: браузер просить сервер завантажувати певні елементи контенту в першу чергу. Наприклад, браузер може попросити сервер спочатку завантажити CSS-файли або JavaScript, а вже потім – HTML або зображення. У HTTP / 2 пріоритизація є не обов'язковим, а бажаним методом. Однак мультиплексування без неї працювати належним чином не буде. Якщо не налаштувати пріоритизацію може трапитись таке, що швидкість завантаження може бути навіть нижче, ніж HTTP / 1.1. Ресурси з більш низьким пріоритетом будуть займати смугу, що призведе до зниження продуктивності.

Наступним важливим нововведенням є стиснення HTTP-заголовків. Сучасна веб-сторінка складається з безлічі елементів: зображення, JS, CSS та інші. У запиті на завантаження кожного з цих елементів браузер передає HTTP-заголовок. Відправляючи запитні дані, сервер також додає до них заголовки. Все це пов'язане із зайвою витратою ресурсів. У HTTP / 2 заголовки передаються в стислому вигляді. Завдяки цьому зменшується кількість інформації, якою обмінюються між собою сервер і браузер. Замість алгоритмів gzip / deflate використовується HPACK. Це знижує вразливість до атак типу BREACH.

HTTP / 2 є на порядок безпечнішим для передачі даних ніж попередня версія протоколу. Одним з найважливіших вимог протоколу SPDY є обов'язкове шифрування (HTTPS) з'єднання між клієнтом і сервером. У HTTP / 2 воно обов'язкового характеру не має. Однак розробники браузерів прийняли рішення запровадити новий протокол тільки для TLS (HTTPS)-з'єднання. Тому тим, хто замислюється про перехід на HTTP / 2, потрібно спочатку перейти на HTTPS.

Це потрібно не тільки для HTTP / 2. У пошуку Google використання безпечного з'єднання є одним з критеріїв ранжирування. Браузери скоро будуть позначати сайти, які не підтримують https, як «небезпечні». Додамо також, що багато можливостей HTML5, наприклад, геолокація – без безпечного з'єднання будуть недоступні.

Важливою особливістю даного протоколу є просте налаштування на серверах. Коротко розглянемо базове підключення протоколу в найрозповсюдженіших серверах..

Як вже було сказано вище, більшість сучасних браузерів працюють з HTTP / 2 тільки через TLS, тому в конфігурації вашого веб-сервера повинні бути прописані відповідні налаштування. Підтримка HTTP / 2 реалізована тільки в новітніх версіях Nginx (1.9.5 і вище). Якщо у вас встановлена інша версія, вам буде потрібно оновити її.

Після цього в конфігураційному файлі /etc/nginx/nginx.conf і знайдіть в секції server наступний рядок:

```
listen 443 ssl;
```

і замініть її на:

```
listen 443 ssl http2;
```

Збережіть внесені зміни і перезавантажте Nginx:

```
$ sudo service nginx reload
```

Це все, що необхідно для налаштування HTTP / 2 в Nginx.

В Apache HTTP / 2 підтримується тільки в версіях 2.4.17 і вище. Якщо у вас встановлена більш рання версія, виконайте оновлення і підключіть модуль mod_http2. Після цього додайте в конфігураційний файл наступні рядки:

```
# For a https server
Protocols h2 http / 1.1
# For a http server
Protocols h2c http / 1.1
```

Після цього перезапустіть Apache. Ось і все – для базової установки цього цілком достатньо.

Розглянемо оптимізацію сайтів для використання нового протоколу. HTTP / 2 сумісний з HTTP / 1.1. тому ви в принципі можете не робити ніяких дій: роботі вашого сервісу нічого не загрожує.

Але в міру переходу популярних веб-серверів і веб-браузерів на HTTP / 2 ви побачите, що ваш сайт, який колись був оптимізований для збільшення швидкості завантаження сторінок і підвищення продуктивності, вже працює не так швидко, як раніше.

Багато способи оптимізації, які успішно використовувались в HTTP / 1.1, в HTTP / 2 працювати не будуть. Деякі з них буде потрібно модифікувати, а від деяких – відмовитися взагалі. Розглянемо це питання більш детально.

У HTTP / 1.1 було зручніше завантажити одне велике зображення, ніж робити безліч запитів і завантажувати багато маленьких. Це обумовлено тим, що запити ставляться в чергу один за одним. Найпоширеніший спосіб збільшення швидкості завантаження полягав в об'єднанні множинних невеликих зображень в спрайт-файл.

Спрайт повертався у відповідь на єдиний запит. Навіть якщо користувач заходив на сторінку, на якій знаходиться всього одне невелике зображення, потрібно було завантажити весь спрайт.

У HTTP / 2 з його мультиплексуванням таких проблем немає, проте використання спрайтів в певних ситуаціях може виявитися корисним. Об'єднання декількох зображень в спрайт (особливо якщо всі ці зображення знаходяться на одній сторінці) допомагає поліпшити стиснення і таким чином знизити загальний обсяг даних при завантаженні.

Ще один популярний спосіб вирішення проблеми множинних HTTP-запитів в HTTP / 1.1 – вбудовування зображень з використанням Data URI. Це істотно збільшує в розмірі таблицю стилів.

Якщо одночасно зі вбудовуванням зображень для оптимізації використовується ще й конкатенація JS і CSS, користувачеві швидше за все доведеться завантажити весь відповідний код, навіть якщо він не буде відвідувати сторінку з цими зображеннями. У HTTP / 2 така практика скоріше погіршить, а не поліпшить продуктивність.

Для оптимізації роботи сайтів часто використовується конкатенація невеликих CSS- і JS-файлів. Багато маленьких файлів об'єднуються в один великий. Таким чином вдається обійти ліміт на кількість HTTP-запитів.

Однак при використанні конкатенації може виникнути та сама проблема, що і зі спрайтами: зайшовши на якусь одну сторінку сайту, користувач завантажить всі використовувані на ньому CSS- і JS-файли (при цьому дуже ймовірно, що більшість з цих файлів йому ніколи не знадобляться). Звичайно, можна ретельно відбирати файли для кожної сторінки сайту, але це буде займати занадто багато часу.

Ще одна складність полягає в тому, що всі елементи об'єданого файлу потрібно вичищати з кешу одночасно. Неможливо зробити так, щоб для одних елементів була виставлена одна дата закінчення терміну дії, а для інших (які до того ж і використовуються набагато частіше) – інша. Якщо змінити хоча б один рядок в CSS, термін зберігання в кеші закінчиться відразу у всіх елементів.

Чи варто користуватися конкатенацією в HTTP / 2? Якщо HTTP-запити не вимагають істотних витрат ресурсів, то без неї цілком можна обійтися. Завантаження безлічі невеликих файлів стилів ніякої проблеми не складе.

У HTTP / 1.1 є обмеження на кількість відкритих з'єднань. Щоб обійти це обмеження, доводиться завантажувати статичні ресурси з декількох піддоменів одного домену. Такий прийом називається доменним шардуванням; воно часто використовується, наприклад, для сторінок з великою кількістю зображень. Це допомагає збільшити швидкість завантаження, але разом з тим і створює додаткові проблеми. З переходом HTTP / 2 необхідність в доменному шардуванні відпадає. Ви можете запросити стільки ресурсів, скільки вам потрібно. Більш того, у випадку з HTTP / 2 шардування не поліпшить продуктивність, а призведе швидше до протилежного ефекту, так як створить додаткові TCP-з'єднання і буде заважати пріоритетизації.

Висновки. Коли планувати перехід на HTTP / 2? Однозначної відповіді на це питання немає і бути не може. Ось одна підказка: регулярно переглядайте логи відвідуваності вашого сервісу. Коли ви побачите, що більша частина відвідувачів використовують підтримують HTTP / 2 браузері – можна переходити. На поточний момент підтримка HTTP / 2 реалізована в Chrome (в тому числі і в мобільній версії для Android), Firefox, Opera, Edge, Safari.

При плануванні переходу слід враховувати і особливості вашого проекту. Якщо у вас багато користувачів, які приходять до вас з мобільних пристроїв, то це означає, що вам бажано перейти на HTTP / 2 якомога швидше. На смартфонах та планшетах переваги нового протоколу будуть особливо очевидними. Однак і тут потрібно враховувати безліч нюансів: наприклад, у багатьох регіонах світу до цих пір багато користувачів браузера Opera Mini, а він HTTP / 2 поки що не підтримує.

Якщо ви плануєте запускати новий веб-сервіс, задумайтеся про перспективу переходу на HTTP / 2. Звичайно, вам ще доведеться використовувати HTTP / 1.1 протягом якогось часу, але вже зараз можете вжити заходів щодо оптимізації, які полегшать вам життя в майбутньому.

Література

1. Пелещин А.М. Позиціонування сайтів у глобальному інформаційному середовищі / А.М. Пелещин. – Львів : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2007. – 258 с.
2. Пасічник В.В. Глобальні інформаційні системи та технології (моделі ефективного аналізу, опрацювання та захисту даних) / Пасічник В.В., Жежнич П.І., Кравець Р.Б., Пелещин А.М., Тарасов Д.М. – Львів : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2006. – 350 с.
3. Биктимиров М.Р. Избранные главы компьютерной безопасности / М.Р. Биктимиров, А.Ю. Щербаков. – Казань : Изд-во Казанского математического общества, 2004. – 372 с.
4. Биктимиров М.Р. Модели управления доступом в распределенных компьютерных системах : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Биктимиров М.Р. – Казань, 2008. – 137 с.

ПОСТРОЕНИЕ БПЛА НА БАЗЕ ПОЛЕТНОГО КОНТРОЛЛЕРА APM 2.6

Разработан беспилотный летательный аппарат (БПЛА) на базе полетного контроллера APM 2.6. Реализованы полетные режимы удержания высоты на основе барометра, удержания точки по высоте и координате по GPS, автоматического полета по точкам миссии с использованием барометра и GPS и режима спасения (failsafe), по которому БПЛА возвращается в точку запуска при потере связи с наземной станцией. Рассмотрено программирование регуляторов двигателей ESC с помощью пульта в случае использования Li-ion аккумуляторов вместо Lipo.

Ключевые слова: APM 2.6, Mission Planner, ESC, ATmega2560, u-blox NEO-6M.

A.A. MYASISCHEV

Khmelnytsky National University

CONSTRUCTION OF UAV ON BASE OF THE CONTROLLER APM 2.6

It developed an unmanned aerial vehicle (UAV) on the basis of the flight controller APM 2.6. Implemented modes flights: retention altitude with help barometer, retention point height and coordinate by GPS, automatic flight on points with help barometer and GPS, and return mode (failsafe) in which the UAV returns to the start point if the loss of communication with the ground station. Considered programming of the system controls by motor with the remote in the case of Li-ion batteries instead of Lipo.

Keywords: APM 2.6, Mission Planner, ESC, ATmega2560, u-blox NEO-6M.

Постановка задачи

В последнее время высокую степень интереса вызывают дроны или беспилотные летающие роботы, построенные на базе мультикоптеров. Среди них наиболее распространенным является четырехмоторный коптер – квадрокоптер. Сейчас они используются для исследования местности, для проведения спасательных операций МЧС, в работе пожарных служб, военной разведки. Они могут быть использованы для доставки небольших грузов на расстоянии не более 5–7 км со скоростью 30–40 км/час. Применяются фотоаппаратами и операторами для съемок пейзажей, архитектуры, видеороликов. В настоящее время разработано большое количество полетных контроллеров с программным обеспечением. Это контроллеры Multiwii, ArduCopter (APM 2.6, APM 2.8), контроллеры DJI (Naza-M Lite, DJI Naza-M V2, DJI Wookong), MicroKopter, Zero UAV X4/X6, AutoQuad, KK., XAircraft и др. Целью работы является построение БПЛА, который способен выполнять следующие основные полетные режимы:

1. Stabilize — в этом режиме выполняется взлет и посадка. Задействованы гироскоп и акселерометр для удержания горизонта. Компас используется дополнительно для контроля и коррекции.
2. AltHold — режим удержания высоты. В данном режиме добавляется использование барометра, который способствует удержанию высоты по давлению воздуха.
3. Land — режим автоматической посадки в текущем положении. Используется барометр для контроля высоты.
4. Simple — режим, который позволяет «забыть» об ориентации БПЛА относительно пилота. В данном режиме самым важным является компас.
5. Loiter — режим удержания точки (по координате и высоте). Использует GPS. Режим хорошо подходит для фото и видеосъемки.
6. RTL (Return To Launch) — возврат домой, в точку взлета. Контроллер запоминает точку, где произведен Arming и позволяет вернуть коптер в эту точку.
7. Auto — полет по точкам миссии. Миссия может создаваться вручную через программное обеспечение наземной станции перед полетом.
8. Failsafe — режим спасения, который отправляет БПЛА домой (в точку, где произведен запуск двигателей – Arming). Например, в случае потери связи с наземной станцией.

БПЛА должен быть построен на базе мультикоптера с 4-я двигателями с рамой типоразмера F450 и расположением моторов QUAD X.

Изложение основного материала работы

Для решения поставленной задачи необходим правильный выбор полетного контроллера совместно с программным обеспечением для его функционирования. Только небольшая часть перечисленных выше контроллеров в состоянии выполнить поставленную задачу. Например, самый дешевый контроллер KK имеет минимальный набор датчиков (3-осевой гироскоп), микроконтроллер ATmega168 малой производительности, ограниченной памятью и периферией, что позволяет ему реализовать лишь режим Stabilize. Контроллер DJI Wookong известной китайской частной компании SZ DJI Technology Co., Ltd. (Dajiang Innovation Technology Co.) позволяет выполнять все перечисленные полетные режимы, однако он имеет высокую стоимость и закрытое программное обеспечение. Например, невозможно изменить код программы в случае установки дополнительных устройств, которые оказывали бы влияние на работу

двигательной установки. В таблице 1 представлены возможности наиболее распространенных полетных контроллеров.

Таблица 1

Возможности полетных контроллеров

Контроллер	Стабилизация полета	Удержание высоты	Удержание позиции	Полет по точкам
MultiWii	+	+	+	+
ArduCopter	+	+	+	+
Rabbit	+	+	+	-
DJI Naza Lite	+	+	+	-
DJI Naza V1/V2	+	+	+	+
DJI Wookong	+	+	+	+
Zero UAV X4/X6	+	+	+	+
XAircraft	+	+	+	-
XAircraft SuperX	+	+	+	-
KK	+	-	-	-
MicroKopter	+	+	+	+
Autoquad	+	+	+	+

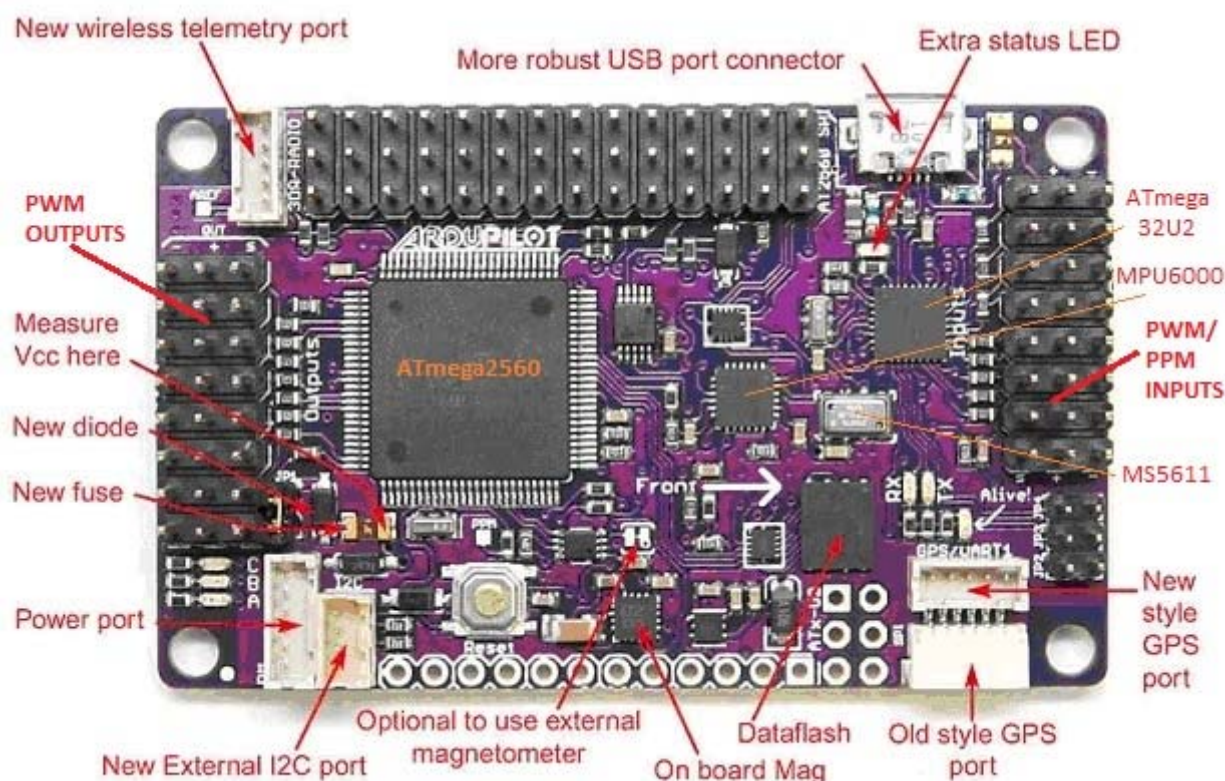


Рис. 1. Полетный контроллер APM 2.5/2.6

Относительно недорогими с открытым исходным кодом являются контроллеры MultiWii и ArduCopter, которые поддерживают все заданные полетные режимы. В работе рассматривается построение БПЛА на базе ArduCopter. В настоящее время проект ArduCopter поддерживает два типа контроллеров – APM 2.x и Pixhawk. Представлены также новые разработки – это контроллеры NAVIO+ и NAVIO2 на основе одноплатных мини компьютеров Raspberry Pi 2, Raspberry Pi 3, работающих на базе операционной системы Linux. Но они находятся в стадии экспериментальной отработки. Контроллер APM 2.x построен на основе 8-битного микроконтроллера ATmega2560, Pixhawk – на основе 32-разрядного высокопроизводительного процессора STM32F427 со встроенным сопроцессором. Второй контроллер имеет

существенные преимущества по производительности, объему памяти по сравнению с первым, однако набор полетных режимов у них одинаков и контроллер Pixhawk имеет преимущество для построения скоростных летательных аппаратов с дальнейшим расширением их функциональных возможностей в будущем. Стоимость Pixhawk примерно в 1.6...2 раза выше APM 2.x. Поэтому в работе рассматривается использование контроллера APM 2.5/2.6.

На рисунке 1 представлен контроллер APM 2.5/2.6 с обозначением входящих в него компонентов.

Контроллер включает в себя

1. MPU-6000 – 3-осевой гироскоп и 3-осевой акселерометр для удержания горизонта.
2. Микроконтроллер ATmega32U2, для выполнения функций PPM encoder и USB интерфейса.
3. Барометрический датчик для удержания высоты MS5611.
4. Флеш память 4МБайт для записи полетных данных (ведение логов полета).
5. Микроконтроллер ATmega2560 для управления полетом.

Отличие APM 2.6 от APM 2.5 в том, что в первом отсутствует компас. Для его лучшей работы он вынесен во внешний модуль и установлен с GPS приемником (рис. 2).

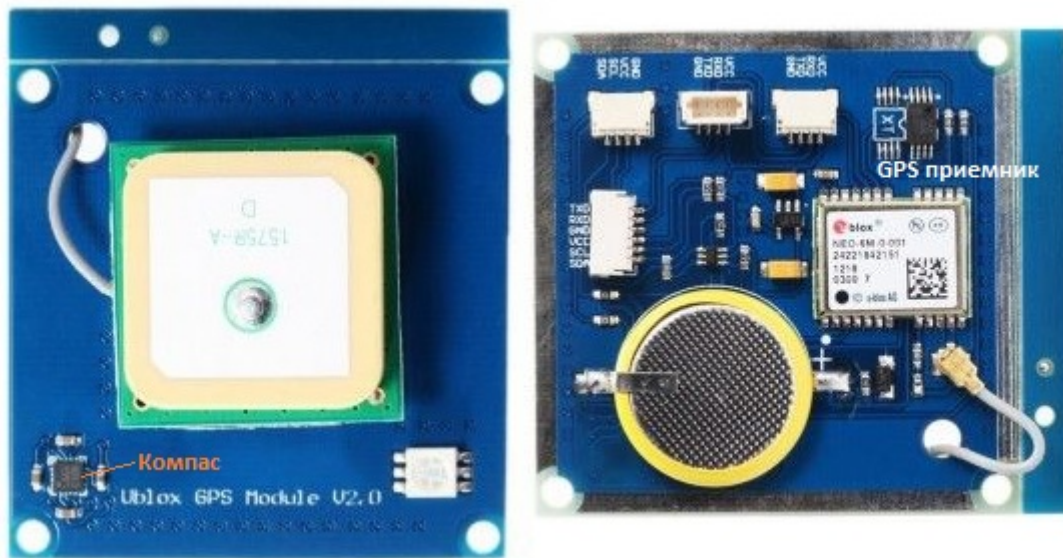


Рис.2. GPS модуль u-blox NEO-6M с компасом

Для управления бесколлекторными двигателями используются регуляторы ESC (Electronic Speed Controller) модели Readytosky ESC-30A. Функциональная схема подключения этих регуляторов к полетному контроллеру представлена на рисунке 3. Они управляются сигналом прямоугольной формы с длительностью импульса от 1 мс до 2 мс, которая определяет скорость вращения двигателей.

