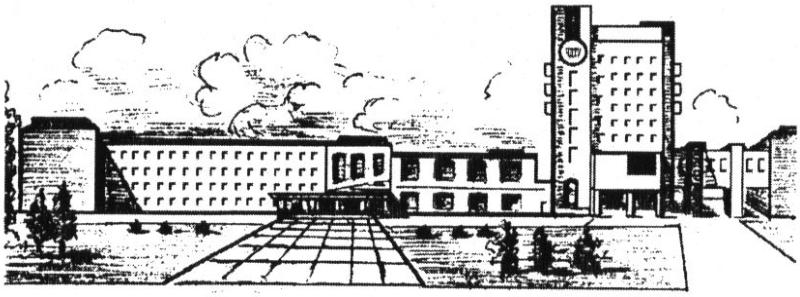
ISSN 2225-7551

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 4 (61)

Чернігів 2012

УДК 62/69+004
ББК 30/35
В53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 9 від 26.11.2012 р.). «Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» включено до нового переліку наукових фахових видань ВАК України, затвердженого постановою Президії ВАК України від 01.07.2010 р. № 1-05/5, Бюлетень ВАК України № 7, 2010.

Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : науковий збір-
В53 ник / Черніг. держ. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. держ. технол. ун-т, 2012. – № 4 (61). – 249 с.

У цьому випуску «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: механіки, механохімії, інтегрованих технологій машинобудування та автотранспорту, технологій зварювання, інформаційно-комп’ютерних технологій, енергетики. Статті написані науковцями, аспірантами, магістрантами та студентами і прорецензовані провідними вченими вищих технічних навчальних закладів та установ НАН України.

«Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» буде корисним для науковців різних галузей технічних наук, науково-технічних працівників, аспірантів, магістрантів та студентів вищих технічних навчальних закладів.

УДК 62/69+004
ББК 30/35

Головний редактор:
Казимир В.В., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи.
Заступник головного редактора:
Пилипенко О.І., доктор технічних наук, професор.
Члени редакційної колегії:
Болотов Г.П., доктор технічних наук, професор;
Волков І.В., доктор технічних наук, професор;
Денисов Ю.О., доктор технічних наук, професор;
Дубенець В.Г., доктор технічних наук, професор;
Дудла І.О., доктор технічних наук, доцент;
Кальченко В.І., доктор технічних наук, професор;
Кальченко В.В., доктор технічних наук, професор;
Литвинов В.В., доктор технічних наук, професор;
Сенько В.І., доктор технічних наук, професор;
Сиза О.І., доктор технічних наук, професор;
Скоробогатова В.І., доктор технічних наук, професор;
Харченко Г.К., доктор технічних наук, професор;
Чередніченко П.І., доктор технічних наук, професор.
Рецензенти:
Байдакова Л.І., доктор технічних наук, професор;
Бурачек В.Г., доктор технічних наук, професор;
Варламов Г.Б., доктор технічних наук, професор;
Воронцов О.Г., доктор технічних наук, професор;
Качан А.Я., доктор технічних наук, професор;
Кувшинов О.В., доктор технічних наук, професор;
Ляхов О.Л., доктор технічних наук, професор;
Місяць В.П., доктор технічних наук, професор;
Письменний А.С., доктор технічних наук, професор;
Размишляєв А.Д., доктор технічних наук, професор;
Ткаченко В.М., доктор технічних наук, професор;
Фурман І.О., доктор технічних наук, професор.

Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 14994-3966 ПР від 27.02.2009 р.

ISSN2225-7551

© Колектив авторів, 2012
© Чернігівський державний технологічний університет, 2012

ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

Пилипенко О.І., Полуян А.В. Комплексна автоматизація проектування ланцюгових передач 5

Горбатко О.О. Динамічні характеристики багатошарових в'язкопружних композиційних матеріалів криволінійної структури 15

Игнатенко П.Л. Влияние выбора диаметра кольца крутильной машины на производительность и величину паковки 21

Савченко О.В. Задачі топологічної оптимізації композитних елементів конструкцій із в'язкопружних матеріалів....26

Чабан В.В., Піпа Б.Ф. Динаміка пуску основов'язальної машини при попередньому напруженні в'язей привода 35

Гурей В.І. Моделювання динамічних процесів фрикційного зміцнення деталей машин....39

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

Білей П.В., Приставський Б.І. Опис конструкції виробничих установок для сушіння подрібненої деревини та методика визначення вологості....45

Тарасюк А.П. Влияние условий процесса резания на механические свойства анизотропных полимеров 49

Чередниченко П.И., Корниенко С.П. Моделирование процесса образования жидкой пленки на вращающемся диске....58

Березін Л.Я., Прибитько І.О. Сити, скло в будівництві і машинобудуванні та способи їх з'єднання....63

Голодюк Г.І. Дослідження адгезійної міцності та атмосферостійкості лакофарбових покриттів 70

Хребтань О.Б. Дослідження впливу спеціальної обробки на стійкість пофарбування пальтових вовняних тканин до дії штучного опромінювання 73

Цыганов В.В. Пути повышения эффективности гранульного абразивного материала трибологическими методами 77

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

Бондаренко С.Г., Борисов О.О., Чередніков О.М. Розмірний аналіз автомобільних карданних передач 86

Хоменко І. М., Кобринець А.К. Особливості теплового розрахунку дизеля, призначеного для роботи на біологічному паливі....92

РОЗДІЛ ІV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

Болотов М.Г. Параметри керування процесом нагріву при дифузійному зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом 101

Миронова М.В. О вращении капли на торце электрода при дуговой наплавке в продольном магнитном поле....106

Петриенко О.И. Номограммы для определения областей оптимальных режимов механизированной дуговой сварки сталей в защитных газах....110

Спихтаренко В.В., Лой С.А., Олексиенко С.В. Использование газа-заменителя при газопламенном напылении самофлюсующихся сплавов 114

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Литвинов В.В., МойсеєнкоО.П. Прийняття рішень при семантичному розборі текстового документа 119

Акименко А.М. Деякі аспекти застосування UML при розробці складних програмних систем 123

Зайцев С.В., Приступа В.В., ЯриловецьА.В. Інформаційна технологія побудови системи OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот в умовах впливу навмисних завад 131

Зацерковний В. І. Оцінка приросту інформації в процесі впровадження ГІС в управління територіями 140

Ковтун А.А., Рогоза А.В., Шоломий Ю.Е. Структура и превращение низкотемпературных дырочных центров в кристаллах KCl с примесью ионов натрия 147

Никитенко Е. В., Заровский Р.В., Сдитанов М.А. Автоматическая система поиска информации в текстах с использованием алгоритмов нечеткой логики 150

Шарий Т.В. Модель постобработки речевых сигналов FCAS 157

Корнага Я.І. Методи підвищення швидкості запису та пошуку даних у базах даних 166

Подоляка А.Н., Подоляка О.А., Скакалина Е.В. Эффективное решение задачи покрытия двудольного графа звездами и некоторых ее обобщений 172

Ігнатенков М.О. Монохромне представлення зображення поверхні та побудова «цифрової карти» для визначення її характеристик 180

Кудряшов А.А. Затухание радиоволн и беспроводные технологии построения промышленных сетей диапазона 2,4 ГГЦ 183

Kazymyr V., Tevkun M., DaviesJ. N., Comerford P. Comparison of the performance of IPv4 & IPv6 191

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

Денисов Ю. А., Степенко С. А. Входной ток разомкнутого корректора коэффициента мощности с квазирезонансным и обычным параллельными ключевыми элементами 197

Буйний Р.О. Обґрунтування області використання схем електричних з'єднань розподільних установок напругою 330-750 кВ системних підстанцій з елегазовими вимикачами і КРУЕ 203

Денисова Н.М. Оцінювання ступеня професійного ризику працівників електроенергетичних підприємств 208

Корнієнко І.В. Обґрунтування умов і сценаріїв геоінформаційного моделювання електромагнітного забруднення 213

Міщенко М.В. Автоматизація орієнтації на сонце геліоустановок та модулів сонячних електростанцій 219