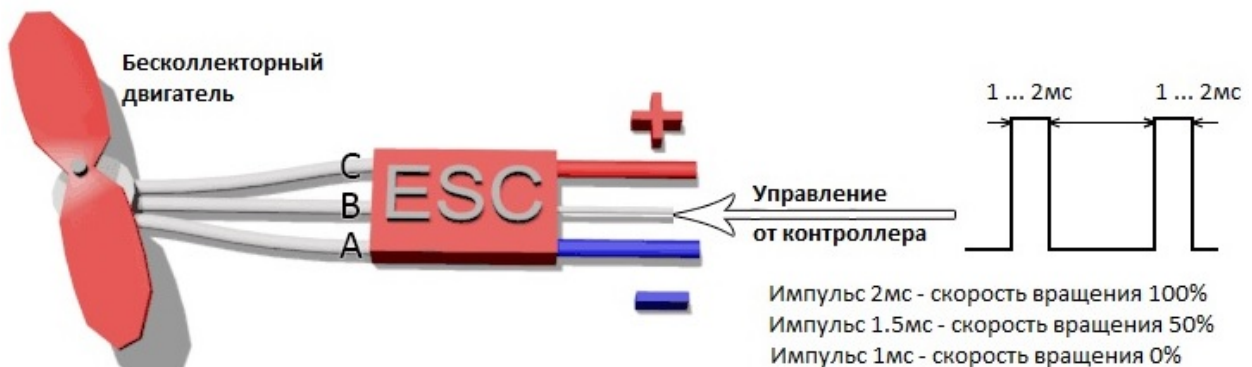
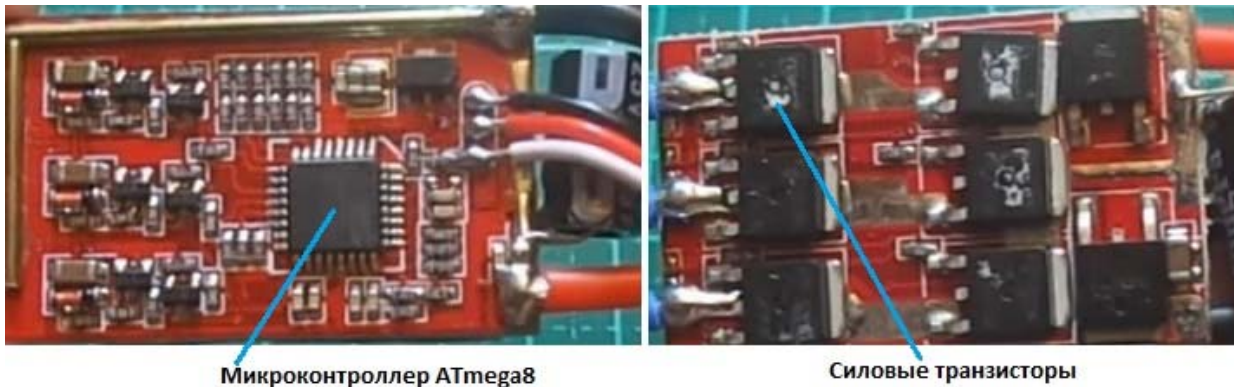


Рис. 3. Схема подключения регулятора двигателя и его функционирование

На рисунке 4 представлен регулятор Readytosky ESC-30A с входящими туда электронными компонентами.

В работе в качестве основного источника питания используются 3 последовательно подключенные высокоточные аккумуляторные li-ion батареи типоразмера 18650 - SAMSUNG INR18650-25R вместо стандартных литий полимерных батарей (Lipo). Они способны в режиме непрерывного разряда отдавать в нагрузку ток величиной 20А, а при импульсном до 30А, что достаточно для полетных режимов AltHold, Loiter, Land, RTL и полета по точкам в режиме Auto со скоростью до 5м/с. Используемые регуляторы по умолчанию имеют настройки для использования Lipo, в частности выполняют автоматическое выключение

двигателей при снижении напряжения на одну батарею до 3.15В. Однако li-ion батареи позволяют снижать напряжение до 2.9В, поэтому требуется перепрограммирование используемых регуляторов ESC. Существует два основных способа программирования ESC – с помощью карты и пульта. Первый способ требует использования специальной карты стоимостью \$5–\$15, второй требует использования пульта управления БПЛА. В работе используется второй способ программирования.



Микроконтроллер ATmega8

Силовые транзисторы

Рис. 4. Регулятор Readytosky ESC-30A

Рассмотрим существующие программируемые функции, используемые в работе ESC:

1. Тормоз двигателя: вкл/выкл, по умолчанию отключен. При включенном тормозе идет торможение двигателей при их отключении.

2. Тип аккумулятора: Li-xx (литий-ионный или Lipo) / Ni-xx (NiMH или NiCd). По умолчанию Li-xx.

3. Режим отсечки подачи напряжения (Cut-Off Mode): Мягкая Cut-Off (постепенно уменьшить мощность на двигатель) или Cut-Off (полная отсечка выходной мощности). По умолчанию – мягкая Cut-Off.

4. Низкий порог защиты напряжения (Cut-Off Threshold): низкий/средний/высокий, по умолчанию средний.

4.1. Для литиевых батарей, количество аккумуляторных батарей рассчитывается автоматически. Низкий/средний/высокий напряжения отсечки для каждой ячейки следующие: 2.85V/3.15V/3.3V. Например: Для 3 баночных литиевых батарей, когда установлен "средний" порог отсечки, напряжение отсечки будет: $3.15 * 3 = 9.45V$.

4.2. Для никелевых батарей, низкий/средний/высокий напряжения отсечки – это 0%/50%/65 при начальном напряжении аккумулятора. Так 0% означает, что функция низкого напряжения отсечки отключена. Например: Для 10 ячеек NiMH аккумулятора, напряжение полностью заряженной составляет $1,44 * 10 = 14,4$, когда установлен "средний" порог отсечки, напряжение отсечки будет: $14,4 * 50\% = 7,2 V$.

5. Старт двигателя: Normal/Soft/Super-Soft. (300 мс / 6с / 12 сек), по умолчанию Normal. Нормальный - является предпочтительным для самолетов. Мягкий или супер-мягкий предпочтительны для вертолетов, когда необходимо постепенное ускорение вращения пропеллера.

6. Тайминг - Низкий/Средний/Высокий (3,75 ° / 15 ° / 26,25 °), по умолчанию низкий. Как правило, низкий или средний тайминг подходит для большинства двигателей. Для того чтобы получить более высокую скорость и большую выходную мощность, выбирают высокий тайминг.

Опыт эксплуатации квадрокоптеров показал целесообразным следующий выбор настроек:

Brake: OFF. Тормоз выключен.

Battery Type: Ni-xx(NiMH or NiCd). Не выбирается тип батарей Li-Po, т.к. регулятор остановит моторы, когда напряжение аккумулятора просядет, и БПЛА упадет.

CutOff Mode: Soft-Cut. При плавном выключении мотора контроллер сбрасывает обороты постепенно.

CutOff Threshold: Low. Мотор будет выключен только при достижении минимального напряжения на аккумуляторе.

Start Mode: Normal. Выбираем первое значение из доступных. Мягкий и супер-мягкий старт не рекомендуется.

Timing: MEDIUM. Параметр, от которого зависит мощность и КПД двигателя. Может находиться в пределах от 0° до 30°. Физически это электрический угол опережения коммутации обмоток.

Практически программирование выполняется следующим образом:

1. Выключается квадрокоптер и отсоединяются три мотора от питания.

2. Необходимо рукоятку регулирования оборотов двигателя (газ) поставить на максимум и включить передатчик, потом квадрокоптер.

3. После этого мотор подключенного регулятора начнет пищать. Сначала два коротких писка, потом мелодия, говорящая о переходе в режим программирования. После этого начинаются сигналы-вопросы и сигналы-ответы.

- сигналы-вопросы – это варианты из точек (коротких сигналов) и тире (длинных): - - - . .

-- Далее выполняется непосредственное программирование.

- одна точка это тип тормоза регулятора. Здесь необходимо "войти" в режим выбора ответа - резким уменьшением газа до нуля. Регулятор предложит варианты ответа: точка = тормоз выкл, две точки - тормоз вкл. Необходимо выключить тормоз, поэтому как только будет ответ "точка", так сразу газ возвращаем на максимум. Регулятор подтверждает выбор короткой мелодией и начинает спрашивать дальше.
- две точки это тип аккумулятора. Входим в это меню сбрасыванием газа до нуля, потом ждем две точки (NiMh аккумулятор), и возвращаем газ на максимум.
- три точки - режим отсечения. Выбираем Soft-cut, ждем одну точку и поднимаем газ до максимума.
- четыре точки - порог отсечки по напряжению аккумулятора. Выбираем одну точку, что для NiMH аккумулятора соответствует 0% от напряжения при старте.
- тире - режим старта. Выбираем Normal, одна точка.
- тире точка - тайминг. Выбираем Medium, две точки.
- тире точка точка - это сброс настроек. Это необходимо пропустить.
- тире тире - это выход. Выполняется сброс газа до нуля. После этого прозвучит один сигнал, соответствующий концу программирования регулятора. На рисунке 5 в табличной форме представлены значения программируемой функции регулятора.

мелодия / функция	"бип-" 1 короткий сигнал	"бип-бип-" 2 короткие сигнала	"бип-бип-бип-" 3 короткие сигнала
тормоз	выкл	вкл	
тип батареи	Li-ion / Li-poly	NiMh / Nicd	
режим отсечки	Уменьшить мощность	отключение	
порог отсечки	низкий	средний	высокий
Режим старта	нормальный	плавный	очень плавный
тайминг	низкий	средний	высокий

Рис. 5. Значения программируемой функции



Рис. 6. Планирование миссии БПЛА по путевым точкам в ПО Mission Planner

Для планирования миссии полета БПЛА по путевым точкам используется программное обеспечение наземной станции Mission Planner. При правильной настройке приемника GPS во вкладке программы FLIGHT PLAN высвечивается карта местности с текущим положением коптера. Далее на карте задаются положения путевых точек с их параметрами (например, высотой полета, временем зависания над точкой, необходимостью выполнения каких-то действий над точкой и т.д.) и в памяти контроллера записывается маршрут. Пример простого маршрута миссии представлен на рисунке 6.

В работе не рассматривались вопросы настройки GPS модуля u-blox NEO-6M для работы с контроллером APM 2.6, прошивка PPM энкодера на микросхему Atmega32U2 с целью возможности использования многоканального PPM приемника и работы режима Failsafe, не представлена схема подключения отдельных компонентов в общую схему БПЛА. Однако все эти задачи были решены для рассмотренного БПЛА. Эти вопросы будут описаны в следующих материалах.

Выводы

1. Практически показана возможность построения БПЛА, который способен выполнять заданные полетные режимы [7, 8].

2. Следует отметить ненадежную работу регуляторов Readytosky ESC-30A китайского производителя, которые способны самопроизвольно сбрасывать настройки после программирования его через пульт управления БПЛА, а также являются очень ненадежными в случае запуска при температуре ниже +15 град. Поэтому при подключении батареи необходимо внимательно прослушивать мелодии ESC о его готовности и на основании этого делать вывод о возможности запуска БПЛА.

3. Показана практическая возможность использования более дешевых и надежных в эксплуатации высокотокковых Li-ion батарей SAMSUNG INR18650-25R, LG INR18650HG2 для полетных режимов Loiter, AltHold, Auto, не связанных с акробатическими трюками и спортивными режимами. Однако их использование требует перенастройки регуляторов моторов.

Литература

1. Ardupilot [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ardupilot.org/>
2. Калибровка регуляторов скорости моторов ESC [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ardupilot-mega.ru/wiki/arducopter/esc-motor.html>
3. Полётный контроллер [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Полётный_контроллер
4. Программирование регулятора с пульта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://forum.rcdesign.ru/f63/thread284870.html>
5. Planning a Mission with Waypoints and Events [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ardupilot.org/copter/docs/common-planning-a-mission-with-waypoints-and-events.html>
6. Autopilot Hardware Options [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ardupilot.org/copter/docs/common-autopilots.html#common-autopilots>
7. Планирование миссии с путевыми точками для F450 квадрокоптера с APM 2.6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://youtu.be/3qBPmul1Qh4>
8. F450 квадрокоптер на батарейках SAMSUNG INR 18650-25R в режиме Loiter [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://youtu.be/9fyoLjjh_mI

Рецензія/Peer review : 10.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 539.143.44

А.П. САМІЛА, Г.І. ЛАСТІВКА, В.О. ХАНДОЖКО

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

РОЗНЕСЕННЯ ЧАСТОТ ДЕТЕКТУВАННЯ ТА ЗБУДЖЕННЯ В ІМПУЛЬСНОМУ СПЕКТРОМЕТРІ ЯДЕРНОГО КВАДРУПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ

Запропоновано рознесення частоти синхронного детектора і частоти заповнення збуджуючого імпульсу шляхом застосування в Фур'є-спектрометрі ЯКР роздільних прямих цифрових синтезаторів частоти. Це забезпечило коректне відтворення форми спектрів ЯКР, а також унеможливило вплив на приймальний тракт спектрометра паразитної завади з частотою зондуючого імпульсу. Використання "прив'язки" початкової фази зондуючого імпульсу до опорної частоти синхронного детектора забезпечило рівномірне збудження спінової індукції при реєстрації резонансних спектрів з шириною смуги до 0,5 МГц в діапазоні частот ЯКР 10 – 50 МГц.

Ключові слова: ядерний квадрупольний резонанс, синхронне детектування, прямий цифровий синтезатор частоти.

A.P. SAMILA, G.I. LASTIVKA, V.O. KHANDOZHKO

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

TRANSFERENCE OF FREQUENCIES OF DETECTION AND EXCITATION IN PULSED SPECTROMETER OF NUCLEAR QUADRUPOLE RESONANCE

The diversity of the frequencies synchronous detector and fill the exciting pulse by applying in a Fourier spectrometer of NQR separate direct digital frequency synthesizers is suggested. This provided the correct form of reproduction of NQR spectrums, as well as made it impossible to influence on the receiving channel of spectrometer, parasitic interference with frequency of the probe pulse. Using the "linking" of the initial phase of the probe pulse to the reference frequency of synchronous detector provide uniformly excitation spin induction during registering of resonance spectra with a bandwidth unto 0,5 MHz in the range of NQR frequencies 10 – 50 MHz.

Keywords: nuclear quadrupole resonance, synchronous detection, direct digital synthesizer.

Вступ

У Фур'є-спектроскопії ядерного квадрупольного та ядерного магнітного резонансів (ЯКР – ЯМР) дію короткочасного δ -подібного зондуючого імпульсу на спінову систему ядер розглядають як вплив ширококутового збуджувача із центральною частотою F_{lmm} . В даному випадку всі резонансні частоти збуджуються в околі частоти $F_{lmm} = \pm 1/\tau_{lmm}$, де τ_{lmm} – тривалість зондуючого імпульсу. Оскільки за своєю формою такий імпульс є радіоімпульсом, а його огинаюча – прямокутним відеоімпульсом, то його тільки в певному наближенні можна вважати ширококутовим і застосовувати для збудження резонансу у відносно широкій смузі частот. Відомо, що для радіоімпульсів ефективно і незалежно від центральної частоти працює умова – чим меншою є тривалість імпульсу, тим ширшим є його спектр [1].

Зазвичай для ЯМР високої роздільної здатності, наприклад у рідинах, область частот $F_{lmm} \pm \Delta f_m$ резонансного спектру складає не більше десятків герц, а ширина окремих ліній в спектрі може скласти доли герца. При імпульсному впливі для детектування сигналу спаду спінової індукції можна використати синхронний детектор, який працює на бічній частоті $\pm \Delta f_m$. Таким чином, за рахунок малої ширини ліній збуджуваного спектру та додаткової модуляції стаціонарного магнітного поля можна отримати повний спектр ЯМР при опорній частоті синхронного детектора $F_{dem} = \pm \Delta f_m$. Зокрема, значення F_{dem} , унаслідок малого діапазону збуджуваних частот, може складати декілька кГц, а тому паразитне проникнення зондуючого імпульсу в приймальний тракт ЯМР спектрометра легко усувається. Такий метод часто використовується у сучасних спектрометрах ЯМР високої роздільної здатності при спостереженні складних мультиплетних спектрів [2].

Внаслідок відсутності зовнішнього магнітного поля в ЯКР немає можливості використовувати додаткову модуляцію для перенесення опорної частоти синхронного детектора в найбільш віддалену від F_{lmm} частотну область. Крім того, метод ЯКР використовується для дослідження твердих тіл із шириною окремих ліній резонансного спектру, як правило, 1 – 10 кГц й більше [3]. Саме тому метод ЯКР є найбільш придатним для дослідження актуальних напівпровідникових сполук GaSe та InSe, в яких при ширині окремої резонансної лінії 1,5 – 2 кГц, діапазони частот резонансних спектрів складають ~ 70 кГц і 250 – 350 кГц для ядер ^{69}Ga та ^{115}In відповідно.

Метою даної роботи є вирішення задач нерівномірного збудження спінової індукції при дослідженні ширококутових резонансних спектрів та послаблення проникнення паразитного сигналу з частотою зондуючого імпульсу у приймальний тракт спектрометра ЯКР.

Імпульсний експеримент та спотверення форми спектрів ЯКР

Діапазон частот заповнення зондуючого імпульсу ΔF_{lmm} при збудженні резонансу в ядрах напівпровідникових сполук GaSe та InSe складає 10 – 40 МГц [4, 5].

У випадку реалізації одночастотного методу спостереження ЯКР частоти заповнення зондуючого імпульсу і опорної напруги синхронного детектора задаються одним генератором, при цьому $F_{lmm} = F_{dem}$ [6]. Використання одночастотного методу ЯКР у такому варіанті побудови спектрометра приводить до затруднень у розділенні спектрів резонансних ліній й накладеного на них збуджуючого імпульсу. Останнє

обумовлено широким діапазоном частот резонансного спектру та необхідністю утримувати значення частоти зонduючого імпульсу $F_{i\text{мн}}$ в межах центральної області спектру ЯКР для рівномірного збудження всіх резонансних компонент у смугі $F_{\text{сп.мін}} - F_{\text{сп.макс}}$, де $F_{\text{сп.мін}}$ і $F_{\text{сп.макс}}$ є нижня й верхня граничні частоти досліджуваного спектру. Для того, щоб перенесений у низькочастотну область спектру займав одну бокову смугу сигналу (зазвичай верхню) має виконуватися умова: $F_{\text{дет}} \leq F_{\text{сп.мін}}$. При цьому значення центральної частоти спектру зонduючого імпульсу $F_{i\text{мн}}$ знаходиться нижче центральної частоти резонансного спектру $F_{\text{сн}}$ (як мінімум на інтервалі $F_{\text{сп.мін}} - F_{\text{сн}}/2$), унаслідок чого збудження сигналу спаду спінової індукції відбувається нерівномірно.

На рис. 1 наданий фрагмент спектру ЯКР ^{115}In в InSe на спіновому переході $5/2 \leftrightarrow 7/2$ із нерівномірним збудженням резонансу (центральна частота спектру сигналу складає $F_{\text{сн}} = 30,875$ МГц, центральна частота спектру зонduючого імпульсу $F_{i\text{мн}} = 30,7$ МГц, тривалість зонduючого імпульсу $\tau_{i\text{мн}} = 4$ мкс, імпульсна потужність $P_i = 100$ Вт).

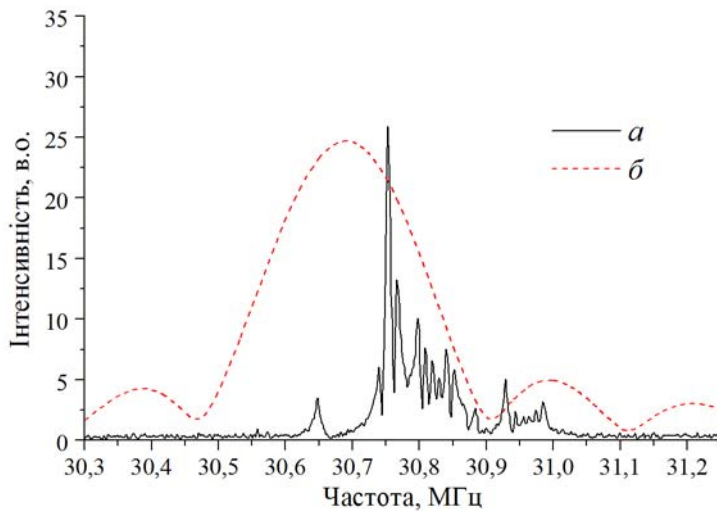


Рис. 1. Нерівномірне збудження ЯКР: *a* – спектр ЯКР ^{115}In в InSe на спіновому переході $5/2 \leftrightarrow 7/2$, *b* – огибаюча спектру зонduючого імпульсу

Для рівномірного збудження ЯКР необхідно, щоб значення $F_{i\text{мн}}$ співпадало з центральною частотою резонансного спектру $F_{\text{сн}}$, чи знаходилося в її близькому околі (рис. 2).

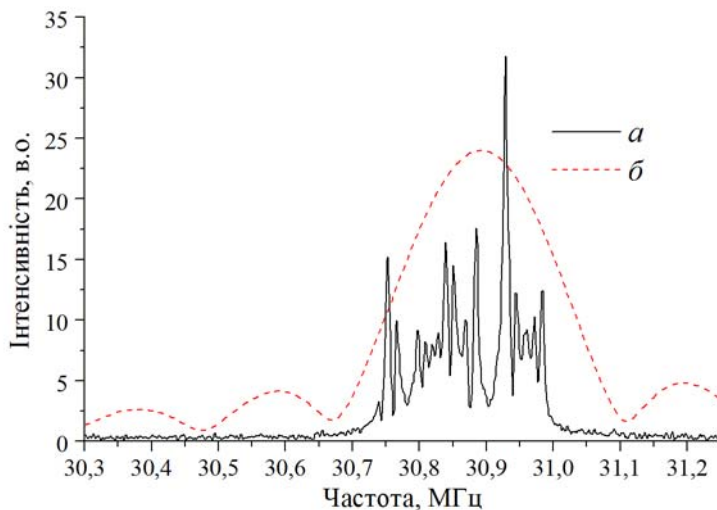


Рис. 2. Рівномірне збудження ЯКР: *a* – спектр ЯКР ^{115}In в InSe на спіновому переході $5/2 \leftrightarrow 7/2$, *b* – огибаюча спектру зонduючого імпульсу

Із співставлення спектрів ЯКР ^{115}In в InSe приведених на рис. 2 і рис. 3 стає очевидним, що з метою коректного відтворення їх форми а також для унеможливлення впаду паразитної завади від зонduючого імпульсу на приймальний тракт спектрометра необхідно рознести між собою частоти детектора $F_{\text{дет}}$ і збуджуючого імпульсу $F_{i\text{мн}}$ при збереженні синхронізації фази запуску останнього.