Городній О.М., Гордієнко В. В., Чуб Б. І. Порівняльна оцінка енергетичної ефективності імпульсних перетворювачів з квазірезонансними та звичайними ключами за результатами моделювання 222

Кадомский К.К., Красников А.Л. Применение инкрементных методов кластеризации в задаче выделения режимов функционирования пароводяного тракта энергоблока СКД 231

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО "ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ. СЕРІЯ "ТЕХНІЧНІ НАУКИ" 242

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

УДК 621.855.001.24

О.І. Пилипенко, д-р техн. наук
А.В. Полуян, аспірант
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ

Представлений комплекс математичного забезпечення (методології, алгоритми і програми) для автоматизованого проектування ланцюгових передач з метою створення ланцюгових приводів високої динамічної якості. Подано опис застосовуваного математичного апарату. Представлені результати комп'ютерних експериментів для двох типів реальних ланцюгових передач, які працюють у складі технологічного комплексу бурякозбиральних машин. Показані переваги застосування деталей з полімерних композитів для отримання ланцюгових передач високої динамічної якості.

Ключові слова: *ланцюгові передачі, проектування, автоматизація.*

Представлен комплекс математического обеспечения (методологии, алгоритмы и программы) для автоматизированного проектирования цепных передач с целью создания цепных приводов высокого динамического качества. Дано описание применяемого математического аппарата. Представлены результаты компьютерных экспериментов для двух типов реальных цепных передач, работающих в составе технологического комплекса свеклоуборочных машин. Показаны преимущества применения деталей из полимерных композитов для получения цепных передач высокого динамического качества.

Ключевые слова: *цепные передачи, проектирование, автоматизация.*

The complex of the mathematical providing (methodologies, algorithms and programs) is presented for the automated projecting of chain transmissions with the purpose of creation of chain drives of high dynamic quality. Description of the applied mathematical apparatus is given. The results of computing experiments are presented on the PC for two types of the real chain transmissions, working in composition the technological complex of beet-lifting machines. Advantages of application of parts are shown from polymeric compos for the receipt of chain transmissions of high dynamic quality.

Key words: *chain transmissions, projecting, automation.*

Постановка проблеми. Одним з основних завдань машинобудування є розроблення формалізованих методів синтезу ланцюгових передач, що дасть можливість підвищити якість проектування і продуктивність праці проектувальника і конструктора під час застосування цих методів у системі автоматизованого проектування. Автоматизація розрахунків за переглянутими критеріями з метою локалізації і придушення динамічних навантажень не тільки радикально знизить трудомісткість, але і дозволить проводити імітаційне моделювання роботи ланцюгових передач на стадії проектування з метою оптимізації як конструктивних, так і експлуатаційних параметрів, що багатократно знизить час розроблення, собівартість, підвищить динамічну якість ланцюгових передач. Для цього необхідно створити спеціалізовані пакети прикладних програм, що забезпечать ефективне застосування чисельних методів аналізу й оптимального синтезу ланцюгових передач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В основу розроблення автоматизації оптимального синтезу роликових ланцюгових передач на ПК покладено результати і залежності, отримані в [1], побудовані за блоковим принципом модульного проектування у вигляді пакетів прикладних програм геометричного, силового й динамічного розрахунків, що склали комплексну методику автоматизованого оптимального проектування ланцюгових передач КМАОРСТ з практично будь-якою кількістю мас (від 2 до 24). Окремі удосконалені фрагменти комплексної методики опубліковані в [3; 4; 5; 6; 7], де здійснений перехід на більш сучасні мови програмування [3], показані приклади роботи програм [4; 5; 6] та введені програми оптимізації параметрів [7].

Мета статті. Представити комплекс програм математичного забезпечення автоматизованого проектування ланцюгових передач з метою створення ланцюгових приводів високої динамічної якості та показати приклади застосування розроблених програм.