Результати та їх обговорення

Для вирішення задачі нерівномірного збудження широкосмугових спектрів ЯКР в напівпровідникових сполуках GaSe та InSe запропоновано використовувати два прямих цифрових

синтезатори частоти (ПЦСЧ) [7], які тактуються від кварцового генератора частотою $F_{\text{макс}} = 180$ МГц. Спрощена структурна схема імпульсного спектрометра ЯКР з рознесенням частоти синхронного детектора і частоти заповнення збуджуючого імпульсу наведена на рис. 3. Перший синтезатор частоти (ПЦСЧ1) працює неперервно і формує опорну частоту $F_{\text{дет}}$ для синхронного детектора, який використовується при перенесенні спектру сигналу спаду спінової індукції у низькочастотний діапазон (0 – 1 МГц). Другий синтезатор ПЦСЧ2 працює в старт-стопному режимі тільки під час збудження сигналу ядерної індукції. Таке рішення запобігає проникненню сигналу зондуючого імпульсу з частотою $F_{\text{имп}}$ у приймальний тракт спектрометра ЯКР, що спостерігається при цифровому накопиченні резонансних спектрів.

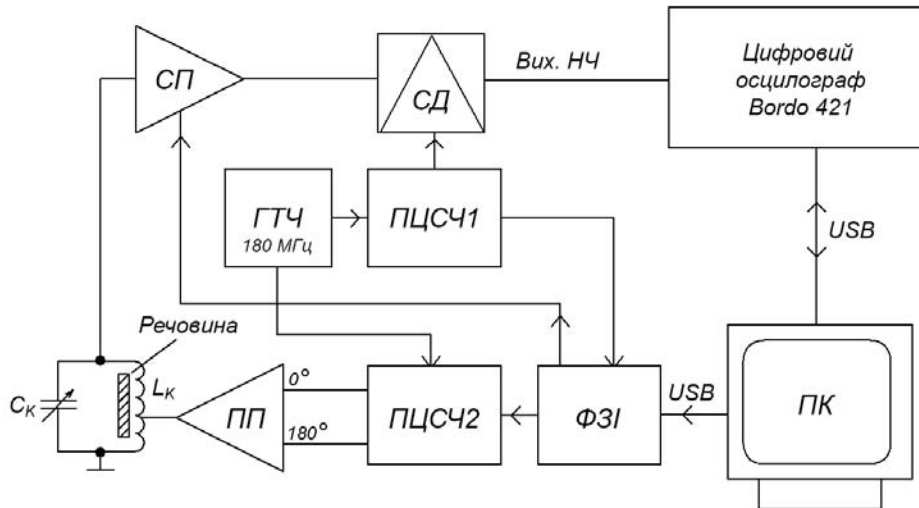


Рис. 3. Структурна схема спектрометра ЯКР на рознесених частотах: СП – стробований підсилювач; СД – синхронний детектор; ГТЧ – генератор тактової частоти; ПЦСЧ1, ПЦСЧ2 – синтезатори частоти; ПП – підсилювач потужності; ФЗІ – формувач запускаючого імпульсу; ПК – персональний комп’ютер; C_k, L_k – резонансний контур

Незмінність фази зондуючого імпульсу для кожного циклу вимірювання, що є обов’язковою умовою для цифрового накопичення резонансних спектрів, забезпечується синхронізацією запуску ПЦСЧ2 за переднім фронтом сигналу опорної частоти синхронного детектора (з ПЦСЧ1). Використання ПЦСЧ дозволило створити не тільки коливання із наперед строго заданими частотами і початковими фазами, але й гнучку систему формування когерентних імпульсів збудження сигналів ЯКР [8]. Керування синтезаторами частоти та формувачем запускаючого імпульсу реалізовано на основі мікропроцесорної апаратно-програмної платформи Arduino Mega 2560 через USB інтерфейс. Стробований підсилювач необхідний для усунення перевантаження приймального тракту під час дії зондуючого імпульсу і придушення вільних коливань у LC -контурі спектрометра після закінчення дії імпульсу. Для оброблення сигналу відгуку ядерної спінової системи з наступним виділенням спектру ЯКР застосовано цифровий USB-осцилограф «BORDO-421», програмне забезпечення якого забезпечує функції швидкого Фур’є-перетворення та багатократного цифрового накопичення. Інтервал між вимірами задається частотою стартових імпульсів, які поступають з виходу формувача запускаючого імпульсу.

Спектр ЯКР ^{115}In в монокристалічному InSe для спінового переходу $5/2 \leftrightarrow 7/2$, отриманий при кімнатній температурі на запропонованому спектрометрі з перенесенням опорної частоти синхронного детектора, представлений у вигляді верхньої бічної смуги для $F_{\text{дет}} = 30,6$ МГц на рис. 4. Досліджувана речовина розміщувалась у робочій зоні котушки LC -контур.

Як видно із спектру, представленого на рис. 4, рознесення частоти синхронного детектора і частоти заповнення збуджуючого імпульсу шляхом застосування в Фур’є-спектрометрі ЯКР розділених прямих цифрових синтезаторів частоти забезпечило вирішення проблеми втрати якості при дослідженні широкосмугових резонансних спектрів у шаруватих напівпровідникових сполуках, що є надзвичайно важливими за недостатньої імпульсної потужності підсилювача потужності й наявності мультиплетних ліній у спектрах ЯКР.

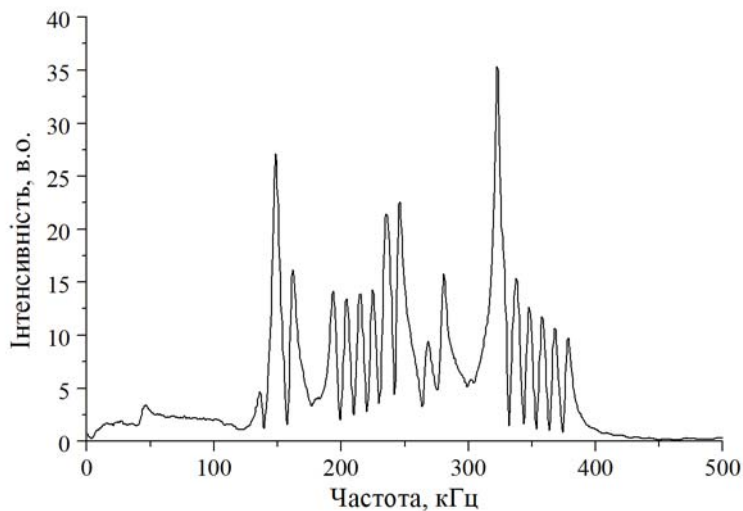


Рис. 4. Спектр ЯКР ^{115}In в InSe отриманий на спектрометрі з перенесенням опорної частоти синхронного детектора

Висновки

В імпульсному спектрометрі ЯКР з Фур'є-перетворенням сигналів спаду спінової індукції запропоновано рознесення робочих частот синхронного детектора та зонduючого імпульсу шляхом застосування роздільних прямих цифрових синтезаторів частот. Використання "прив'язки" початкової фази зонduючого імпульсу до опорної частоти синхронного детектора дозволило розв'язати дві важливі задачі під час реєстрації широкосмугових (до 0,5 МГц) резонансних спектрів в діапазоні частот ЯКР 10 – 50 МГц:

- забезпечення рівномірного збудження спінової індукції;
- послаблення проникнення паразитного сигналу з частотою зонduючого імпульсу в приймальний тракт спектрометра.

Література

1. Мандзій Б. А. Основи теорії сигналів : підручник / Б. А. Мандзій, Р. І. Желяк. – Львів : Видавничий дім «Ініціатива», 2008. – 240 с.
2. Кларидж Тимоти Д. В. Современные методики ЯМР высокого разрешения в химии : учебник / Кларидж Тимоти Д. В. ; [перевод с англ. Турова А.В. и Пенского Д.А.] / Тимоти Д. В. Кларидж. – Киев, 2006. – 350 с.
3. Гречишкин В. С. Ядерные квадрупольные взаимодействия в твердых телах / В. С. Гречишкин. – М. : Наука, 1973. – 263 с.
4. Ластівка Г. І. Дослідження мультиплетності спектрів ядерного квадрупольного резонансу ізоотопів $^{113,115}\text{In}$ в кристалах InSe вирощених з розплаву / Г. І. Ластівка, О. Г. Хандожко, В. О. Хандожко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Том 6, № 12(66). – С. 54–57.
5. Samila A. P. The nuclear quadrupole resonance and sensory properties of GaSe and InSe layered semiconductors / A. P. Samila, V. O. Khandozhko, Z. D. Kovalyuk // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2015. – Vol. 7, No 3. – P. 03024-1-5.
6. Хандожко А. Г. Импульсный радиоспектрометр ЯКР с эффективным подавлением переходного процесса / А. Г. Хандожко, В. А. Хандожко, А. П. Самила // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Том 6, № 12(66). – С. 21–25.
7. Самила А. П. Разработка цифрового синтезатора частот на ПЛИС для импульсного Фурье-радиоспектрометра ЯКР / А. П. Самила // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 12(19). – С. 124–127.
8. Samila A. Implementation of pulsed radiospectroscopy methods of NQR based on FPGA / Andriy Samila, Yuriy Bobalo, Zenon Hotra, Oleksandra Hotra, Leonid Politans'kyu // Metrol. Meas. Syst. – 2015. – Vol. 22, Issue 3. – P. 363–370.

Рецензія/Peer review : 19.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Любчик В.Р.

В.Р. ЛЮБЧИК, В.О. ТРОХИМЧУК, А.С. ПЛОЩИК, В.П. ЄВТУШОК
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ

В даній статті проводиться аналіз існуючих методів дослідження параметрів радіолокаційних цілей, зокрема звернено увагу на фазовий метод. Після проведення аналізу були визначені переваги та недоліки основних методів, за допомогою яких проводиться дослідження різних радіолокаційних параметрів, зокрема дальності, радіальної швидкості та Допплерівського зсуву. Також в даній статті наведено два приклади доцільності подальшої розробки та застосування багаточастотного фазового методу вимірювання дальності до декількох об'єктів.

Ключові слова: фазові методи, радіолокація, електромагнітна хвиля.

V.R. LIUBCHYK, V.A. TROKHUMCHUK, A.S. POLISHCHUK, V.P. YEVTUSHOK
Khmelnytsky National University

ANALYSIS OF THE METHODS OF RESEARCH OF RADAR PARAMETERS OF OBJECTS

This article analyzes the existing research methods parameters of radar targets in particular had drawn his attention to the phase method. After the analysis was determining advantages and disadvantages of the main methods by which radar is to study various options, including distance, radial velocity and the Doppler shift. Also in this article are two examples of feasibility of further development and use of Multi-phase method of measuring the distance to several objects. Further research was chosen multifrequency phase method can also be used in systems with active response, such as geodesic measurements. To improve the accuracy and resolution of the radar system should be used more than two frequencies. Another important requirement for such a system is that between frequencies should be a close relationship, they must be received by dividing or multiplying the frequency.

Keywords: phase techniques, radar, electromagnetic wave.

Вступ

Радіолокацією називається виявлення об'єктів (цілей) і визначення їх просторових координат та параметрів руху за допомогою радіотехнічних засобів та методів [2].

В наш час радіолокація широко застосовується для керування об'єктами та для навігації, тобто для орієнтування літаків, морських та космічних кораблів.

Сукупність інформації про цілі або об'єкти, яка отримана засобами та методами радіолокації, називається радіолокаційною інформацією. Відомі наступні методи отримання радіолокаційної інформації: імпульсний, частотний та фазовий метод [2, 5].

Радіолокаційні цілі або об'єкти характеризуються наступними основними параметрами: дальністю, радіальною швидкістю, азимутом та Допплерівським зсувом. І якщо вимірювання азимуту залежить від ширини діаграми спрямованості антени, то вимірювання дальності залежить від методів, які застосовуються в тій чи іншій радіолокаційній системі [1, 2].

Основна частина

Імпульсний метод дослідження радіолокаційних параметрів є найбільш простим для реалізації. Даний метод полягає у вимірюванні часу затримки зондуючого сигналу. Точність імпульсного методу залежить від співвідношення сигнал/шум. Для виконання даної вимоги потрібно збільшувати амплітуду зондуючого імпульсу, тобто застосовувати надширокопосмугові сигнали, що не завжди є можливим [4].

Частотний метод дальнометрії, який базується на використанні сигналів з частотною модуляцією, дозволяє вимірювати дальність до багатьох об'єктів. [4] Точність даного методу залежить від девіації частоти (найбільшого відхилення миттєвої частоти модульованого радіосигналу при частотній модуляції від значення його носійної частоти). Отже, частотний метод дозволяє вимірювати дальність до багатьох об'єктів, але при цьому для підвищення точності вимірювання необхідно значно розширювати частотний діапазон сигналу, тобто збільшувати девіацію частоти.

Серед усіх методів дальнометрії найбільш точним є **фазовий** метод вимірювання дальності.

1. Припустимо, що три фазових радіолокаційних системи випромінюють три синусоїдальних коливання з частотами f_1 , f_2 , f_3 . Нехай $f_1 = 1,5 \text{ кГц}$, $f_2 = 10 f_1 = 15 \text{ кГц}$, $f_3 = 100 f_1 = 150 \text{ кГц}$, ($\lambda_1 = 200 \text{ м}$, $\lambda_2 = 20 \text{ м}$, $\lambda_3 = 2 \text{ м}$). Тоді згідно з формулою:

$$R_{\max} \leq \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

отже область однозначних вимірювань для кожного з коливань буде мати наступний вигляд: $R_{1 \max} = 100 \text{ м}$, $R_{2 \max} = 10 \text{ м}$, $R_{3 \max} = 1 \text{ м}$.

Нехай потрібно діапазон однозначних вимірювань $R_{\max} = 100 \text{ м}$. Тоді перша радіолокаційна станція вимірює його однозначно, хоча і не точно. Якщо інструментальна похибка всіх трьох фазометрів складає 1° , то на першому фазометрі похибка складатиме:

$$\Delta R_1 = \frac{100}{360} \approx 0,3 \text{ км}, \quad (2)$$

тоді похибка на другому фазометрі буде ще меншою:

$$\Delta R_2 = \frac{\Delta R_1}{10} \approx 0,03 \text{ км}. \quad (3)$$

Проте другий фазометр вимірює дальність неоднозначно: повній дальності в 100 км відповідає один оберт стрілки першого фазометра і десять обертів другого. Аналогічно точність третього фазометра, повній дальності відповідає сто обертів стрілки третього фазометра.

Ми отримали трьохканальний вимірювач, інструментальна точність якого визначається найточнішою шкалою, а діапазон вимірювань – самою грубою шкалою.

Здається, що в середньому фазометрі немає необхідності, так як третій фазометр забезпечує високу точність, а перший – вирішує неоднозначності. Але на практиці це не завжди допустимо: для того, щоб неоднозначності вирішувалися надійно, необхідно, щоб похибка грубої шкали була меншою місткості точної. Важливою вимогою до всіх трьох частот є їх взаємозв'язок: всі три частоти повинні бути отримані не від незалежних джерел, а від одного – за допомогою ділення чи множення частоти.

Із вище сказаного виходить, що кожний новий канал підвищує точність системи на порядок. Метод вимірювання фази та дальності полягає у вимірюванні запізнення відбитого сигналу відносно зондуючого. Це запізнення визначається швидкістю поширення радіохвиль C . Точність, з якою ми знаємо швидкість поширення радіохвиль, обмежить методичну точність вимірювань.

Швидкість радіохвиль в повітрі відома з точністю до 5-го знаку (подальше збільшення точності потребує знання метеоумов по всьому шляху радіопромєня). Якщо трьох частотний метод в даному прикладі давав похибку 3 м на 100 км, тобто відносна похибка рівна $3 \cdot 10^{-5}$, то додання 4-го каналу (з інструментальною похибкою 0,3 м на 1° фази) має інструментальну похибку $3 \cdot 10^{-6}$, що вже менше методичної похибки.

2. Нехай зондуєчий сигнал складається з двох неперервних синусоїдальних коливань з близькими частотами f_0' та f_0'' :

$$u_0' = U_0' \cdot \cos 2\pi f_0' t; \quad (4)$$

$$u_0'' = U_0'' \cdot \cos 2\pi f_0'' t. \quad (5)$$

Після відбиття від цілі за умови лінійної зміни відстані утворюються коливання:

$$u_c' = U_c' \cos \left[2\pi (f_0' \pm F_d') t - \frac{4\pi f_0' D_0}{c} - \varphi_{\psi}' \right]; \quad (6)$$

$$u_c'' = U_c'' \cos \left[2\pi (f_0'' \pm F_d'') t - \frac{4\pi f_0'' D_0}{c} - \varphi_{\psi}'' \right]. \quad (7)$$

Так як частоти f_0' та f_0'' мають близькі значення, то можна прийняти, що $\varphi_{\psi}' \approx \varphi_{\psi}''$.

$$F_{d \max} < \frac{\Delta f_0}{2}, \quad (8)$$

Де $\Delta f_0 = f_0'' - f_0'$ – різниця частот, з яких складається зондуєчий сигнал. В результаті зміщення прямих і відбитих сигналів на виході змішувачів утворюються коливання, фази яких залишаються різницями фаз цих сигналів. [2] Відповідно:

$$\varphi' = \frac{4\pi f_0' u_p}{c} t + \frac{4\pi f_0' D_0}{c} + \varphi_{\psi}; \quad (9)$$

$$\varphi'' = \frac{4\pi f_0'' u_p}{c} t + \frac{4\pi f_0'' D_0}{c} + \varphi_{\psi}. \quad (10)$$

Колівання з фазами $\Delta \varphi'$ та $\Delta \varphi''$ подаються на фазометр, який виробляє різницю фаз:

$$\Delta \varphi = \varphi'' - \varphi' = \frac{4\pi \Delta f_0}{c} D_0 + \frac{4\pi \Delta f_0}{c} u_p t. \quad (11)$$

Так як дальність $D = D_0 + u_p t$, то:

$$\Delta \varphi = \frac{4\pi \Delta f_0}{c} D. \quad (12)$$

Якщо $F_{d \max} > \Delta F$, де ΔF – ширина спектральної лінії, то для забезпечення оптимального прийому та селекції за швидкістю в приймачі вводяться гребінчасті фільтри доплерівських частот. Для селекції за швидкістю сигнали кожних двох відповідних гребінчастих фільтрів порівнюються за фазою, наприклад, за

допомогою фазових детекторів. [2]

Формула (2.9) співпадає з формулою для одночастотного фазового методу при заміні f_0 на Δf_0 . Максимально однозначно змінювана дальність може бути знайдена при $\Delta\varphi = \pi$ і буде мати наступний вигляд:

$$D_{\text{одн}} = \frac{c}{2\Delta f_0}, \quad (13)$$

а похибка вимірювання дальності:

$$\Delta D = \frac{c}{2\pi\Delta f_0} \Delta\varphi_{\text{вим.}} \quad (14)$$

Таким чином, має місце протиріччя: зі збільшенням різниці Δf_0 зменшується похибка вимірювання, але звужується діапазон однозначності. Щоб подолати це протиріччя, потрібно збільшити кількість частот в зондуєму сигналі [2, 3].

Істотним недоліком даної двочастотної системи являється те, що вона не володіє розрізнявальною здатністю за дальністю. Для забезпечення розрізнення за дальністю необхідно збільшити кількість частот в спектрі зондуємого сигналу, тобто наблизитись до широкосмугових сигналів, наприклад імпульсних, які мають здатність вимірювати дальність до багатьох об'єктів.

Для виявлення та розділення декількох об'єктів потрібно застосовувати багаточастотний фазовий метод [3], тому дане дослідження слід продовжити в напрямку розробки багаточастотного фазового методу.

Висновок

Для подальшого дослідження було обрано багаточастотний фазовий метод, який може також використовуватися в системах з активною відповіддю, наприклад, під час геодезичних вимірювань. Для підвищення точності та роздільної здатності даної радіолокаційної системи доцільно використовувати більше двох частот. Також важливою вимогою до такої системи є те, що між частотами повинен бути тісний зв'язок, вони повинні бути отримані шляхом ділення або множення частоти.

Література

1. Радиолокационные и радионавигационные системы : [учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов] / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский. – М. : Радио и связь, 1994. – 296 с.
2. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации : учебник для вузов / Финкельштейн М.И. – [2-е изд., доп. и перераб.]. – М. : Радио и связь, 1983. – 536 с.
3. Любчик В.Р. Розробка імітаційної математичної моделі багаточастотного фазового методу радіолокаційної дальнометрії та вимірювання радіальної швидкості / В.Р. Любчик, М.О. Лантвойт // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 6. – С. 157–160.
4. Теоретические основы радиолокации : учебн. пособие для вузов / [А.А. Коростылев, Н.Ф. Клюев, Ю.А. Мельник и др.] ; под ред. В.Е. Дулевича. – М. : Сов. радио, 1978. – 608 с.
5. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства / Белоцерковский Г.Б. – М. : Сов. радио, 1975.

Рецензія/Peer review : 8.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Троцишин І.В.

ВИКОРИСТАННЯ CLOUD-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛІКОВОГО ПРОЦЕСУ

Питання організації процесу обліку є не менш важливими, ніж теоретико-методологічні аспекти бухгалтерського обліку. В зв'язку з цим постійно вдосконалюються існуючі методи ведення бухгалтерського обліку, а також з'являються нові. Стаття присвячена розгляду одного з перспективних напрямків розвитку в цій сфері – системи бухгалтерського обліку на основі cloud-технологій, яка представляє собою онлайн-сервіс, що дозволяє виконувати різні завдання бухгалтерського обліку. В статті показаний короткий аналіз автоматизованої форми бухгалтерського обліку, описані її основні переваги. Також представлений короткий опис технологій для практичної реалізації системи бухгалтерського обліку. В результаті запропоновано онлайн-сервіс для виконання традиційних бухгалтерських операцій.

Ключові слова: бухгалтерський облік, cloud-технології, онлайн-сервіс, веб-сервер, Ruby on Rails.

S.V. NAUMENKO, M.V. LYUTA

Kiev National University of Technology and Design

I.O. ROZLOMIY

Cherkassy Bogdan Khmelnytsky National University

USING OF CLOUD-TECHNOLOGIES TO AUTOMATE THE ACCOUNTING PROCESS

The question about accounting process is no less important than the theoretical and methodological aspects of accounting. In regard, this constantly improving existing methods of accounting and are the new. Article considers one of the promising areas of development in this area – accounting system based on cloud-technology, which is an online service that allows you to perform various tasks of accounting. The article shows a brief analysis of the automated form of accounting described its and main advantages. Also briefly described technologies for practical implementation of the accounting system. As a result was proposed online service to perform traditional accounting operations.

Keywords: accounting, cloud-technology, online services, Web server, Ruby on Rails.

Вступ. З давніх часів бухгалтерія вважалася головним механізмом підприємства. З бігом часу форми ведення і способи ведення бухгалтерського обліку постійно змінювались і еволюціонували. Трудомісткий процес традиційного, паперового обліку був автоматизований, широкого розповсюдження отримали комп'ютерні програми, які здавалося б значно спростили бухгалтерську роботу [1]. Проте, розвиток глобальної мережі дозволив говорити про новий етап розвитку техніки обліку, в якому програма для ведення бухгалтерського обліку – це сервіс в інтернеті. Основою роботи подібних програм є, так звані, cloud-технології обчислення, звідси і новий напрямок онлайн-бухгалтерія.

Постановка проблеми. Вищеописані переваги використання системи онлайн-бухгалтерії доводять необхідність подальшого розвитку даного напрямку. В зв'язку з цим, розробка веб-додатків, які б забезпечували виконання традиційних операцій бухгалтерського обліку є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як показують дослідження [1–6], використання «хмарних» технологій в процесі організації бухгалтерського обліку є досить актуальним і така тенденція збережеться в найближчому майбутньому.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Протягом останніх років єдиним способом автоматизації бухгалтерського обліку було придбання необхідного програмного забезпечення. Проте, в такого способу організації бухгалтерського обліку є вагомий недолік, такий як висока вартість, особливо на етапі впровадження. Альтернативою такому варіанту є автоматизований бухгалтерський облік з використанням cloud-технологій. Даний сервіс отримав назву онлайн-бухгалтерія.

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження основних принципів організації та функціонування системи бухгалтерського обліку на основі cloud-технологій. Для досягнення поставленої мети проведено аналіз основних причин переходу до такого типу організації облікового процесу. Запропоновано аналог власного онлайн-сервісу для виконання традиційних бухгалтерських операцій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Бухгалтерський облік, як система, представляє собою сукупність елементів методу обліку, об'єднаних і пов'язаних між собою. Така система відображає інформацію про стан і рух об'єктів. Стрімкий розвиток автоматизованих інформаційних технологій став причиною змін технології бухгалтерського обліку. Інформаційні технології розвиваються досить швидко. В наш час сучасному бухгалтеру пропонують свої послуги cloud-технології. Cloud-технології – збереження і обробка інформації на серверах в мережі. Дані зберігаються і оброблюються на так званій хмарі, яка представляє собою один великий віртуальний сервер. Фізично такі сервери можуть бути віддаленими один від одного. Практика успішного функціонування мережевих бухгалтерій отримала широкого розповсюдження в зарубіжних країнах. Передовим і найбільш технологічним ринком в цій сфері є ринок США та деяких країн Євросоюзу. Одним з розробників, які вже реалізували можливість працювати з

бухгалтерією через інтернет є відома фірма «ІС». Ринок пропозицій використання хмарних технологій в бухгалтерії доповнюють фірми: «Інфін», «Інфо-Підприємство», «БухСофт» [2–4]. Користувачеві не потрібно програму купувати, встановлювати на своєму комп'ютері, оновлювати та забезпечувати надійне збереження і захист даних. Проте, залишається можливість для користувача управління налаштуваннями для самостійного її доопрацювання.

Онлайн-бухгалтерія – організація системи бухгалтерського обліку з використанням сучасних інформаційних чи cloud-технологій [5]. Це порівняно молодий сервіс, який виник в 2010-2011 роках, але який вже встиг ґрунтовно закріпити свої позиції на ринку програмних продуктів і завоювати прихильність користувачів. Суть даної технології організації облікового процесу полягає в тому, що користувачеві надається можливість доступу до програми в мережі, за допомогою якої можна з мінімальними часовими затратами забезпечити реалізацію всіх традиційних бухгалтерських процесів. Доступ до онлайн-бухгалтерії здійснюється на основі передбачених домовленостей, зазвичай за визначену оплату.

Функціонал онлайн-бухгалтерії досить широкий, включаючи наступні можливості. Система дозволяє формувати первинну облікову документацію, виконувати розрахунок податків і внесків, оформлювати в електронному вигляді бухгалтерську, податкову та статистичну звітність. Тобто така бухгалтерія використовується для тих самих завдань, що й стандартне програмне забезпечення встановлене на комп'ютері. Відмінною особливістю і новизною такого способу організації облікового процесу є те, що користувачеві для роботи необхідний лише вихід до мережі інтернет. Це обумовлено тим, що вся необхідна інформація зберігається на віддаленому сервері, cloud-технології. Такий спосіб розміщення даних на сьогоднішній день – нове досягнення в бухгалтерській практиці [6, 7]. Для західних країн онлайн-бухгалтерія – масове явище, яке стало звичним способом, для більшості організаційних структур, способом організації облікового процесу. Електронні сервіси ведення бухгалтерського обліку на даний час вже мають достатньо великий об'єм опцій, що дозволяють виконувати основні функції. При цьому, слід зауважити, що можливості онлайн-систем не однакові і залежать, як правило, від фірми-провайдера. Ці технології дають змогу користувачам оцінити всі переваги онлайн-бухгалтерії, а саме:

- 1) можливість цілодобового доступу до даних, з будь-якого пристрою, що має можливість виходу до глобальної мережі;
- 2) відсутність необхідності закупки обладнання: всі основні обчислювальні процеси відбуваються на сервері в мережі;
- 3) можливість ведення бухгалтерії відразу декількох підприємств на одній «хмарі»;
- 4) всі оновлення відбуваються в автоматичному режимі без участі і затрат користувача;
- 5) відсутність необхідності тривалого навчання користувачів;
- 6) програма самостійно відстежує дати подачі звітностей у відповідні інстанції;
- 7) скорочення витрат організації (онлайн-бухгалтерія – альтернатива штатного бухгалтера).

Таким чином, cloud-технології представляють собою досить перспективний напрям в області організації процесу ведення бухгалтерського обліку. Для організацій трансформація облікового процесу в «хмарне» середовище дає можливість організувати ведення обліку на визначених ділянках і головне – відразу на декількох підприємствах. До того ж велика вірогідність того, що в недалекому майбутньому комп'ютерне програмне забезпечення повністю витіснить системи на основі cloud-технологій.

Як вже зазначалося, розробка систем онлайн-бухгалтерії безумовно є перспективним і прогресуючим напрямком. Аналогом таких систем є Active Books – веб-додаток призначений для бухгалтерської роботи. Стандартний набір операцій запропонованої системи включає:

- 1) реєстрація нового підприємства і введення бухгалтерії декількох підприємств;
- 2) створення податкової звітності;
- 3) ведення бухгалтерської документації: акти, накладні і т.п.;
- 4) система дозволяє налаштувати довідники, змінити поточні довідники, які автоматично оновлюються із сайту міністерства фінансів;
- 5) ведення звітності працівників і нарахування заробітної платні.

Система онлайн-бухгалтерії Active Books виглядає наступним чином (рис. 1).

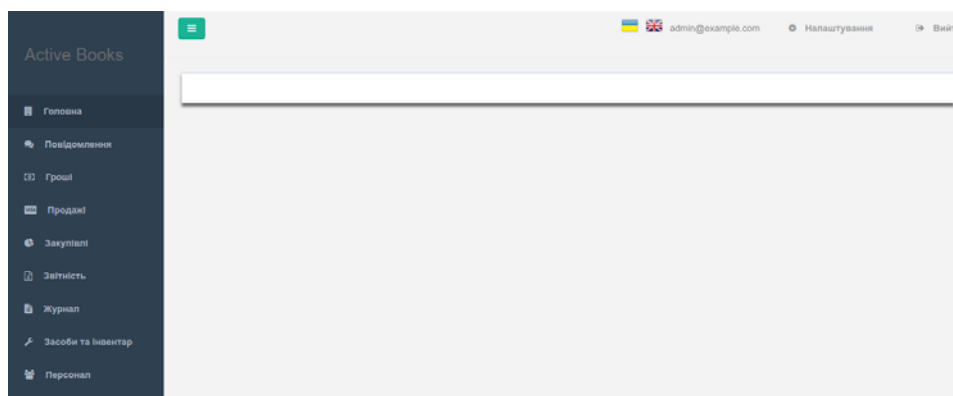


Рис. 1. Головна сторінка системи

Як і у більшості веб-додатків, спочатку відбувається аутентифікація і авторизація користувача, шляхом введення присвоєних ідентифікаторів. Далі користувач за допомогою багатовіконного меню може здійснювати необхідні операції, наприклад, створення нового приватного підприємства (рис. 2, 3).

Рис. 2. Форма створення нового приватного підприємства

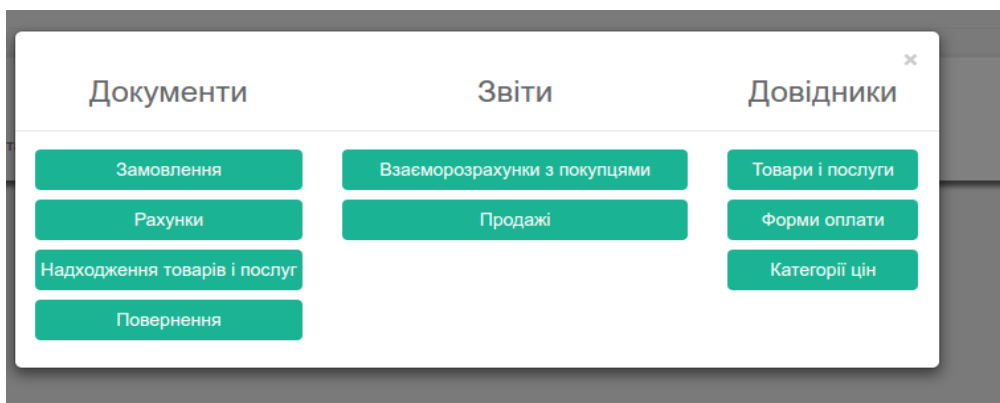


Рис. 3. Вибір документа/звіту/довідника для роботи із замовленнями

Також сайт є інтерналізований, може бути як українською, так і англійською мовою. У модальному вікні можна вибрати документ чи довідник який потрібно створити, після вибору відкривається форма створення документа.

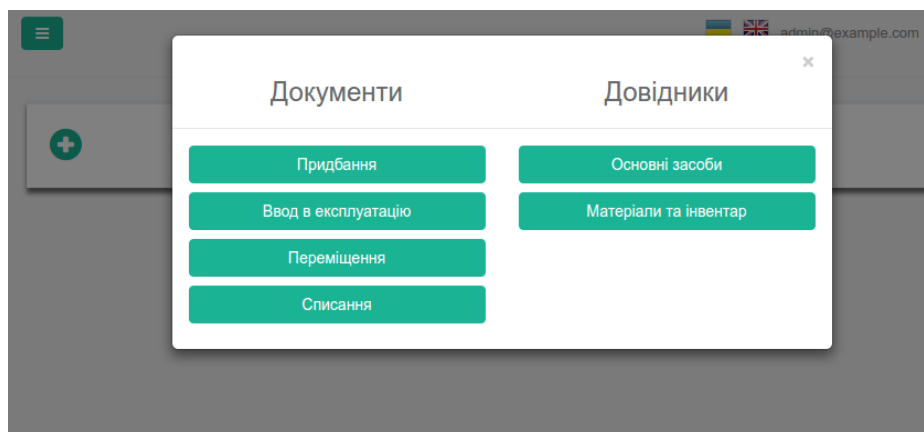


Рис. 4. Модальне вікно для вибору створення документа

Функціональність для роботи з фінансами компанії, відображення графіків, які формуються залежно від фільтрів (рис. 5).

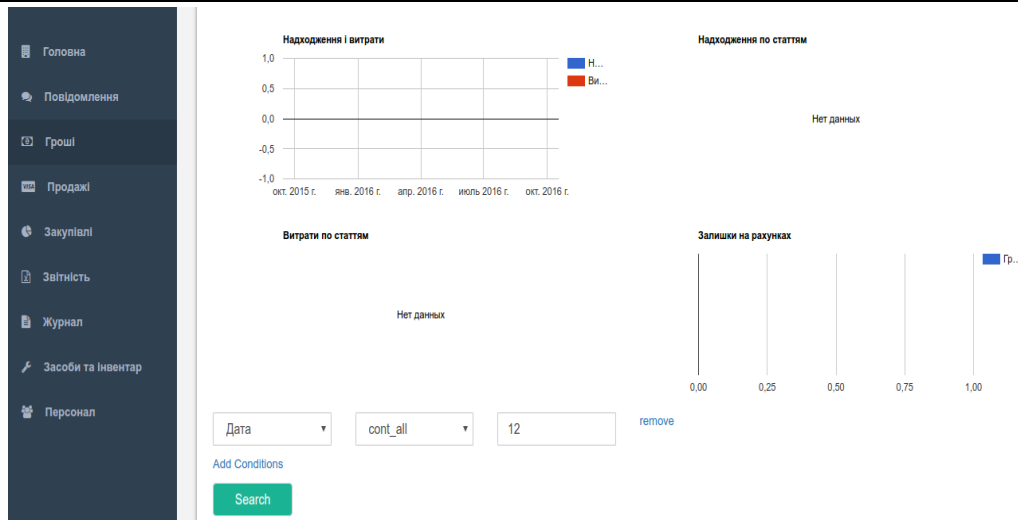


Рис. 5. Формування графіків роботи

Дана система має набір стандартних функцій налаштувань: проведення документів, розширене конфігурування довідників, робота з працівниками.

Запропонований сервіс онлайн-бухгалтерії розроблений на основі таких технологій:

1. PostgreSQL – об'єктно-реляційна система керування базами даних (СКБД). Сильними сторонами PostgreSQL вважаються: високопродуктивні і надійні механізми транзакцій і реплікації, легка розширюваність, упадкування.

2. pgAdmin є відкритим вихідним кодом, крос-платформний і дуже потужний програмний проект, спеціально розроблений для перегляду запитів і розробки складних баз даних PostgreSQL. pgAdmin призначений для задоволення потреб усіх користувачів, від написання простих запитів SQL до розробки складних баз даних. Графічний інтерфейс може бути запущений на робочому столі або на веб-сервері і підтримує всі поширені функції PostgreSQL. Додаток включає в себе підсвічування синтаксису редактора SQL.

3. Ruby on Rails – об'єктно-орієнтований програмний каркас (фреймворк) для створення веб-додатків, написаний на мові програмування Ruby. Ruby on Rails надає каркас модель-вид-контролер (Model-View-Controller) для веб-додатків, а також забезпечує їхню інтеграцію з веб-сервером і сервером бази даних. Динамічний AJAX-інтерфейс, обробка запитів і видача даних в контролерах, предметна область, відображена в базі даних, – для усього цього Rails надає однорідне середовище розробки на Ruby. Все, що необхідно для початку – база даних і веб-сервер [8–10].

4. Бібліотека Bootstrap – це безкоштовний набір інструментів з відкритим серцевим кодом, призначений для створення веб-сайтів та веб-додатків, який містить шаблони CSS та HTML для типографіки, форм, кнопок, навігації та інших компонентів інтерфейсу, а також додаткові розширення JavaScript. Він спрощує розробку динамічних веб-сайтів і веб-додатків. Це зроблено для людей всіх рівнів кваліфікації, пристроїв всіх форм і проектів будь-якого масштабу.

5. Active Admin – це Ruby on Rails плагін для створення інтерфейсів в стилі адміністрування. Абстрактний шаблон, щоб зробити його простим для розробників, щоб реалізувати user-friendly інтерфейси з невеликим зусиллям. Інтерфейс Active Admin був розроблений з нуля для неосвічених користувачів. Це дозволяє легко розробникам створювати придатні для використання інтерфейси.

6. Redis – розподілене сховище пар ключ-значення, які зберігаються в оперативній пам'яті, з можливістю забезпечувати довговічність зберігання за бажанням користувача [11]. Зберігає базу даних в оперативній пам'яті. Також надає операції для реалізації механізму обміну повідомленнями патерном видавець-передплатник. Також Redis підтримує транзакції і пакетну обробку команд (виконання пакету команд, отримання пакету результатів).

7. Puma web server – веб-сервер. На відміну від інших Ruby WebServers, Puma був побудований для швидкості і паралельності. Puma – це невелика бібліотека, яка забезпечує дуже швидкий і паралельний HTTP 1.1 сервер для веб-додатків на Ruby. Puma призначений для використання в режимі розробки і в умовах production environment.

8. GoogleVisualr – дозволяє створювати інформативні діаграми в поєднанні з Ruby. Цей Ruby gem є обгорткою Chart Tools Google, яка дозволяє будь-кому створювати такі ж гарні діаграми тільки з Ruby. Підходить для будь-якої версії Ruby On Rails.

Для розробки програмного забезпечення були використані наступні мови програмування: Ruby, CoffeeScript, SCSS. Розмітка веб-сторінок була виконана за допомогою HTML і SLIM. Середовище розробки – Sublime Text 3 [12].

Висновки

В ході дослідження були проаналізовані переваги і недоліки нової форми організації облікового процесу на основі cloud-технологій. Впровадження автоматизованих систем онлайн-бухгалтерії дозволить

вирішити основні проблеми, притаманні стаціонарним системам бухгалтерського обліку. Насамперед, це пов'язано з простотою використання онлайн-ресурсу, зручністю, ефективністю та мінімізацією трудових і фінансових затрат. Також, варто зазначити, що все більша кількість підприємств по всьому світу отримують вигоду від використання можливостей віддаленого доступу до онлайн-бухгалтерії.

В результаті запропоновано онлайн-сервіс для виконання традиційних бухгалтерських операцій Active Books. Для розробки системи були використані сучасні мови програмування: Ruby, CoffeeScript, SASS, Rails фреймворк. Також був застосований сучасний метод розробки TDD (test drive-development), використовуючи gem Rspec.

Література

1. Калимулина О.В. Традиционные формы и методы завоевания мирового рынка программного обеспечения уходят в прошлое / О.В. Калимулина // Российский внешнеэкономический вестник. – 2013. – № 1. – С. 99–104.
2. Унщикова Р.Т. Облачные интернет-технологии в инновационной бухгалтерии / Р.Т. Унщикова, А.А. Ипполитова // Вестник КемГУ. – 2013. – № 4 (56). – С. 194–197.
3. Широкова Е.А. Облачные технологии / Е.А. Широкова // Современные тенденции технических наук : материалы междунар. науч. конф. – Уфа, 2011. – С. 75–78.
4. Нетёсова О.Ю. Новые технологии бухгалтерского учета / О.Ю. Нетёсова // Молокохозяйственный вестник. – 2014. – № 3 (15). – С. 77–82.
5. Ковылянская А.Н. Там, за «облаками»: удаленный доступ к складскому и бухгалтерскому учету от 1С / А.Н. Ковылянская // Бухгалтер и компьютер. – 2012. – № 12. – С. 91–96.
6. Макарова Л.М. Применение режима удаленного доступа при автоматизации бухгалтерского учета / Л.М. Макарова, М.Ф. Желтова // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 1(29). – С. 54–61.
7. Мушак А.Я. Інтелектуальна комп'ютерно-інформаційна технологія прогнозу on-line продажів в електронних магазинах / А.Я. Мушак // Вісник ХНУ. Радіотехніка, електроніка та телекомунікації. – 2015. – № 1(221). – С. 181–185.
8. Flanagan D. Matsumoto Y. The Ruby Programming Language / D. Flanagan, Y. Matsumoto // O'Reilly Media Final Release. – 2008. – 448 p.
9. Mark J. Locklear Learning Rails 5 / J. Mark // O'Reilly Media Final Release Date. – 2016. – 452 p.
10. Feduke C. Instant RSpec Test-Driven Development How-to / C. Feduke // Packt Publishing Final Release Date. – 2013. – 68 p.
11. Das V. Learning Redis / V. Das // Packt Publishing Final Release Date. – 2015. – 318 p.
12. Hatfield M. CoffeeScript Application Development Cookbook / M. Hatfield // Packt Publishing Final Release. – 2015. – 368 p.

Рецензія/Peer review : 24.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Рудницький В. М.