Комплексна методика автоматизованого оптимального синтезу ланцюгових передач

1. Програма оптимального структурного синтезу ланцюгових передач. Розрахунок геометричних параметрів ланцюгових передач базується на методі, викладеному в [2] і призначеному для проектування ланцюгових передач з єдиними параметрами, що забезпечують мінімальні динамічні навантаження, підвищену кінематичну точність і рівномірність руху. При цьому автоматично обмежується число міжосьових відстаней і довжин ланцюгового контуру за рахунок застосування оптимальних їх значень. Суть методу полягає в тому, що розрахунок і побудова елементів ланцюгової передачі відбуваються за оптимальною кінематичною схемою з обов'язковою умовою: центри елементів зачеплення ланцюга збігаються з центрами западин зубців кожної пари суміжних зірочок у точках дотику їх ділильних кіл з віссю ведучої вітки, а її довжина завжди кратна кроку ланцюга. Здійснений у програмі геометричний розрахунок і структурна оптимізація багатомасових ланцюгових передач позбавлені тих недоліків, які мали місце в [2] (наближені обчислення кінематичних поправок, які зводять нанівець правильний підхід), хоча в принципі засновані на тому ж критерії оптимальності, який відрізняється від відомих раніше, що відображає дійсне розташування ланок ланцюгового контуру по багатокутнику зірочок, а не по колу, як це прийнято в усіх відомих літературних джерелах (як вітчизняних, так і зарубіжних) з проектування ланцюгових передач.

Використання блоку GEOM [3] дозволяє розраховувати довжини віток, кути синфазності, сумарну довжину ланцюга. Отримані дані використовуються в подальшому як для перевірки розрахунків по програмі KAOPCD (обчислення термінів служби по втомній міцності пластин і роликів), так і для розрахунку динамічних характеристик ланцюгових передач по програмі DINAM. В автономному режимі блок використовується під час конструювання ланцюгових передач. Програмою передбачено розрахунок діаметрів зірочок, їх міжосьових відстаней, довжин сполучених віток ланцюга, кутів синфазності і перетину осей. Незалежно від зміни конфігурації багатокутника, утвореного лініями міжосьових відстаней і кутів перетину, центри елементів зачеплення ланцюга будуть завжди залишатися в точках дотику крокових ліній з ділильним колом зірочок. Це дає можливість конструктору вибрати оптимальну кінематичну схему, виходячи з основних параметрів передачі (міжосьових відстаней, довжин сполучених віток ланцюга з цілими числами ланок і кутів синфазності). Крім того, до блоку GEOM входить підпрограма оптимізації об’єму ланцюгової передачі OPTVOL, що дає можливість конструктору мінімізувати її габарити.

Автоматичний розрахунок ланцюгового контуру передачі від барабана до приводу шнекового транспортера навантажувача СПС-4,2 наведено на рисунку 1.

2. Програма силового розрахунку ланцюгової передачі. Блок процедури силового розрахунку ланцюгової передачі SILRAS розроблений як один з блоків, що входять у комплекс автоматизованого оптимального проектування ланцюгових передач КМАОРСТ, і містить підпрограму перевірочного розрахунку модульної (двомасової) передачі по втомній міцності пластин, роликів і зносостійкості шарнірів PROV-R. Передбачені автоматичний і діалоговий режими розрахунку. Для підібраного ланцюга проводиться перевірочний розрахунок на статичну міцність за максимальним значенням натягу ведучої вітки.

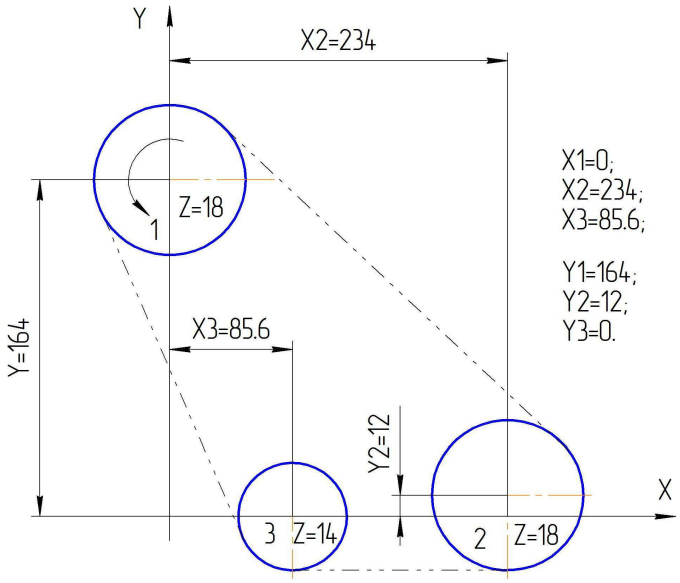


Рис. 1. Ланцюгова передача від барабана до привода шнекового транспортера навантажувача СПС-4,2