АНАЛІЗ ЗАХИЩЕНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ ДЕРЕВА АТАК

У статті розглядається аналіз захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації (а також програмні засоби для його автоматизації). Описані основні етапи базового аналізу захищеності, методи аналізу ризиків, які дозволяють провести оцінку на базовому рівні. Також описана топологія комп'ютерної мережі у вигляді гіперграфа та представлений зв'язок між хостами у вигляді матриць.

Ключові слова: комп'ютерна мережа, гіперграф, засоби обчислювальної техніки, аутентифікація, автоматизована система, хост.

O.A. MYASISCHEV, O.O. MARTYNYUK, N.M. GINEVSKA

Khmelnitsky National University

ANALYZING SECURITY NETWORKS BASED ON WOOD CONSTRUCTION ATTACKS

In the article the analysis of computer network security during the design and operation (and its software for automation). The basic steps basic security analysis, risk analysis methods that allow you to assess at a basic level. Also described computer network topology in a hypergraph and presented communication between hosts in a matrix.

Keywords: computer network, hypergraph, computer aids, authentication, automated system, host.

Вступ. Завдання аналізу захищеності комп'ютерних мереж на різних етапах їх життєвого циклу, основними з яких є етапи проектування і експлуатації, все частіше стає об'єктом обговорення на спеціалізованих конференціях, присвячених забезпеченню інформаційної безпеки. Така пильна увага до даної задачі пояснюється тим, що аналіз захищеності необхідний при контролі та моніторингу захищеності комп'ютерних мереж, при атестації автоматизованих систем (комп'ютерних мереж) та сертифікації засобів обчислювальної техніки за вимогами діючих нормативних документів і вимагає обробки великого обсягу даних в умовах дефіциту часу.

Захищеність комп'ютерної мережі визначається як ступінь адекватності реалізованих в ній механізмів захисту інформації (такі, як ідентифікація і аутентифікація, управління доступом, протоколювання і аудит, криптографія, екранування) існуючим в даному середовищі функціонування ризиків, пов'язаних із здійсненням погроз безпеки інформації, тобто здатність механізмів захисту забезпечити конфіденційність, цілісність і доступність інформації. Захищеність може надавати і часто надає вирішальний вплив на показники ефективності функціонування комп'ютерних мереж. Під загрозою розуміється сукупність умов і факторів, що визначають потенційну або реально існуючу небезпеку виникнення інциденту, який може привести до нанесення збитку функціонуванню комп'ютерної мережі. Загрози можуть класифікуватися за різними ознаками. Зокрема, за характером походження загрози поділяються на дві групи: навмисні і природні. Основними умисними погрозами вважаються: підключення порушника до каналів зв'язку; несанкціонований доступ; розкрадання носіїв інформації. До основних природних загроз відносяться: нещасні випадки (пожежі, аварії, вибухи); стихійні лиха (урагани, повені, землетруси); помилки в процесі обробки інформації (збої апаратури). При аналізі захищеності комп'ютерних мереж до уваги слід приймати всі різновиди загроз, проте найбільшу увагу має бути приділено тим з них, які пов'язані з діями людини, зловмисними або іншими. Тому природні загрози в даній роботі не розглядаються.

В загальному випадку, під атакою розуміється «несанкціонована спроба використання вразливого місця». Проте, як правило, атака складається з множини дій порушника, що виконуються в певній послідовності. Таким чином, необхідно розрізняти атомарні дії порушника (запуск на виконання програмного додатка для отримання інформації про атакуєчий об'єкт, для використання вразливості і т.д.), які будемо називати атакуючою дією, і множина атакуючих дій, що використовуються в певній послідовності і дозволяє порушнику досягти деякої загальної цілі (як правило, це ціль, що досягається останньою атакуючою дією, наприклад, порушення доступності конкретного мережевого сервісу), яке будемо називати атакою. Множина атакуючих дій порушника, що складають атаку, і порядок їх виконання складають сценарій атаки. Формальним представленням можливих атакуючих дій порушника, що дозволяє наглядно продемонструвати сценарій атак, можуть виступати граф або дерево атак.

Зауважимо, що більшість використовуваних в організації комп'ютерних мереж через відсутність повної інформації про програмне і апаратне забезпечення не можуть пройти атестацію (а також періодично піддаються контролю і моніторингу захищеності) на основі базового аналізу захищеності. Саме тому Ю.С. Васильєв і П.Д. Зегжда виділили вдосконалення і автоматизацію методів і засобів (детального) аналізу захищеності програмно-апаратних комплексів з урахуванням відсутності повної інформації про них, у тому числі й аналіз програм у відсутності початкових текстів, в якості особливого напрямку забезпечення інформаційної безпеки.

Основні етапи базового аналізу захищеності. Розглянемо основні визначення і нормативні

документи, використовувані в завданні аналізу захищеності комп'ютерних мереж і дозволяють визначити місце і роль АЗ КМ. Під комп'ютерною мережею (КМ) (чи розподіленою автоматизованою системою) розуміється сполучені каналами зв'язки системи обробки даних, орієнтовані на конкретного користувача. Автоматизована система (АС) визначається як система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності (засобів обчислювальної техніки – ЗОТ), що реалізовує інформаційну технологію виконання встановлених функцій. У свою чергу засоби обчислювальної техніки визначаються як програмно-технічні засоби, що розробляються і поставляються на ринок як елементи, з яких будуються автоматизовані системи. Відповідно до чинних в нашій країні нормативних документів, при розгляді питань захисту ЗОТ від несанкціонованого доступу (НСД) обмежуються тільки програмно-технічними аспектами функціонування системи, тоді як захист АС припускає розгляд організаційних заходів захисту, питань фізичного доступу і т.д. Таким чином основними етапами базового аналізу захищеності є (рис. 1):

1. Оцінка адекватності вимог безпеки. На цьому етапі проводиться: (а) визначення і документування вимог безпеки; (б) критичний аналіз вимог безпеки з метою визначення їх придатності для цілей аналізу захищеності.

2. Оцінка адекватності механізмів захисту. На цьому етапі використовуються чек-листи, що містять, наприклад, наступне питання : чи "Виконується реєстрація спроб доступу до мережевого принтера"? Питання можуть бути різної міри деталізації залежно від вимог безпеки, які можуть визначати в одному випадку лише наявність конкретного механізму захисту (наприклад, аутентифікація видалених користувачів), в іншому – регламентувати реалізацію цього механізму (наприклад, використання певної схеми аутентифікації).

3. Перевірка існування механізмів захисту. На цьому етапі проводиться перевірка наявності представлених у функціональних специфікаціях АС механізмів захисту. При цьому не проводиться аналіз якості функцій, що реалізуються ними. Тестування проводиться по методу "чорного ящика" (таке тестування припускає відсутність у тестуючої сторони яких-небудь спеціальних знань про конфігурацію і внутрішню структуру АС) для механізмів захисту, реалізованих програмними і технічними засобами (наприклад, чи проводиться аутентифікація користувача перед будь-якими його діями в АС), і простим візуальним оглядом для адміністративних заходів захисту (наприклад, чи здійснюється контроль фізичного доступу до АС).

4. Огляд методології проектування. Цей етап дозволяє судити про міру надійності реалізації механізмів захисту.

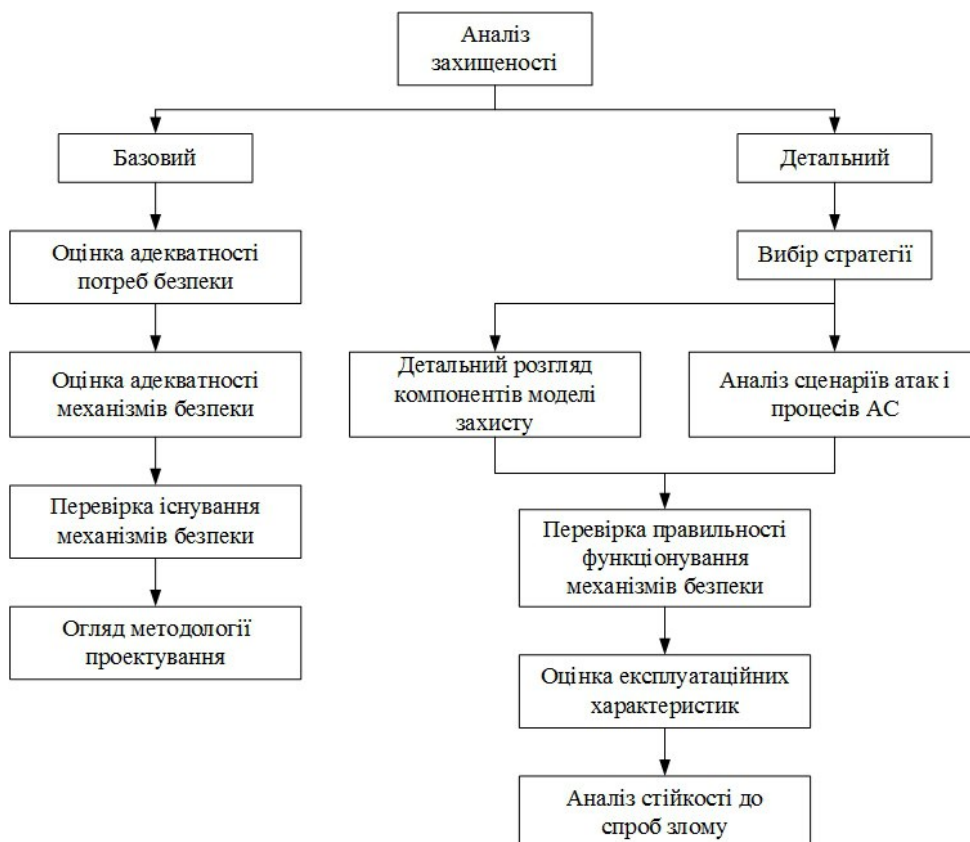


Рис. 1. Рівні деталізації аналізу захищеності

Для проведення базового аналізу необхідно надати експертам проектну документацію і початкові тексти програмного забезпечення, що не завжди можливо. В умовах, коли інформації про тих, що реалізуються в АС функціях недостатньо для базового аналізу (наприклад, відсутній доступ до

початкових кодів програм), експерти вимушені проводити детальний аналіз захищеності.

Метод аналізу ризиків. Для аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапі проектування використовуються методи аналізу ризиків, які дозволяють провести оцінку на базовому рівні. Виділяють два підходи: (1) аналіз ризиків по двох чинниках і (2) аналіз ризиків по трьох чинниках.

У першому підході використовуються наступні чинники: коефіцієнт, що характеризує частоту появи події ($P_{\text{подія}}$) і тяжкість можливих наслідків ($\text{Ціна}_{\text{втрати}}$). Вважається, що ризик тим більше, чим більше $P_{\text{подія}}$ і $\text{Ціна}_{\text{втрати}}$. Загальна ідея може бути виражена наступною формулою: $\text{Ризик} = P_{\text{подія}} \cdot \text{Ціна}_{\text{втрати}}$. Якщо $P_{\text{подія}}$ і $\text{Ціна}_{\text{втрати}}$ є кількісними величинами, тоді ризик — оцінка математичного очікування втрат; якщо якісними величинами, тоді операція множення не визначена і ризик визначається за допомогою матриці («матриці ризиків»). У цій матриці (рис. 2) по стовпцях розташовані значення коефіцієнта, що характеризує частоту появи події (наприклад, з використанням наступної шкали: (А) подія практично ніколи не відбувається; (Б) подія трапляється рідко; (В) вірогідність події за даний проміжок часу близько 0,5; (Г) швидше за все, подія станеться; (Д) подія майже обов'язково станеться). По рядках розташовується серйозність події (наприклад, наступні значення: (а) Negligible — подією можна нехтувати; (б) Minor — незначна подія; (в) Moderate — подія з помірними результатами (дія незначна і не зачіпає критично важливі завдання); (г) Serious — подію з серйозними наслідками (дія зачіпає критично важливі завдання); (д) Critical — подія призводить до неможливості рішення критично важливих завдань. Для оцінки ризиків визначається змінна з трьох значень: низький ризик, середній ризик і високий ризик. Шкали чинників ризику ($P_{\text{подія}}$ і $\text{Ціна}_{\text{втрати}}$) і сама таблиця можуть бути визначені інакше, мати інше число градацій. При використанні цього підходу необхідно враховувати наступні особливості: (1) значення шкал мають бути чітко визначені і розумітися однаково усіма учасниками процедури оцінки; (2) потрібно обґрунтування вибраній таблиці, тобто необхідно переконатися, що різні інциденти, що характеризуються однаковими поєднаннями чинників ризику, мають з точки зору експертів однаковий рівень ризику.

	Negligible	Minor	Moderate	Serious	Critical
А	Низький	Низький	Низький	Середній	Середній
Б	Низький	Низький	Середній	Середній	Високий
В	Низький	Середній	Середній	Середній	Високий
Г	Середній	Середній	Середній	Середній	Високий
Д	Середній	Високий	Високий	Високий	Високий

Рис. 2. Приклад матриці для визначення ризику залежно від двох чинників

У підході аналізу ризиків по трьох чинниках використовуються чинники «загроза», «вразливість» і «ціна втрати». Коефіцієнт, що характеризує частоту появи події, в цьому підході визначається таким чином:

$P_{\text{подія}} = P_{\text{загрози}} \cdot P_{\text{вразливості}}$. Тоді $\text{Ризик} = P_{\text{загрози}} \cdot P_{\text{вразливості}} \cdot \text{Ціна}_{\text{втрати}}$. Якщо $P_{\text{загрози}}$, $P_{\text{вразливості}}$ і $\text{Ціна}_{\text{втрати}}$ є кількісними величинами, тоді останній вираз використовується як математична формула, інакше — як формулювання загальної ідеї (в даному випадку ризик визначається з використанням матриць ризику, наприклад, рис. 3). У матриці, представленій на рис. 3, рівні уразливості Н, С, В означають відповідно: низький, середній високий рівень, а показник ризику вимірюється в шкалі від 0 до 8 з наступними визначеннями рівнів ризику: 1 — ризик практично відсутній (теоретично можливі ситуації, при яких подія настає, але на практиці це трапляється рідко, а потенційний збиток порівняно невеликий); 2 — ризик дуже малий (події подібного роду траплялися досить рідко, крім того, негативні наслідки порівняно невеликі); 8 — ризик дуже великий (подія швидше за все настане, і наслідки будуть надзвичайно важкими).

Міра серйозності події (ціна втрати)	Рівень загрози								
	Низький			Середній			Високий		
	Рівні уразливості								
	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В
Negligible	0	1	2	1	2	3	2	3	4
Minor	1	2	3	2	3	4	3	4	5
Moderate	2	3	4	3	4	5	4	5	6
Serious	3	4	5	4	5	6	5	6	7
Critical	4	5	6	5	6	7	6	7	8

Рис. 3. Приклад матриці для визначення ризику залежно від трьох чинників

Топологія комп'ютерної мережі. Для представлення топології представлений гіперграф, в якому як вершини використовуються мережеві інтерфейси хостів, а ребра представляють підмножину безлічі інтерфейсів (у стандартному графові ребра сполучають пари вершин, в гіперграфі — підмножина вершин). У цій моделі виділяється два види ребер: (1) ребра, що описують хости (дозволяють представити хости з декількома мережевими інтерфейсами, наприклад, ребро $H4 = \{i_4, i_5\}$ на рис. 4) і (2) ребра, що описують зв'язки хостів між собою (наприклад, ребро $L1 = \{i_1, i_2, i_3, i_4\}$).

На рис. 4 зображений гіперграф, що представляє приклад невеликої мережі. Множина $\{i_1, i_2, \dots, i_7\}$

– вершини графа(мережеві інтерфейси хостів); множина $\{H_1, H_2, \dots, H_7\}$ – ребра графа, які описують хости; $\{L_1, L_2\}$ – ребра, що описують зв'язки хостів між собою.

Зв'язок між хостами. Наочно зв'язок між хостами можна представити у вигляді матриць, приклад яких наведений на рис. 5. Безліч програмних продуктів утворюють конфігурацію хоста.

Недоліком цієї моделі є неможливість її використання при аналізі захищеності, оскільки (1) модель не відбиває достатньою мірою об'єкт (аналізовану комп'ютерну мережу), наприклад, відсутня можливість опису налаштувань стека протоколів TCP/IP для хостів, що призводить до неможливості обліку в аналізі захищеності політики фільтрації мережевого трафіку і так далі) і (2) модель необхідно доповнити компонентом, що формує відгук мережі (зміна її конфігурації) на ті, що реалізуються порушником атакуючі дії.

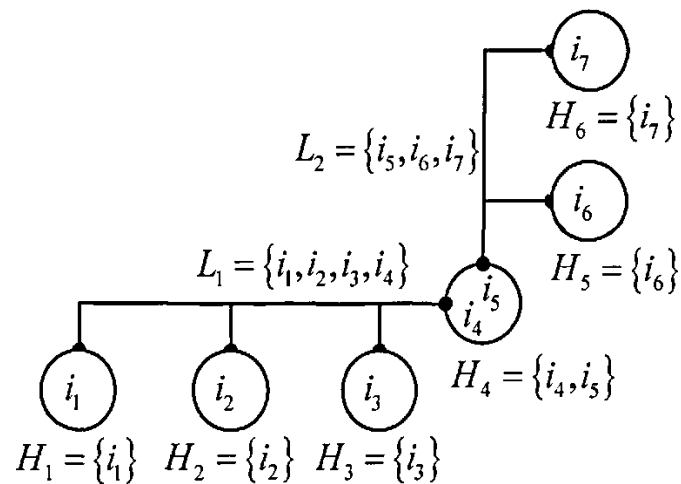


Рис. 4. Представлення топології комп'ютерній мережі у вигляді гіперграфа

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7
L_1	1	1	1	1	0	0	0
L_2	0	0	0	0	1	1	1

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7
H_1	1	0	0	0	0	0	0
H_2	0	1	0	0	0	0	0
H_3	0	0	1	0	0	0	0
H_4	0	0	0	1	1	0	0
H_5	0	0	0	0	0	1	0
H_6	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 5. Представлення зв'язків між хостами у вигляді матриць

Висновки. Основною метою є підвищення ефективності аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації на основі розробки і використання моделей комп'ютерних атак, порушника, аналізованої комп'ютерної мережі, формування дерева атак, оцінки рівня захищеності і методики аналізу захищеності комп'ютерних мереж.

Література

1. Астахов А. Анализ защищенности корпоративных автоматизированных систем [Электронный ресурс] / А. Астахов // Электрон, текстовые дан. и граф. дан. – [Б. м.: б. и.]. – Режим доступа : <http://www.jetinfo.ru/2002/7/1/article1.7.2002.html>
2. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты / В. В. Домарев. – М. : ТИД «ДС», 2002. – 688 с.
3. Паркер Т. TCP/IP. Для профессионалов / Т. Паркер, К. Сиян. – СПб : Питер, 2003.
4. Методы выявления нарушений безопасности [Электронный ресурс] // Электрон, текстовые дан. и граф. дан. – [Б. м. : б. и.]. – Режим доступа : <http://www.ssl.stu.neva.ru/sam/IDS%20Methods.htm>.
5. Защита от несанкционированного доступа к информации. Термины и определения [Электронный ресурс] // Электрон, текстовые дан. и граф. дан. – [Б. м. : б. и.]. – Режим доступа : http://www.sbcinfo.ru/articles/doc/gtc_doc/r_nsd_term.htm.
6. Котенко И. В. Оценка уровня защищенности компьютерных сетей на основе построения графа атак / И. В. Котенко, М. В. Степашкин, В. С. Богданов // Труды международной научной школы «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах (МАБР-2006)». – СПб, 2006. – С. 150–154.

Рецензія/Peer review : 18.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Сорокатиї Р.В.

РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ВЕРИФІКАЦІЇ ДОКУМЕНТІВ

Встановлено та обґрунтовано необхідність розробки алгоритму верифікації, яка криється у збільшенні кількості інформації, що обробляється, передається і зберігається в автоматизованих системах управління підприємств і організацій, що призведе, в свою чергу, до необхідності вирішення завдань, таких як забезпечення конфіденційності, цілісності, підтвердження авторства; створення захищеного електронного документообігу та ін. Проведено розробку алгоритму верифікації документів, побудованого на складності завдання факторизації, і його застосування в системах захисту документів від підробки. Складено блок-схему процесу верифікації документів. Доведено необхідність застосування криптографічного перетворення інформації для розробки сучасних засобів захисту інформації. Наголошено, що верифікація, або іншими словами перевірка справжності, на сьогодні є головним пріоритетним напрямком інноваційного характеру у криптографії. Описано детально процедуру верифікації, яка описується як збір необхідних правил перевірки справжності операції, що виконується стосовно інформаційного об'єкту в рамках виконання кроку, визначеного як верифікація. Склад виконуваних правил перевірки справжності залежить від групи, типу документа і його поточного статусу. Зазначається, що єдиним результатом виконання процедури верифікації є підтвердження істинності чи хибності логічного виразу. Відокремлено, що зазначена процедура може бути застосована до примірника інформаційного об'єкта, який саме перевіряється.

Практична реалізація наведеного алгоритму верифікації документів накладає додаткові обмеження, які описані на сторінках дослідження. За умов наявності зазначених обмежень, у роботі пропонується забезпечити ряд розробок, що стосуються врахування відповідного переліку користувачів; здійснення прив'язки до засобів електронного цифрового підпису; зміни статусу затвердження документа залежно від стадії верифікації; злиття з операційною моделлю. Зазначається, що механізм формування та перевірки електронного цифрового підпису засновано на асиметричних схемах шифрування, при використанні яких генеруються два математично взаємопов'язаних ключа. Застосування розробленого алгоритму на практиці дає високий рівень захищеності в сучасному інформаційному середовищі.

Ключові слова: верифікація, алгоритм, документ, електронно-цифровий підпис, ключ, криптографія, підробка, захист інформації, перевірка справжності.

A.O.OSIDACH
National University "Lviv Polytechnic"

DEVELOPMENT OF DOCUMENT VERIFICATION ALGORITHM

The necessity of development of the verification algorithm is established and substantiated, that lies in the increase of the volume of information processed, transmitted and stored in the automated control systems of companies and organizations leading to the need to address problems such as ensuring confidentiality, integrity, proof of authorship; creation of secure electronic circulation of documents, etc. The document verification algorithm based on the complexity of the factorization task and its use in systems of document protection against forgery was developed. The flowchart of the document verification process was made. The necessity of the use of cryptographic transformation of information for the development of modern information security means was proved. It is emphasized that today verification, or authentication in other words, is a top priority direction of innovative nature in cryptography. We describe in detail the procedure of verification that is a set of necessary rules of authentication carried out regarding the information object within the step of the operation defined as verification. Composition of the carried out authentication rules depends on the group, type of the document and its current status. It is noted that the only result of carrying out the verification procedure is to confirm the validity or falsity of a logical expression. It is singled out that this procedure can be used to the copy of the information object being checked.

Practical implementation of the above document verification algorithm imposes additional restrictions that are described in the research paper. Provided these restrictions, we suggest to provide a number of developments concerning: consideration of the relevant list of users; binding to digital signature means; change of the document approval status depending on the verification stage; merger with the operating model. It is noted that the mechanism of formation and verification of electronic digital signatures is based on asymmetric encryption schemes, using two mathematically related keys when generating them. The use of the developed algorithm in practice gives a high level of protection in the modern information environment.

Keywords: verification, algorithm, document, electronic digital signature, key, cryptography, forgery, information protection, authentication.

Постановка проблеми

Однією з найбільш важливих цінностей, що створені людством, на початку третього тисячоліття, стає інформація. Інформація виникає, створюється, зберігається, розповсюджується і т.д. кожен секунду людського життя у всіх сферах, вона є основним механізмом взаємодії людей між собою. Її роль в сучасному світі настільки велика, що інформаційна індустрія стала однією з провідних галузей наших днів. У свою чергу, поширення інформаційно-обчислювальних систем в повсякденному житті зробило їх привабливими для різного роду інформаційних атак. На основі зазначеного, значно підвищилася актуальність завдання збереження різного роду інформації та її основних властивостей як в процесі зберігання і обробки, так і при передачі відкритими каналами зв'язку. Одним з ефективних варіантів розв'язання задачі, в таких умовах сталого розвитку інформаційних систем, є застосування сучасних методів криптографії.

Актуальність дослідження

Фундаментальною базою сучасних інформаційних технологій виступають сучасні комп'ютерні і телекомунікаційні технології, які надзвичайно інтенсифікували інформаційні процеси в сучасному суспільстві. Проте, ходіння паперових документів і цінних паперів, на сьогодні, у сучасному інформаційному суспільстві, продовжує грати надзвичайно важливу роль і, в доступному для огляду майбутньому, роль паперових документів видається настільки ж значною. Незмірний збиток суспільству завдається таким негативним явищем як підробка документів, цінних паперів та грошових купюр. Це робить актуальним розробку систем випуску і верифікації автентичності паперових документів від підробки. Принципово новий рівень захисту від підробки забезпечується нещодавно запропонованою технологією криптографічного захисту матеріальних об'єктів.

Ступінь дослідження в науковій літературі

Методологічна та теоретична база дослідження проблем верифікації документів, на сьогодні, тільки формується. Окремі проблематичні аспекти, що виникають при створенні, формуванні та впровадженні сучасних криптографічних систем розглядаються на сторінках таких науковців, як О.В. Бабаш, Г.П. Шанкін [1], В.П. Бабак [2], О.М. Бевз, Р.Н. Кветний [3] та ін.

С.П. Панасенко у своїй праці [4] розглядає алгоритми блокового симетричного шифрування. Подає загальну класифікацію криптографічних алгоритмів. Пропонує більше 50 алгоритмів шифрування: історію створення та використання, основні характеристики та структура, переваги і недоліки. Описує різні види криптоаналітичних атак на алгоритми шифрування і на їх реалізації у вигляді програмних або апаратних шифраторів.

Також варто відзначити роботу С.Г. Баричева, В.В. Гончарова, Р.С. Серова [5]. На сторінках праці у систематизованому вигляді розглянуті питання створення симетричних і асиметричних криптографічних систем захисту інформації. Описано алгоритми електронних цифрових підписів, системи управління криптографічними ключами, імітозахисту інформації.

Загальну низку робіт у сфері захисту інформації формують праці таких вчених як: Б.Я. Рябко, А.Н. Фіонов [6], А.А. Малюк [7], М.А. Шолохова [8], Г. А. Смирнов [9], А. Круглов, Б.І. Скородумов [10], І.М. Ажмухамедов [11] та ін. Дослідження зазначених праць у сукупності розвиває основні положення щодо загальних механізмів криптографічного аналізу інформації у програмній реалізації, етапи розвитку криптографічного захисту та принципи його вдосконалення в рамках вирішення загальної проблеми забезпечення інформаційної безпеки.

Виокремлення невіршених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття. Технологія захисту матеріальних об'єктів від підробки, у загальному вигляді, вивчена доволі масштабно. Виходячи з того, що задача декомпозиції об'єктів вимагає високого рівня визначення умов, системи криптографічного захисту є дієвими та надійними, що сприяє їх широкому застосуванню. Проте, практичне застосування зазначених систем, виявило наявність мітки великого розміру, це, у випадку з перевіркою справжності документів, є істотним недоліком.

На основі вищевикладеного, варто зазначити, що дана наукова робота пов'язана з розробкою алгоритму верифікації документів, який є сучасною дієвою криптографічною системою захисту документів, побудованого на вдосконаленні декомпозиції об'єктів, шляхом визначення обмежень та впровадження ряду розробок.

На сторінках даного наукового дослідження розробляється алгоритм верифікації документів від підробки і вирішується питання про підвищення рівня захищеності від широкого спектра атак на систему, що визначає практичну важливість теми дослідження.

Мета дослідження

Здійснити розроблення алгоритму верифікації документів, з метою застосування його в системах захисту документів від підробки. Скласти блок-схему процесу верифікації документів. Обґрунтувати необхідність застосування криптографічного перетворення інформації для розробки сучасних засобів захисту інформації. Сформулювати поняття верифікації документів та детально описати процедуру верифікації.

Виклад основного матеріалу

Масштабність інформації представлена в сучасному інформаційному просторі вражає, форми подання документованої інформації, сьогодні, існують дві: аналогова і електронна [6]. Перша форма – це надання інформації в середовищі фізичних об'єктів [7]. Друга – в електронно-цифровій формі [12]. Таким чином, є можливість стверджувати, що процес обробки документів в сучасних системах документообігу носить змішаний характер (електронний та аналоговий) [4, 7].

У процесі життєвого циклу, до кожного документа, постає вимога справжності, тобто особливості документу зберігати свій початковий стан від моменту виникнення до моменту знищення, з можливістю ідентифікації особистих даних (час виникнення, автор, дата виникнення і т.д.). Як наслідок, постає питання забезпечення достовірності та збереження документованої інформації протягом повного життєвого циклу, незалежно від типу та форми документів.

На сьогодні, питання про необхідність застосування криптографічного перетворення інформації для розробки сучасних засобів захисту інформації є очевидним. У сучасних системах конфіденційність та

інформаційна безпека забезпечуються різними методами: правовими, адміністративними, фізичними, інформаційними (використання паролів, ідентифікаційних номерів абонентів, обмеження користувачів і ін.) і криптографічними методами. При цьому роль криптографічних методів продовжує зростати. Збільшення кількості інформації, що обробляється, передається і зберігається в автоматизованих системах управління підприємств і організації призвело до підвищення актуальності завдань: забезпечення конфіденційності, цілісності, підтвердження авторства; створення захищеного електронного документообігу; забезпечення високої швидкості обробки і підписання.

Підпис документа є головною ідентифікуючою ознакою у аналоговому середовищі. Проте, у разі перетворення документа, зазначені ознаки не відповідають за автентичність.

Електронний підпис застосовується у електронному середовищі, та є гарантом автентичності цифрового документа [6, 7]. Першою і найбільш відомою у всьому світі конкретною системою ЕЦП стала система RSA, математична схема якої була розроблена в 1977 р. Пізніше винайшли систему El Gamal Signature Algorithm (EGSA) розроблену в 1984 р. американцем арабського походження Тахера Ель Гамалем. У 1991р. в США розробили алгоритм цифрового підпису Digital Signature Algorithm (DSA), який був більш досконалим та мав скорочений обсяг пам'яті і час обчислення підпису. Далі було кілька доповнень та вдосконалень але всі вони, у загальному випадку, базувались на трьох попередниках.

Верифікація, або іншими словами перевірка справжності, на сьогодні є головним пріоритетним напрямком інноваційного характеру у криптографії.

Верифікація є однією з основних функцій, яка найбільшою мірою підлягає автоматизації за допомогою програмних засобів. Забезпечення різних видів верифікації на різних етапах життєвого циклу документа є однією з пріоритетних задач при створенні сучасної дієвої криптографічної системи захисту документів.

На сьогодні, у рамках окремого проекту, розрізняють два типи верифікації:

- автоматизована перевірка справжності – перевірка атрибутів документів, на підставі попередньо налаштованих правил в системі;
- користувальницька перевірка справжності – перевірка здійснюється візуально шляхом перегляду користувачем даних форми.

На даний момент не існує єдиної системи для верифікації, а також не виокремлено єдиного підходу до налаштування перевірки справжності для всіх типів документів окремої системи. За допомогою автоматичної верифікації необхідно забезпечити вирішення низки наступних завдань:

- перевірка справжності даних, переданих в даний екземпляр із зовні за допомогою XML файлу;
- перевірка справжності полів форм при введенні документів вручну користувачем;
- перевірка справжності полів документів, що потрапляють в систему за допомогою сканування паперових носіїв;
- перевірка справжності атрибутів документів в таблицях системи на різних стадіях життєвого циклу документа.

Процедура верифікації – звід необхідних правил перевірки справжності, що виконуються стосовно інформаційного об'єкта в рамках виконання кроку операції, визначеного як верифікація. Склад правил перевірки справжності залежить від групи, типу документа, і його поточного статусу. Єдиним результатом виконання процедури верифікації є підтвердження істинності чи хибності логічного виразу, зазначена процедура може бути застосована до примірника інформаційного об'єкта, що перевіряється.

У свою чергу, правило верифікації – це, перш за все, логічний вираз, що визначає який атрибут інформаційного об'єкта, при виконанні яких умов, яким чином і на які дані, що зберігаються у загальній інформаційній системі, повинен бути перевірений щодо справжності.

Алгоритм здійснення верифікації документів наведено на рис. 1.

Рисунок 1 розкриває, за допомогою багаторівневого затвердження у рамках окремої інформаційної системи, перевірку справжності. Також, важливим фактором є те, що дана функціональність інтегрована із засобами електронного цифрового підпису.

На відміну від автоматизованої перевірки справжності твердження виконується в асинхронному відносно до користувача режимі і, отже, не пред'являє серйозних вимог до продуктивності.

Аналізуючи наведений алгоритм, варто наголосити, що специфіка його функціонування накладає додаткові обмеження:

- необхідність роботи з кастомізованими документами;
- необхідність прив'язки електронного цифрового підпису до документа;
- забезпечення правил налаштування не через клієнт-сервер, а за допомогою тривірневої архітектури;
- необхідність інтеграції із загальним підходом щодо реалізації базових функцій верифікації.

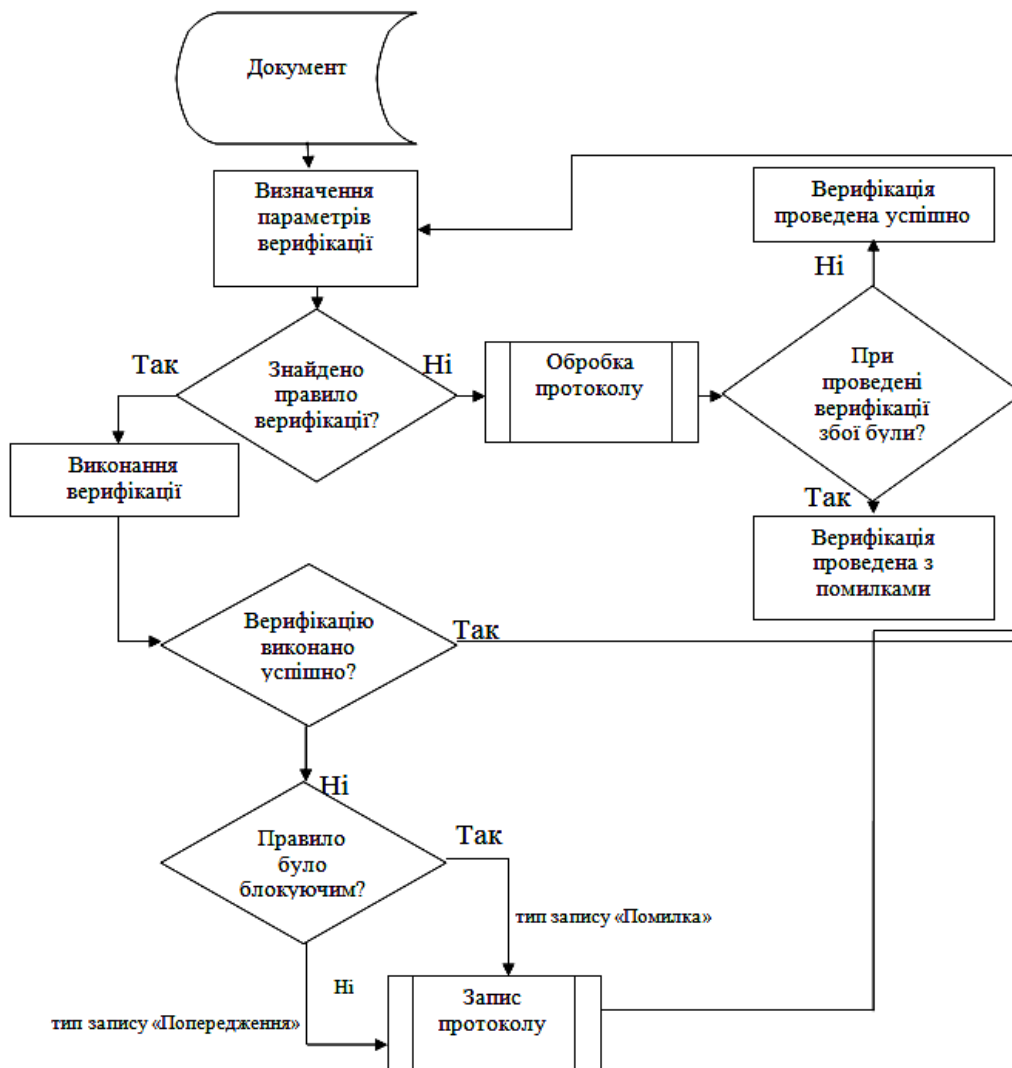


Рис. 1. Алгоритм верифікації документів
Розробка автора на основі [6, 8]

За умови наявності зазначених обмежень пропонується забезпечити ряд розробок, що стосуються:

- врахування відповідного переліку користувачів, що мають безпосереднє відношення до інформаційної системи на підставі попередньо налаштованих правил;
- здійснення прив'язки до засобів електронного цифрового підпису (ЕЦП);
- зміна статусу затвердження документа в залежності від стадії верифікації;
- злиття з операційною моделлю, яка, зокрема, має на увазі автоматичний запуск багаторівневої перевірки справжності після закінчення операції.

Стосовно прив'язки до засобів електронного цифрового підпису, варто враховувати, що даний механізм (формування та перевірки ЕЦП) засновано на асиметричних схемах шифрування, при використанні яких генеруються два математично взаємопов'язані ключі: один з них вважається секретним, інший – відкритим. В основі даного принципу, лежить фундаментальна особливість дієвості, яка полягає у тому, що секретний ключ розкриває відкритий, але не навпаки.

Механізм формування, з математичної точки зору, виглядає наступним чином: повідомлення P (блок інформації, файл, таблиця) стискають за допомогою хеш-функції $h()$ в ціле число m :

$$m = h(P) \tag{1}$$

Далі обчислюють цифровий підпис S під електронним документом P , використовуючи хеш-значення m і секретний ключ D :

$$S = mD \pmod{N} \tag{2}$$

Наступний крок – відправлення електронного документу P , який є підписний підписом S , тобто документ (P, S) . У цьому випадку підпис формується власником секретного ключа D .

Одержувач відновлює хеш-значення m' , застосовуючи криптографічне перетворення підпису S з використанням відкритого ключа E :

$$m' = S^E \pmod{N}. \tag{3}$$

Приврівнюючи вирази (1) та (3), отримуємо:

$$S^E \pmod{N} = h(P), \tag{4}$$

якщо вираз є дійсним, документ є справжнім.

Таким чином, зловмисникові, так як він не володіє закритим ключем автора і не зможе згенерувати коректний підпис, не вдасться непомітно внести зміни у вихідну інформацію. Проте, кожен зловмисник має можливість замінити всі три складові: зашифрувати змінену інформацію власним закритим ключем і прикласти свій відкритий ключ. Попередити та зупинити описаний випадок буде можливим у випадку застосування схеми взаємодії із залученням третього суб'єкта. У якості якого, у більшості випадків, виступає певного роду структура, яка отримує місію забезпечення взаємної довіри між учасниками обміну електронними повідомленнями, підписаними електронним цифровим підписом. Основним документом, що підтверджує наявність криптографічного захисту документа є цифровий документ, який підтверджує відповідність між відкритим ключем і інформацією, що ідентифікує власника ключа. Зазначений документ має назву сертифікат відкритого ключа [3].

Сертифікат відкритого ключа розкриває:

- область дії відкритого ключа;
- загальні відомості про відкритий ключ;
- основні дані про власника відкритого ключа;
- призначення відкритого ключа;
- відомості про структуру відкритого ключа;
- термін дії сертифікату відкритого ключа.

Підсумовуючи вищезазначене можемо стверджувати, що сертифікат відкритого ключа виступає своєрідним гарантом захищеності в сучасному інформаційному середовищі.

Заміна, перетворення або форматування початкового документу автоматично робить електронно-цифровий підпис не дійсним, так як останній є послідовністю символів, що засвідчує справжність документів, отриманий внаслідок перетворення початкового документа. Базуючись на тому, що для підробки електронного цифрового підпису необхідно проведення великого обсягу математичних обчислень, підробка ЕЦП є майже неможливою.

У разі, якщо ЕЦП виробляється на основі самого тексту документа, є можливість встановити факт підміни або редагування документа при передачі. Це говорить про те, що електронний підпис за своєю структурою, є послідовністю символів, пов'язаних з текстом документа так, що при зміні документа порушується задана відповідність між електронним підписом і текстом. Таким чином, для отримання електронного підпису під документом потрібно провести деяке перетворення тексту документа.

Для вирішення різних криптографічних завдань, на сьогодні, існує безліч криптографічних алгоритмів, які є сукупністю операцій, що здійснюються над текстом під час криптографічного перетворення.

Алгоритм отримання зашифрованого тексту полягає у тому, що вихідний текст обов'язково перетворюється так, щоб відновлення вихідного тексту було практично неможливим без знання певної інформації. Одиниці, що володіють цією інформацією, повинні бути в змозі відновити вихідний текст. Очевидно, що інформація, необхідна для відновлення тексту (розшифрування), повинна бути відома тільки адресатам.

На практиці, виникає необхідність здійснити верифікацію документа за допомогою іншого документа, який так само вимагає верифікації. Це можливо, наприклад, коли підпис під документом перевіряється за допомогою сертифіката на відкритий ключ, парний тому секретному ключу, на якому підпис вироблено [5]. Проте, з вищезазначеного випливає, що сам сертифікат – це теж документ, коректність і достовірність якого вимагає перевірки. Підпис під сертифікатом перевіряється на сертифікаті на відкритий ключ підпису того центру, який випустив сертифікат. Сертифікат центру, в свою чергу, теж може бути підписаний електронним підписом і вимагати перевірки.

Кількість таких документів необмежена, вони створюють так звані ланцюги довіри, що говорить про те, що кожен наступний документ перевіряє попередній. Не виникає сумнівів, що в кінці кінців ланцюжок довіри закінчується – в ньому обов'язково існує документ, який неможливо перевірити на іншому документі (як варіант, найперший сертифікат центру). Називаються зазначені документи кореневими, довіреними і т.д. Верифікація останніх залежить від програмного забезпечення, що використовується, і прийнятого регламенту: контрольні записи, цифрові відбитки і т.д. Головною особливістю всіх цих способів верифікації є те, що всі вони є користувальницькими мають на меті застосування паперових документів, тобто не підлягають автоматизації: необхідно, щоб людина порівняла інформацію з електронним документом, що проходить стадію верифікації, з роздрукованим і переконалася у справжності документа. Також вагомим фактором є те, що справжнім документ вважається тільки в тому випадку, якщо всі документи ланцюга довіри справжні та пройшли верифікацію у повному обсязі. З викладено видно, що це складний та довготривалий процес, тому повністю очевидно, що при кожній перевірці підпису, увесь ланцюжок довіри не перевіряється безпосередньо людиною, а у більшості випадків кореневий документ проходить верифікацію при його встановленні на комп'ютер, а далі верифікація ланцюжків довіри, що закінчуються цим документом, відбувається автоматично.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Здійснено розробку алгоритму верифікації документів, побудованого на складності завдання факторизації, і його застосування в системах захисту документів від підробки. Складено блок-схему процесу верифікації документів. Доведена необхідність застосування криптографічного перетворення інформації для розробки

сучасних засобів захисту інформації. Наголошено, що верифікація, або іншими словами перевірка справжності на сьогодні є головним пріоритетним напрямком інноваційного характеру у криптографії. Визначено детально процедуру верифікації, яка описується як звід необхідних правил перевірки справжності операції, що виконується стосовно інформаційного об'єкту в рамках виконання кроку, визначеного як верифікація. Склад правил перевірки справжності, що виконуються, залежить від групи, типу документа, і його поточного статусу. Зазначається, що єдиним результатом виконання процедури верифікації є підтвердження істинності чи хибності логічного виразу. Виокремлено, що зазначена процедура може бути застосована до примірника інформаційного об'єкта, який саме перевіряється.