Підпрограма IZMUSL здійснює процедуру оперативної зміни конструктивних параметрів під час виконання програми і містить індикатор автоматичної зміни параметрів IND-AVT-IZM, за допомогою якого можна, наприклад, автоматично змінити тип ланцюга, але якщо він не підходить – автоматично збільшується його рядність. Якщо ж при максимальній рядності і це не приводить до успіху, слід переходити на ручну зміну параметрів. При цьому автоматична зміна параметрів задається рівною 1, а ручна – 0. Крім перерахованих, використовуються такі підпрограми: PR-SM – перевірка правильності вибору способу змащення; USKTIP – установка коду типу ланцюга: 1 – для ланцюгів типу ПВ; 2 – для ланцюгів типу ПРЛ; 3 – для ланцюгів типу ПР, 4 – для ланцюгів типу ПРД; 5 – для ланцюгів типу ПРИ; USKRYA – установка коефіцієнта рядності ланцюга: 1 – однорядний; 0,9 – дворядний; 0,85 – трирядний; 0,8 – чотирирядний. Якщо в автоматичному режимі досягається максимальна рядність, то здійснюється перехід до ручного режиму зміни параметрів. GOST – задавання масиву ланцюгів за ГОСТ 13568-75.

Для процедури введення і перевірки вихідних даних служить підпрограма VVODPR, що включає такі вихідні дані: 1. Кількість зірочок у ланцюговому контурі – N; 2. Координати центрів розташування зірочок, (мм) – x_1, y_1, …, x_n, y_n; 3. Частоти їх обертання, (хв$^{-1}$) – n_i; 4. Код розташування зірочок щодо ланцюгового контуру – p_i: 1 – якщо зірочка знаходиться всередині контуру; 0 – якщо вона – ззовні контуру; 5. ГОСТ профілю зубців – G, задається рівним 69, якщо зірочка виконана за ГОСТ 591-69 і 75, якщо вона виконана за ГОСТ 532-75; 6. Коефіцієнт експлуатації – Kj; 7. Рядність ланцюга – m; 8. Коефіцієнт способу змащення – K_C; 9. Потужності на валах зірочок (кВт) – N_i; 10. Термін служби (години) – C; 11. Код типу ланцюга – $K_ц$.

Під час роботи програми в діалоговому режимі зміна параметрів здійснюється конструктором у відповідь на запит "Введіть код зміни". Запит видається програмою при неможливості забезпечення заданих умов. При автоматичній зміні параметрів у зазначеній ситуації відбувається перехід до пошуку серед ланцюгів іншого типу, а після вичерпання всього масиву ланцюгів заданої рядності – підвищення рядності ланцюга.

Щодо силового розрахунку зірочок, то він реалізований за допомогою проблемно-орієнтованої обчислювальної системи "Темп" [1]. Для розрахунку впливу типу зірочок на динамічні характеристики ланцюгової передачі в програму КМАОРСТ вводяться їхні матеріали, приведені маси і жорсткості (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку ланцюгової передачі навантажувача

Кількість гармонік	Крок ланцюга (мм)	Кутова швидкість обертання (рад/с)	Синфазність	Крок за часом (с)	Період зачеплення	Початковий зсув за часом (с)
10	25,400	481,300	0,5	0,000400	0,013000	0,0

Номер зірочок, матеріал	Жорсткість вітки (Н/мм)	Маса (кг)	Число зубців	Зсув по фазі (рад)
1 (метал)	15405,7	50,0	18	0,00
2 (метал)	28450,4	88,40	18	0,00
3 (метал)	23271,2	1,21	14	0,00
1 (полімер)	15405,7	50,0	18	0,00
2 (полімер)	6578,9	88,40	18	0,00
3 (полімер)	6253,9	0,80	14	0,00