У подальшому, актуальним напрямком дослідження є автоматизація алгоритму верифікації для різних типів документів з подальшим впровадженням на реальному підприємстві у вигляді додаткового програмного забезпечення.

Література

1. Бабаш А.В. Криптография / А.В. Бабаш, Г.П. Шанкин ; под ред. В.П. Шестюка, Э.А. Применко. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2007. – 512 с.
2. Бабак В.П. Теоретичні основи захисту інформації : підручник / В. П. Бабак. – Книжкове видавництво НАУ, 2008. – 752 с.
3. Бевз О.М. Шифрування даних на основі високонелінійних булевих функцій та кодів з максимальною відстанню : монографія / О.М. Бевз, Р.Н. Кветний – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 96 с.
4. Панасенко С.П. Алгоритмы шифрования : специальный справочник / С.П. Панасенко. – СПб : БХВ-Петербург, 2009. – 576 с.
5. Баричев С. Г. Основы современной криптографии / С. Г. Баричев, В. В. Гончаров, Р. Е. Серов. – 3-е изд. – М. : Диалог-МИФИ, 2011. – 176 с.
6. Рябко Б. Я. Криптографические методы защиты информации / Б. Я. Рябко, А. Н. Фионов. – 2-е изд. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 229 с.
7. Малюк А. А. Защита информации: современные проблемы / А. А. Малюк // Безопасность информационных технологий. – 2010. – № 1. – С. 5–9.
8. Шолохова М. А. Процедурный уровень информационной безопасности / М. А. Шолохова // Информационная безопасность. – 2010. – С. 98–99.
9. Смирнов Г. Особенности обеспечения информационной безопасности малого и среднего бизнеса / Г. Смирнов // Small Business Security. – 2013. – С. 67–78.
10. Круглов А. А. Об информационной безопасности / А. А. Круглов, Б. И. Скородумов // Вестник Российского нового университета. – 2007. – № 2. – С. 77–78.
11. Ажмухамедов И. М. Принципы обеспечения комплексной безопасности информационных систем / И. М. Ажмухамедов // Вестник АГТУ. Серия: «Управление, вычислительная техника и информатика». – 2011. – № 1. – С. 7–11.
12. Шакалей М.Б. Схема RSA на основе простого числа / М.Б. Шакалей // 52-я Научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР : тезисы докладов. – Минск, 2016 – С. 24–25.

Рецензія/Peer review : 21.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Троцишин І.В.

**РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ В ПІДЙІМАЛЬНИХ МЕХАНІЗМАХ
З ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ**

В роботі розглядаються актуальні питання енергозбереження та енергоефективності силових підйімальних механізмів з частотно-регульованим електричним приводом. Описано проблеми економії електроенергії ліфтовими механізмами в багатоповерхових будівлях та представлено спосіб рекуперації енергії в різних режимах роботи підйімального механізму за допомогою запропонованого методу. Розраховано енергетичну ефективність даної системи із застосуванням різних типів лебідок. Представлено метод надшвидкої акумуляції електроенергії за допомогою іоністорів. Проведено ряд експериментальних досліджень на діючих об'єктах в реальних умовах і різних режимах експлуатації. Запропоновано власний пристрій рекуперації електроенергії.

Ключові слова: рекуперація, енергозбереження.

V.I. STETSUYK, O.V. POLUDENNIY
Khmelnitsky National University

**ENERGY RECUPERATION IN THE LIFTING MECHANISM
WITH FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE**

In the paper the actual pytapnyya energy saving and energy power lifting mechanism with variable-speed electric drive. This problem saving electric lift mechanisms in multi-storey buildings and energy recovery method presented in various modes lifting appliance using the proposed method. Calculated the energy efficiency of the system with different types of winches. The method of ultra-fast accumulation of electricity through supercapacitor. A number of experimental studies on the existing objects in the real world and different modes of operation. An own recovery unit of electricity.

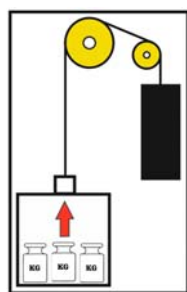
Keywords: recovery, energy saving.

Вступ

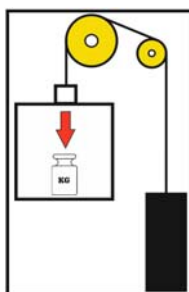
На сьогоднішній день тема енергозбереження актуальна у всьому світі. Впровадження енергозберігаючих технологій відбувається у всіх сферах діяльності людини. На енергозбереження в ліфтобудуванні ще не звертали такої пильної уваги, хоча споживання електроенергії ліфтом за загальними показниками середньостатистичної будівлі займає значну долю (до 15%) [1, с. 32]. Збереження, накопичення та повторне використання цієї електроенергії являється важливою науково-технічною задачею як в рамках одного ліфта, так і в межах всієї країни.

Принцип роботи

Рекуперація (від лат. *Recuperatio* – «зворотне отримання») – повернення частини енергії для повторного використання в тому ж технологічному процесі. В нашому випадку – перетворення електричної енергії мережі в кінетичну енергію ліфта і навпаки, при певних умовах генерування електричної енергії під час руху ліфта з великим дисбалансом кабіни відносно протизваги. Зазвичай ліфтова система складається з кабіни, лебідки, протизваги та станції керування. Протизвага необхідна для балансування ваги частково навантаженої кабіни. В результаті цього протизвага важча, ніж порожня або частково заповнена людьми кабіна, але легша, ніж повністю завантажена кабіна. Енергія мережі витрачається, коли повністю завантажена кабіна рухається вгору, або коли злегка завантажена кабіна рухається вниз. Схематичну модель даних процесів представлено на рис. 1.

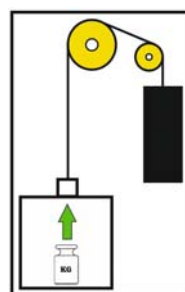


а)



б)

Рис. 1. Схематична модель роботи ліфтового механізму в режимі споживання електроенергії: а) повністю завантажена кабіна рухається вгору; б) злегка завантажена кабіна рухається вниз



а)



б)

Рис. 2. Схематична модель роботи ліфтового механізму в режимі генерації електроенергії: а) мало завантажена кабіна рухається вгору; б) сильно завантажена кабіна рухається вниз

Коли мало завантажена кабіна рухається вгору, або сильно завантажена кабіна рухається вниз, двигун починає працювати в ролі електрогенератора (рис. 2). У випадку споживання електроенергії 3-фазний струм через частотний перетворювач в керованому режимі подається на електродвигун. У приводі,

що не використовує регенерацію енергії, її надлишки, вироблені перетворювачем частоти, розсіюється на гальмівному резисторі [2, с. 126].

Застосування гальмівних резисторів має ряд недоліків:

- великі габарити гальмівних резисторів;
- розігрів їх поверхні до високих температур – вище 100 °С;
- обов'язковий захист від попадання пилу, вологи і т.д.;
- необхідність системи відведення тепла.

Енергетична ефективність та рекуперация енергії

Економічність і енергоефективність безредукторних лебідок досягається, перш за все, за рахунок вилучення однієї із основних ланок – редуктора та зменшення обсягів кінетичної енергії, яку запасє при пуску тихохідний приводний двигун. Разом із тим, кількісний аналіз реальної енергетичної ефективності нових типів лебідок в більшості випадків обмежується відсутністю інформації про основні базові показники [2-4]. В усталеному режимі, рекуперация енергії можлива, якщо потужність активних сил перевищує сумарні втрати потужності. Наприклад, в режимах спуску навантаженої кабіни або підйому порожньої кабіни. Тут потрібно враховувати реактивний характер всіх сил і моментів втрат. Рекуперация може виконуватися тільки в тому випадку, якщо сума складових активної сили тяжіння буде перевищувати суму втрат, викликаних реактивними силами, тобто коли з'являється надлишкова енергія. При застосуванні регульованої системи управління синхронним двигуном безредукторної лебідки, рекуперация можлива при невеликому дисбалансі кабіни відносно противаги.

У динамічних режимах, якщо обсяг кінетичної енергії прийняти за одиницю, по при пуску з мережі споживається енергія, рівна:

$$A_c = \frac{1}{\eta}. \quad (1)$$

Втрати енергії в перетворювачах будуть визначатися:

$$\Delta A_c = \frac{1}{\eta} - 1, \quad (2)$$

де η – результуючий ККД лебідки з двигуном і перетворювачем.

При гальмуванні в мережу віддається енергія $A_2 = \eta$, а втрати рівні:

$$\Delta A_2 = 1 - \eta. \quad (3)$$

Можна обчислити таке граничне значення ККД перетворювачів η_{zp} , при якому рекуперация енергії в циклі «пуск-гальмування» відсутня. Це випадок, коли сума втрат енергії під час пуску і при гальмуванні дорівнює кінетичній енергії:

$$\eta_{zp}^2 + \eta_{zp} - 1 = 0 \quad (4)$$

Звідки величина граничного значення коефіцієнта корисної дії становить 0,618. При цьому значенні ККД, в циклі «пуск-гальмування» з мережі споживається енергія, рівна кінетичній енергії запасеній в підйомному механізмі, а кінетична енергія, яка віддається при гальмуванні, компенсує втрати енергії. Якщо ККД буде більше цього граничного значення η_{zp} , то рекуперация енергії можлива, і з мережі споживається менший обсяг енергії. При значеннях ККД менших η_{zp} , рекуперация неможлива, а з мережі споживається енергія, більша за кінетичну енергію.

Необхідно також врахувати характер навантаження та особливості вимог до електроприводів лебідок. У зв'язку з відсутністю ефекту самогальмування в пропонованих сьогодні ринком нових типах безредукторних лебідок, в повній мірі сказується активний характер дії сил тяжіння вантажу, кабіни і противаги. При неврахуванні цієї обставини можливі «просідання» кабіни або противаги на початку і в кінці руху при вмиканні та вимиканні механічного гальма. В лебідках з регульованими системами керування ця проблема вирішується шляхом введення режиму утримання кабіни. На режим роботи системи в цілому впливають також і поточні налаштування: частотного перетворювача, плати керування, тощо. Вони дозволяють регулювати швидкість руху, інтервали розгону-гальмування та інш. Всі ці фактори в певній мірі впливатимуть на величину енергії рекуперации.

Найбільш точну оцінку енергоефективності електроприводу ліфтового обладнання можуть дати тривалі спостереження за енергоспоживанням на різних ліфтах. Застосування таких методів в кожному конкретному випадку є досить важким. Зростаюча увага за енергетичними показниками ліфтового обладнання змушує використовувати методи, що дозволяють з мінімальними часовими втратами експериментально визначити такі показники. На сьогоднішній день відсутні подібні, затверджені законодавчо, вітчизняні методи. В Європі розроблено дві методики, представлені в наступних документах: ISO / DIS 25745-1 (2008 рік) і VDI 4707 (2009 рік). У цих методах пропонується визначити енергетичні показники ліфта в режимах руху і очікування. У режимі очікування проводиться вимірювання споживаної потужності після 10 хвилин простою ліфта. За цей час станція управління перейде в режим простою, відключивши другорядних споживачів. У режимі руху відповідно до цих методик оцінка енергоефективності ліфтової установки проводиться шляхом вимірювання споживаної енергії, що витрачається в певному контрольному циклі. Контрольний цикл – це переміщення порожньої кабіни ліфта на висоту шахти 2 рази (в будь-якому початковому і зворотному йому напрямку) [1]. Такий цикл

застосовується зважаючи на простоту його реалізації (відсутня необхідність у використанні тарованих вантажів).

Для експериментального визначення енергетичних показників приводу ліфтового обладнання потрібно вимірювати споживану енергію. У частотно-регульованому електроприводі найбільшого поширення на сьогоднішній день отримали перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму і некерованим випрямлячем на вході. Форма струму, споживана з мережі даним типом пристроїв, є несинусоїдальною. Такий тип перетворювачів частоти використовується в складі безредукторного електроприводу. При несинусоїдальних формах струмів і напруг для визначення електричної енергії, що передається по трьох фазах мережі живлення, може бути застосована формула:

$$W = \int_0^t (p_A(t) + p_B(t) + p_C(t)) dt, \quad (5)$$

де p_A, p_B і p_C – миттєва електрична потужність, що передається по фазах А, В і С;
 t – період часу, для якого визначається споживана з мережі енергія.

Миттєва потужність виражається через фазні напруги і струми:

$$p_A = u_A i_A, \quad p_B = u_B i_B, \quad p_C = u_C i_C. \quad (6)$$

У разі, коли напруги в фазах мережі живлення симетричні, напруга однієї з фаз (наприклад, С) можна виразити через напруги інших фаз:

$$u_C = -(u_A + u_B). \quad (7)$$

Струм однією з фаз також можна виразити через інші фазні струми:

$$i_C = -(i_A + i_B). \quad (8)$$

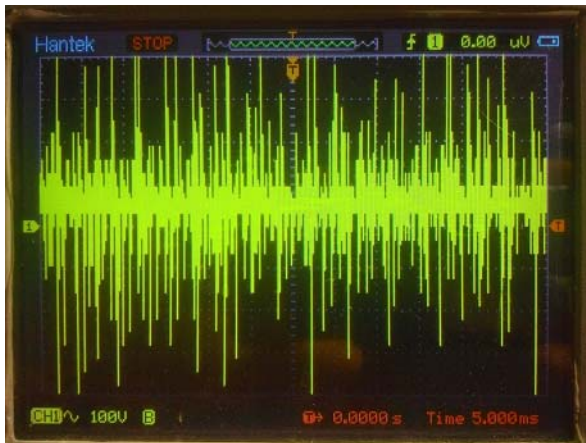
З урахуванням (7) і (8) вираз (5) можна записати у вигляді:

$$W = \int_0^t (u_A i_A + u_B i_B + (u_A + u_B)(i_A + i_B)) dt. \quad (9)$$

Формула (9) дозволяє визначити споживану навантаженням енергію з трифазної мережі з використанням фазних напруг і струмів двох фаз живлення.

Експеримент

Відповідно до рис. 2, було запущено малозавантажену кабінку на підйом у шахті довжиною 50 м. Осцилограми викидів регенованої енергії представлені на рис. 3. В результаті експерименту було встановлено, що коли ліфт переходить на велику швидкість, майже по всій траєкторії руху спостерігалась присутність викидів регенованої енергії розмахом до 2000 В. Даний експеримент було проведено на редукторному двигуні вантажопідйомністю 1000 кг.



а)



б)

Рис. 3. Осцилограми розмаху викидів імпульсів регенованої енергії з двигуна на гальмівний резистор опором 50 Ом: а) $t=5$ мс, 100 В/діл.; б) $t=50$ мс, 100 В/діл.

Існує пряма залежність ефективності рекуперації енергії від типу приводу (асинхронний двигун з черв'ячним редуктором), або ж безредукторний синхронний двигун. Відомо, що синхронні безредукторні лебідки мають ККД набагато вищий відносно асинхронних редукторних лебідок. На редукторних лебідках можна регенерувати теоретично до 20% від загальної спожитої енергії. Компактний синхронний електродвигун дозволяє економити до 40% енергії від загально спожитої. Таким чином, кількість економії енергії залежить від багатьох факторів, таких як: завантаження кабінки, швидкості руху ліфта, типу застосованої лебідки, висоти підйому і т.д.

Енергетична ефективність пасажирського ліфта експериментально визначена і приведена на рис. 4. Для ліфта вантажопідйомністю 1000 кг споживана потужність електродвигуна буде дорівнювати: для

редукторної лебідки з асинхронним двигуном – 11 кВт, для безредукторної лебідки з синхронним двигуном – 6,9 кВт і для безредукторної лебідки з синхронним двигуном в парі з блоком рекуперації – 4,14 кВт.

Запропонований пристрій рекуперації енергії

Використання енергії, що надходить від електродвигуна ліфта у генераторному режимі під час руху кабіни ліфта із великим дисбалансом кабіни відносно противаги, здійснюється наступним чином (рис. 5). Вхід трифазної напруги (L1, L2, L3) організовано через ввідний пристрій на частотний перетворювач, який, в свою чергу, живить електродвигун.

Специфіка роботи частотних перетворювачів така, що він містить трифазний випрямляч і коло постійного струму (DC шина), до якої під'єднується гальмівний резистор. Пропонується замість гальмівного резистора встановити блок накопичення енергії, який складається із суперконденсаторів та акумуляторів. Гальмівний резистор можна виключити із системи повністю, або ж залишити, як елемент додаткового захисту, під'єднавши через захисний пристрій. Якщо блок накопичення енергії буде повністю заповнений рекуперованою енергією і вона в цей час буде споживатись менш інтенсивніше, пристрій захисту перенаправить потік регенованої енергії на гальмівний резистор.



Рис. 5. Блок-схема запропонованого пристрою рекуперації енергії

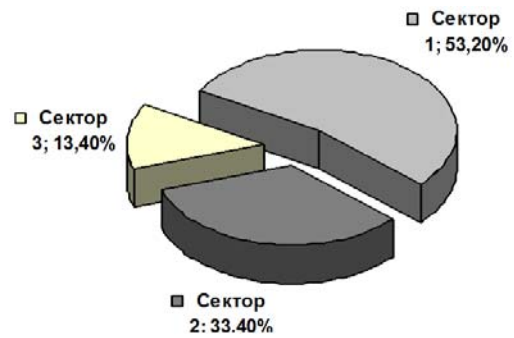


Рис. 4. Енергетична ефективність ліфтових підймальних механізмів: сектор 1 – витрати електроенергії редукторної лебідки; сектор 2 – витрати електроенергії безредукторної лебідки; сектор 3 – витрати електроенергії безредукторної лебідки в парі з пристроєм рекуперації

Висновки

Актуальність питання енергозбереження вимагає детального розгляду як з наукової, так і з технічної точок зору. Енергетична ефективність пристрою рекуперації підтверджена рядом експериментів і складає 20–40% в залежності від ряду факторів: типу лебідки, висоти підйому, завантаженості кабіни ліфта тощо. В даній статті пропонується пристрій рекуперації енергії, який використовує блок накопичення енергії у вигляді поєднання суперконденсаторів та акумуляторів. Це дозволяє максимально швидко акумулювати енергію, яка рекуперується, підвищує термін експлуатації акумуляторних батарей, дозволяє адаптувати дану систему в будь-яку сучасну станцію керування ліфтом та значно знижує собівартість споживаної електроенергії.

Література

1. ДСТУ EN 81-1-2003. EN 81-1:1998. IDT. Норми безпеки до конструкції та експлуатації ліфтів. Частина 1. Ліфти електричні.
2. Стецюк В. І. Рекуперація енергії в ліфтових механізмах / В. І. Стецюк, О. В. Полуденний // 24-та Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція «Ключові проблеми сучасної науки» 15-30 вересня 2016. Україна, – Дніпропетровськ, С. 77-83.
3. Бойко А. А. Влияние номинальной скорости кабины на производительность пассажирских лифтов. – Одеса: Інтерпрінт, 2013. – С. 38-43
4. Семенюк В. Ф. Комплексный метод анализа энергоэффективности лебедок пассажирских лифтов с применением энергетических диаграмм // Науково-технічний та виробничий журнал «Підйомно-транспортна техніка». – Вип. 4 (44). – Одеса: Інтерпрінт, 2014. – С. 24-29

Рецензія/Peer review : 16.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 31.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., доц. Любчик В.Р.

УДК 621

В.П. НЕЗДОРОВІН, Н.В. ГРИПІНСЬКА, Н.І. ПРАВОРСЬКА, С.Л. ГОРЯЩЕНКО

Хмельницький національний університет

А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ

Буковинський державний медичний університет

ЗАСТОСУВАННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ ЛОГИКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ ВАРІАТИВНИХ СЕНСОРНИХ ДАТЧИКІВ

Сенсорні пристрої вимагають забезпечення таких властивостей як мініатюризація, уніфікація інтерфейсів, мінімізація енергоспоживання, інтелектуалізація процесу вимірювання. Існуючі 8-бітні системи активно витісняються 32-бітними системами на базі ARM7 контролерів. Показано, що для підвищення гнучкості апаратної реалізації можливе застосування контролерів із програмованими логічними блоками. Розглянуто процес генерування логічних функцій, перегляд відповідної структури, а також формування програмного коду. Встановлено, що можливість зміни апаратної частини за рахунок динамічного завантаження відповідного коду надає можливість змінювати реакцію системи.

Ключові слова: програмована логіка, ARM7.

V.P. NEZDOROVIN, N.V. GRYPYNSKA, N.I. PRAVORSKA, S.L. HORIASCHENKO

Khmelnitskiy National University

A.V. KLEPIKOVSKIY

Bukovinian state medical university

CONSTRUCTION OF VARIABLE SENSOR BY USE OF RECONFIGURABLE LOGIC

Annotation – Sensor devices requires such capabilities as miniaturisation, unification of hardware interface, minimisation of power consumption and intellectual measuring. Available for now 8-bit systems are replaces by 32-bit systems based on ARM7 core. Usage of programmable logic arrays can be used for creating flexible hardware of modern measuring devices. In article shown process of creating logical blocks in microconvertors ADuC 7000. As a result received variable logical structure and created program code for this structure. Program code can be used for reconfiguration of measuring device at running time. Hardware logic based on PLA can archive higher reaction speed on any event.

Keywords: measuring device, programmable logic array, ARM7.

Вступ

Розвиток сучасної сенсорної електроніки зумовлений такими тенденціями як розширення функціональних можливостей, мініатюризація, уніфікація інтерфейсів, мінімізація енергоспоживання, інтелектуалізація процесу вимірювання [1, 2]. Сенсорні пристрої, що відповідають цим тенденціям, базуються на сучасній елементній базі сигнального перетворення – мікропроцесорах, високопрецизійних аналого-цифрових перетворювачах, низьковольтних мікропотужних Rail-to-Rail операційних підсилювачах тощо [3, 5, 6].

Ще кілька років тому 8-розрядні мікроконтролери були поза конкуренцією по рівню функціональної насиченості. Багато представників сімейств 8051, PIC, AVR давали розробникові можливість створити всю систему практично на єдиному кристалі [4]. В той же час 32-розрядні мікропроцесори представлялися якимись монстрами. Для створення закінчених систем на їх основі було потрібно досить багато зовнішніх компонентів: тактові генератори, монітори живлення, мікросхеми пам'яті і пристрою введення-виводу. Так було до тих пір, поки в справу не вступили компанії – лідери ринку 8-бітових мікроконтролерів: Atmel, Philips, STMicroelectronics та інші. Сьогодні вже можна з упевненістю сказати, що 32-розрядні мікроконтролери не тільки не поступаються, але часто і перевершують своїх 8-розрядних побратимів по рівню функціональної інтеграції.

Вимоги до продуктивності системи і проблеми реального часу

Постійний розвиток ринку пред'являє вимоги до вбудовуваних систем, що постійно зростають. Наприклад, таке звичайне завдання для мікроконтролера як керування пральною машиною до недавнього часу зводилось до функцій кінцевого автомата на декілька станів, що керувався невеликою кількістю кнопок та пристроєм індикації стану на декількох світлодіодах. Мікроконтролери в сучасних пральних машинах вже повинні безпосередньо управляти електроприводом, мінімізуючи витрату електроенергії, контролювати склад хімікатів для зменшення шкідливих викидів, виводити інформацію на графічний дисплей і підтримувати мережеві комунікації для спілкування із службами сервісу. Для вирішення сукупності подібних завдань продуктивності 8-розрядних мікроконтролерів в часі та за обсягом функцій вже може бути недостатньо.

Очевидно, що по обчислювальній потужності 32-розрядні мікропроцесори знаходяться поза конкуренцією [7]. Проте при виборі мікроконтролера для систем реального часу принципово важливим є швидкість його відгуку на зовнішні події і, крім того, детермінованість цієї реакції – тобто час відгуку повинен знаходитися в достатньо вузьких часових межах незалежно від стану мікроконтролера у момент виникнення зовнішньої події.

Чи задовольняють цим вимогам мікроконтролери з ядром ARM? Найбільший внесок до

невизначеності часу реакції вносять такі елементи архітектури, як оперативна проміжна пам'ять (fast cache RAM). Кеш підвищує інтегральну продуктивність мікроконтролера за рахунок фонові попередньої вибірки інструкцій і даних з дещо повільної пам'яті (наприклад, FLASH пам'яті) в дуже швидко оперативну пам'ять, яка здатна працювати на одній частоті з ядром мікроконтролера. Проте, у разі виникнення зовнішньої події в мить, коли кеш не містить необхідної частини програми обробки події, в такому випадку потрібне виконання операції завантаження нових даних в кеш та подальша обробка цих даних. Тому реакція на цю подію може стати дуже повільною. А сам час реакції важко прогнозованим.

Тому для систем з такими вимогами найбільшого поширення набули мікроконтролери з ядрами ARM7TDMI, ARM7TDMI-S, які не мають спеціальної кеш-пам'яті і по реакції на переривання не відрізняються від звичайних 8-розрядних мікроконтролерів. Для максимального задоволення вимог реального часу розробники мікроконтролерів роблять додаткові заходи підвищення ефективності своїх систем. Проілюструємо деякі такі рішення на прикладі мікроконтролера AT91SAM7S компанії Atmel.

Векторний контролер переривань мікроконтролера (на прикладі AT91SAM7S)

Ядро ARM7 має всього два зовнішні входи переривання. Для систем реального часу цього явно недостатньо. Тому до складу мікроконтролера AT91SAM7S вводиться додатковий апаратний модуль, званий векторним контролером переривань, який забезпечує перехід на адресу обробки переривання одного з 32-х джерел переривань за допомогою єдиної команди переходу. Сенс його роботи зводиться до того, що до складу контролера входять 32 регістри адреси, в які заздалегідь записуються адреси підпрограм обробки для кожного з 32 можливих джерел переривання. При виникненні переривання ядро ARM викликає передачу управління на адресу, відповідну зовнішньому перериванню. За цією адресою розташовується інструкція, яка прочитає дані з контролера переривань, а контролер у цей момент підставляє значення саме того регістра адреси, яка відповідає виниклому перериванню. Таким чином, мікроконтролер переходить відразу на програму обробки потрібного переривання, не використовуючи ні єдиної додаткової інструкції. Крім того, в контролері є спеціальний тип переривань – FIQ (Fast Interrupt reQuest) призначений для швидкої реакції на переривання.

Застосування програмованої логіки в цифрових системах

Створені на базі RISC (Reduced Instruction Set Computer) архітектури обчислювального ядра мікроконтролери ADuC7019/20/21/22/24/25/26/27 фірми Analog Devices характеризуються збільшеною до 40 MIPS продуктивністю процесорного ядра, а, крім того, містять швидкодіючий багатоканальний 12-розрядний АЦП, до чотирьох ЦАП, контролери стандартних інтерфейсів для обміну даними із зовнішніми пристроями і модифіковану систему ФАПЧ [8]. У всіх мікроконтролерах серії ADuC7000 частота перетворення АЦП підвищена до 1 Мгц, збільшено число і розрядність вбудованих таймерів, а також міститься генератор ШИМ-сигнала. Перевага мікроконтролерів серії ADuC 7019/20/21/22/24/25/26/27 в порівнянні з іншими мікроконтролерами аналогічного класу полягає також ще і в тому, що вони містять вбудовані блоки програмованої логіки PLA (Programmable Logic Array), а це у багатьох випадках дозволяє скоротити сумарне число компонентів в системі.

Мікроконтролери ADuC7019/20/21/22/24/25/26/27 (рис. 1) призначені, в першу чергу, для застосування як інтелектуальні датчики в мережах збору даних, в засобах телекомунікацій, у вимірювальних портативних приладах з автономним живленням, пристроях управління/контролю параметрів технологічних процесів, портативних медичних приладах і в іншому вимірювальному устаткуванні високого класу. Високі параметри цих мікроконтролерів дають можливість створювати на їх основі недорогі вбудовані пристрої управління/контролю, що легко модифікуються, призначені для використання в модулях збору/обробки даних, орієнтованих на застосування в системах SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

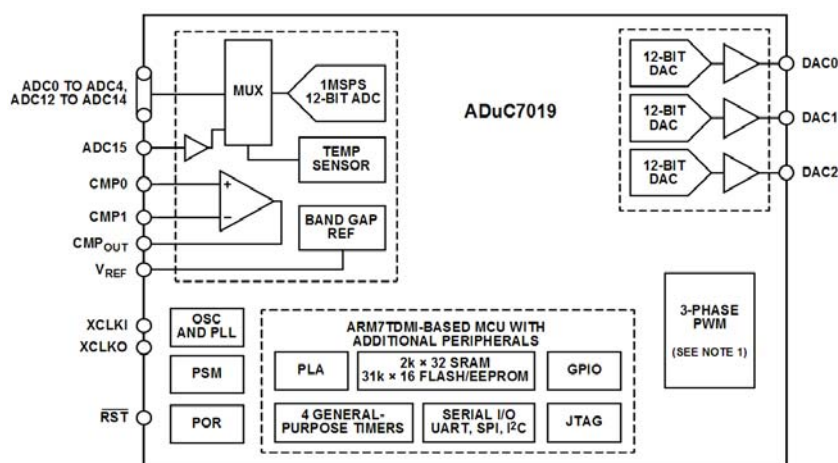


Рис. 1. Функціональна блок-схема мікроконтролера ADuC7019 [8]

Між собою модифікації мікроконтролерів серії ADuC7000 відрізняються числом ЦАП і вхідних каналів АЦП, що визначається типом корпусу.

Мікроконтролери ADuC7000 містять:

- високопродуктивне 16-/32-разрядное RISC-процесорне ядро ARM7TDMI
- багатоканальний (до 16 каналів) АЦП з максимальною частотою перетворення 1 МГц
- джерело еталонної напруги (2 500±10 мВ)
- температурний датчик
- до чотирьох ЦАП
- два блоки програмованої логіки (PLA)
- систему ФАПЧ
- контролер переривань
- чотири універсальні таймери
- генератор ШІМ-сигналу
- контролери послідовних портів (UART, SPI, I2C)
- схему перезапуску (Power ON Reset – POR)
- монітор джерела живлення (Power Supply Monitor – PSM)
- порти введення/виводу загального призначення (до 40 ліній)
- аналоговий компаратор
- JTAG-порт.

Спеціальною властивістю мікроконтролерів серії ADuC7000 являється наявність двох блоків програмованої логіки (рис. 2), що дозволяє зменшити число зовнішніх компонентів та понизити вартість системи в цілому. Кожен з блоків PLA (рис. 3) містить вісім логічних модулів, кожен з яких має підключення до входів GPIO (входи P1.1–P1.6, P0.0 та виходи P1.7, P0.4-P0.7, P2.0-P2.2 для першого блоку; входи P3.0–P3.7 та виходи P4.0-P4.7 для другого блоку), а також є доступ до джерела тактових сигналів від GPIO0-GPIO2, HCLK, OCLK, Timer1, Timer4.

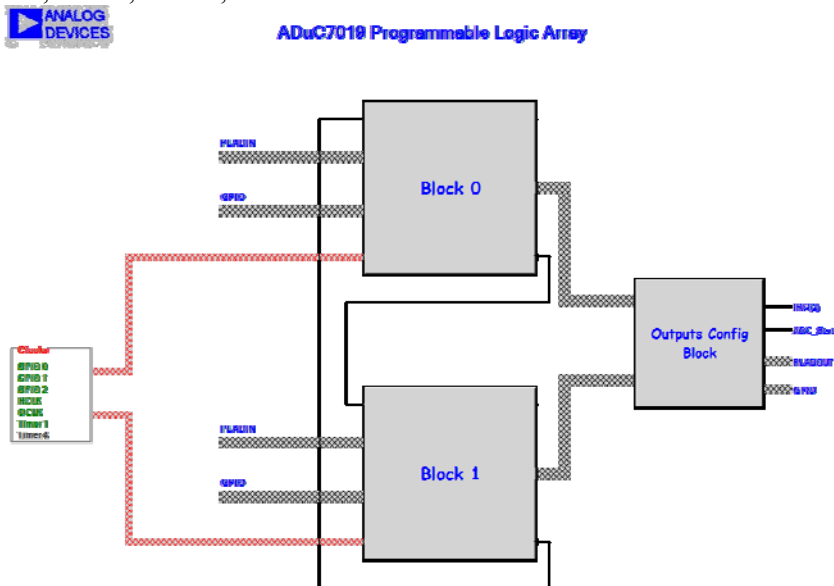


Рис. 2. Будова внутрішніх блоків програмованої логіки (PLA)

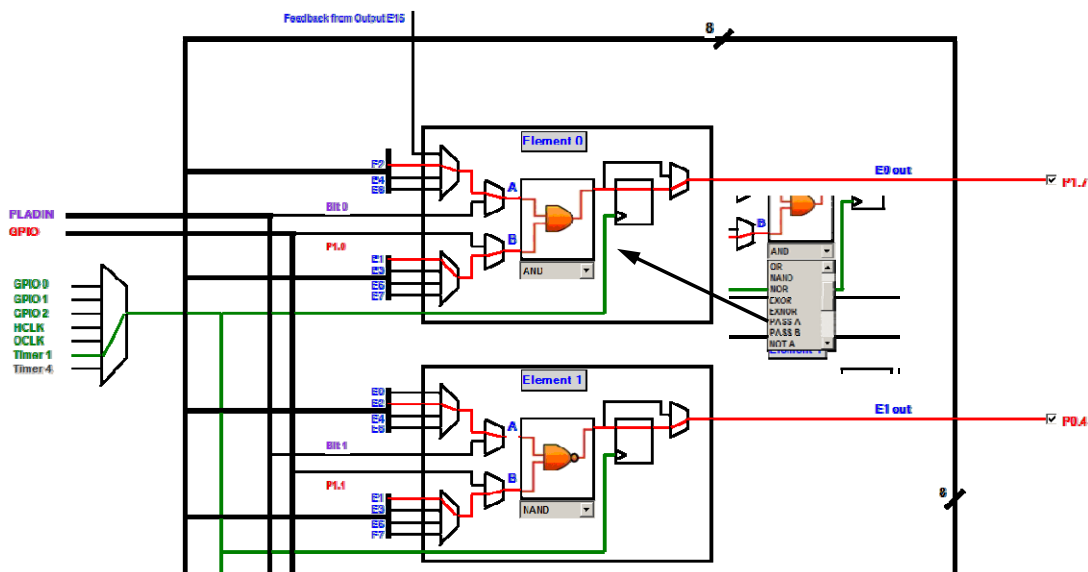


Рис. 3. Будова логічного блоку (фрагмент PLA Block 0)

Кожен логічний осередок (рис. 3) містить тригер, п'ять мультиплексорів і пристрій управління, що реалізує будь-яку логічну функцію два змінних (A, B). У середині кожного з блоків, використовуючи відповідні мультиплексори, до входів пристроїв управління можна підключити виходи інших логічних блоків.

Результат створення візуального поєднання логічних елементів (рис. 4) можна проконтролювати в середовищі розробки PLAtool, використання якого дозволяє швидко і ефективно проектувати різноманітні вузли на основі вбудованої в мікроконтролери ADuC7000 програмованої логічної матриці. Розробка функціональних вузлів на базі PLA проводиться в графічному режимі. Програмний пакет PLAtool відрізняється простою і інтуїтивно зрозумілою системою меню. Структурна схема логічного осередку і фрагмент графічного зображення проекрованої схеми пристрою приведені на рис. 4. Використовуючи меню Help, можна знайти докладний опис процесу роботи ПО, а також приклад розробки простого пристрою на базі програмованої логічної матриці.

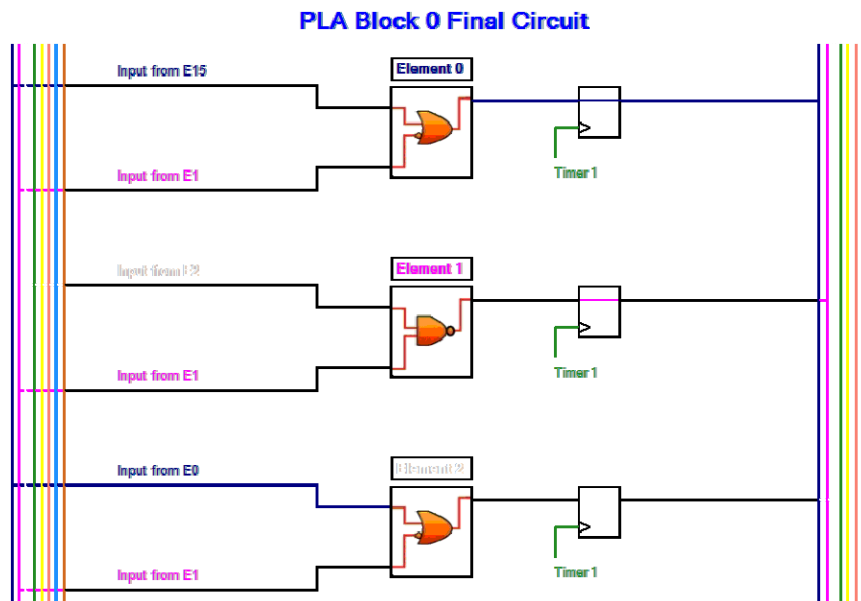


Рис. 4. Структура синтезованої логічної структури

Блоки PLA конфігуруються за допомогою запису коду у відповідні регістри: PLAELMx, PLACLK, PLAIRQ, PLAADC, PLADIN і PLADOUT. В результаті створення певної логічної структури можливим стає також і генерування відповідного програмного коду, що відповідає цій структурі:

```
//      Code Generated By the ADuC 7XXX PLA Tool
//FileType:   C PLA Configuration File
//Source:     C Source Code
//=====
#include "ADuC7019.h"

void    plaInitialize( )
{
    // Configure Port Pins for PLA mode
    GP0CON = 0x330000;
    GP1CON = 0x30000000;
    // Configure individual elements
    PLAELM0 = 0x0250;
    PLAELM1 = 0x024E;
    PLAELM2 = 0x005A;
    // Clk Source configuration
    PLACLK = 0x0005;
}
```

Підпрограма ініціалізації масиву логічних елементів може бути викликана в самому початку програмного коду, за необхідністю це може бути виконано в процедурі первинної ініціалізації контролера. Одночасно з цим, підпрограма ініціалізації масиву логічних елементів може бути виконана і в довільний момент часу. В тому числі і з новими значеннями порядку включення елементів.

Сучасні контролери володіють також і вбудованими елементами постійної (FLASH) так і електрично перепрограмованої (EEPROM) пам'яті. Достатній обсяг пам'яті та невеликий обсяг даних для конфігурування дозволяє зберігати декілька можливих варіантів конфігурації.

Проте не тільки контролери серії ADuC 7000 мають в своєму складі програмовані логічні елементи. Так на рис. показана схема конфігурування внутрішньої структури для контролера PIC16F1507, а деякі інші показані в таблиці 1. Для конфігурування доступні логічні функції ТАК, АБО, НІ, R-S тригер.

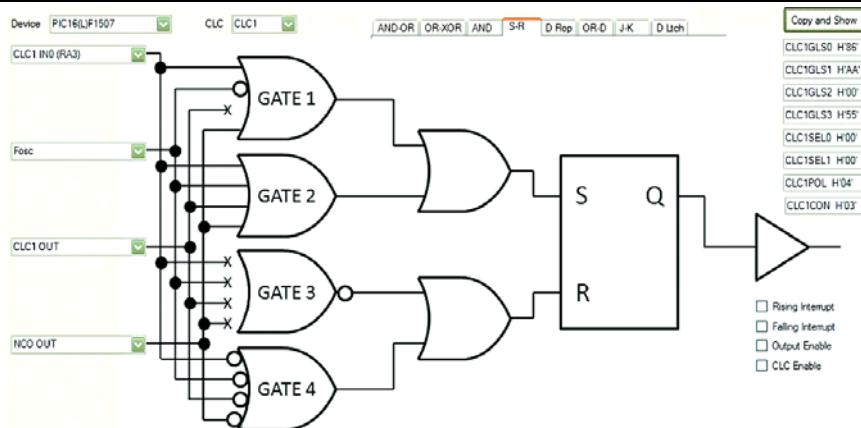


Рис. 5. Вікно утиліти конфігурації логічних осередків мікроконтролерів Microchip (середовище CLC Designer v.1.0.0.0)

Таблиця 1

Деякі PIC-мікроконтролери з логічними програмованими блоками [9, 10, 11]

Сімейство	АЦП, битий	Компаратор	ЦАП, битий	I/O, мА	ZCD	ШИМ, битий	COG	HLT
PIC1x(L) F150x	10	+	5	25		10		
PIC16(L) F161x	10	+	8	100	+	10		+
PIC16(L) F170x/1x	10	Швидкий	5/8	25	+	10	+	
PIC16(L) F176x	10	Швидкий	5/10	100	+	16	++	+
PIC16(L) F177x	10	Швидкий	5/10	100	+	16	+	+

Висновки

Наявність конфігурованих логічних елементів програмним чином дозволяє в динамічному режимі змінювати апаратну логіку обробки вхідних сигналів сучасним мікроконтролером для високошвидкісних датчиків. Поєднання мікроконтролера для виконання програмних дій та блоку конфігурованих логічних елементів для виконання апаратних дій дозволяє виконати розділення операцій для побудови конфігурованих датчиків. Оскільки швидкість роботи апаратної частини знаходиться на рівні роботи процесорного ядра, то це дозволяє не тільки знизити навантаження на програмну частину контролера, а також надає можливість обробляти події практично миттєво.

Література

1. Mark Balch. Complete Digital Design. McGraw-Hill. 2003. 481 P.
2. Schmalzel J.L., Rauth D.A. Sensors and signal conditioning // Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE. 2005. – Vol. 8. No 2. – P. 48–53.
3. Nauta Bram. Analog IC Design at the University of Twente // Solid-State Circuits Newsletter, IEEE. 2007. – Vol. 12. No 1. – P. 5–10.
4. Горященко К.Л. Використання самопрограмованих систем у конструюванні радіоелектронних засобів / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 194–196.
5. Аналогова мікросхемотехніка вимірювальних та сенсорних пристроїв / за ред. З. Готри, Р. Голяки. – Львів : Вид. Державного університету "Львівська політехніка", 1999. – 364 с.
6. Fraden J. Handbook of modern sensors: Physics, design, and applications. – Springer, 2004. – 580 p.
7. Горященко К.Л. Архітектура ARM як потенційна основа ґрид-інфраструктури наукової бази України / К.Л. Горященко, В.П. Нездоровін, Є. Г. Махрова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 1. – С. 204–208.
8. Precision Analog Microcontroller 12-bit Analog I/O, ARM7TDMI® MCU ADuC702x Series Preliminary Technical Data. – Analog Devices, 2005. URL: www.analog.com.
9. AN1271. Offline Power Converter for High-Brightness LEDs Using the PIC16HV785 Microcontroller. URL: www.microchip.com
10. TB3108. TRIAC Dimmable LED Driver Using PIC12HV752.
11. PIC12F752/HV752 Data Sheet (DS41576). URL: www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41576C.pdf

Рецензія/Peer review : 24.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 31.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.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 № 5 від 28.10.2016 р.**

Підп. до друку 28.10.2016 р. Ум.друк.арк. 29,67 Обл.-вид.арк. 28,22
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63