3. Програма динамічного розрахунку ланцюгової передачі. Для детального розрахунку динаміки ланцюгових передач розроблена автономна програма DINAF, в результаті застосування якої отримують такі динамічні характеристики: 1. Квадрат кругової частоти, кругову і циклічну частоти (в Гц) власних коливань і їх відносні амплітуди (табл. 2). Прирівнюючи ці частоти до частот обертання зірочок, можна завжди перевірити ланцюгову передачу на потрапляння у зону резонансних частот обертання. За відносними амплітудами будуються форми власних коливань [4]. 2. Лінійні амплітуди коливань (мм). 3. Динамічні навантаження у вітках ланцюгового контуру в Н. 4. Інерційні динамічні навантаження обертових мас в Н. 5. Динамічні нерівномірності обертання зірочок у відсотках.

Таблиця 2

Результати розрахунку частот ланцюгової передачі навантажувача

Номер зірочок, матеріал	Квадрат колової частоти	Колова частота (кол/с)	Циклічна частота (Гц)
1 (метал)	0,09	0,31	0,05
2 (метал)	568925,25	932,16	148,36
3 (метал)	42531328,00	6521,60	1037,95
1 (полімер)	0,0	0,0	0,0
2 (полімер)	572232,44	756,40	120,39
3 (полімер)	63003232,00	7937,40	1263,29

Вихідними даними для розрахунку є (табл. 1): 1. Кількість зірочок – *N*. 2. Кількість гармонік *к*. 3. Крок, мм – *T*. 4. Частота збурення ω_z, $с^{-1}$ – *OM*. 5. Синфазність – *J*. 6. Крок за часом, с – *TAH*. 7. Період зачеплення, с – *TAK*. 8. Початковий зсув за часом, с – *HTA*. 9. Жорсткості віток, Н/мм – *AL*. 10. Приведені маси, кг – *AM*. 11. Число зубців зірочок – *z*. 12. Зсув по фазі, рад. – *AKS*. Для роздруківки вихідних даних служить підпрограма RASIDG.

Як випливає з динамічних характеристик [1], всі вони залежать від величини обертових мас і жорсткостей віток. Таким чином, шляхом застосування зірочок з полімерних композиційних матеріалів ми отримуємо засіб регулювання коливань у динамічній системі ланцюгової передачі за рахунок зміни її мас і жорсткостей.

Вплив мас на зміну динамічних характеристик, як правило, менш ефективний, тому що найчастіше у величину приведеної до осі вала маси входить, крім маси самої зірочки і мас віток, маса ротора електродвигуна або частина маси виконавчого органу машини. З точки зору жорсткості, введення в ланцюговій контур зірочок з полімерного

композиційного матеріалу рівносильно введенню в нього пружних елементів, тобто при заміні металевих зірочок полімерними, крім зміни мас, змінюються жорсткості віток за рахунок податливості зубців і полімерних зубчастих вінців у цілому. Як змінюються максимальні значення динамічних навантажень у вітках ланцюгового контуру, інерційних динамічних навантажень і динамічної нерівномірності обертання при введенні в ланцюговій контур натяжної зірочки з поліаміду ПА6-210КС покажемо на прикладі ланцюгової передачі навантажувача СПС-4,2 (рис. 2, 3, 4, табл. 3).

Цікаво відзначити, що коливання динамічних навантажень всіх трьох віток ланцюгового контуру відбувається в одній фазі (рис. 2). Криві другої і третьої віток майже збігаються, відображаючи той факт, що це фактично одна вітка, розділена натяжною зірочкою, яка обертається, не передаючи потужності. Крім того, видно різке зниження динамічних навантажень в усіх трьох вітках ланцюгового контуру після застосування натяжної зірочки зі склонаповненого поліаміду. Щодо інерційних навантажень приведених мас (рис. 3), то перша і друга маси коливаються в протифазі, зниження динамічних навантажень у них не таке велике, як у вітках ланцюгового контуру, а ось третя маса (власне натяжна зірочка) демонструє зменшення динамічних навантажень майже до нуля. Динамічні нерівномірності обертання зірочок теж знижуються (рис. 4), особливо це стосується саме натяжної зірочки зі склонаповненого поліаміду, яка встигає зробити два коливання замість одного у випадку застосування металевої натяжної зірочки.

У таблиці 3 представлено порівняння максимальних величин динамічних навантажень у вітках ланцюгового контуру, інерційних навантажень приведених мас і динамічної нерівномірності обертання зірочок.

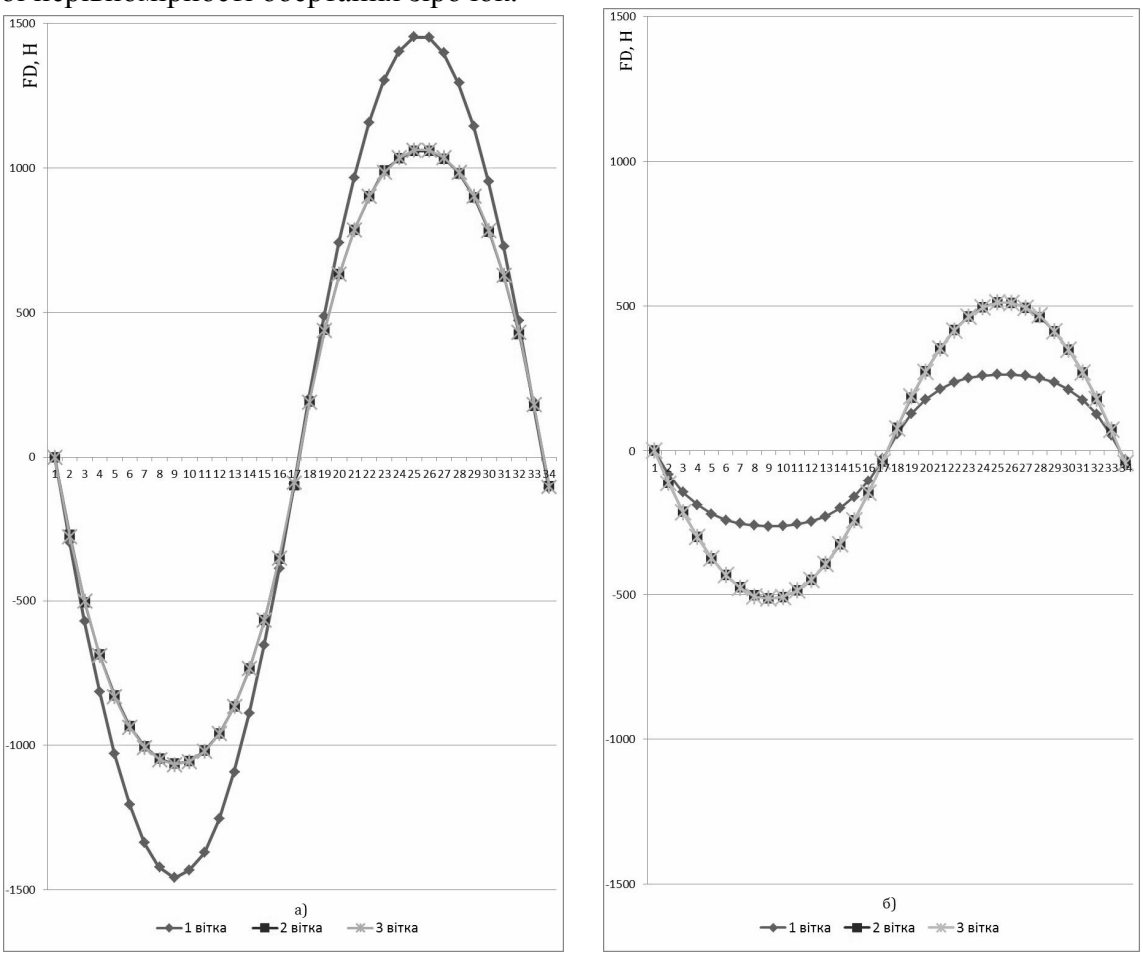


Рис. 2. Динамічні навантаження у вітках ланцюгового контуру, Н:
а) у металевому виконанні; б) у полімерному виконанні

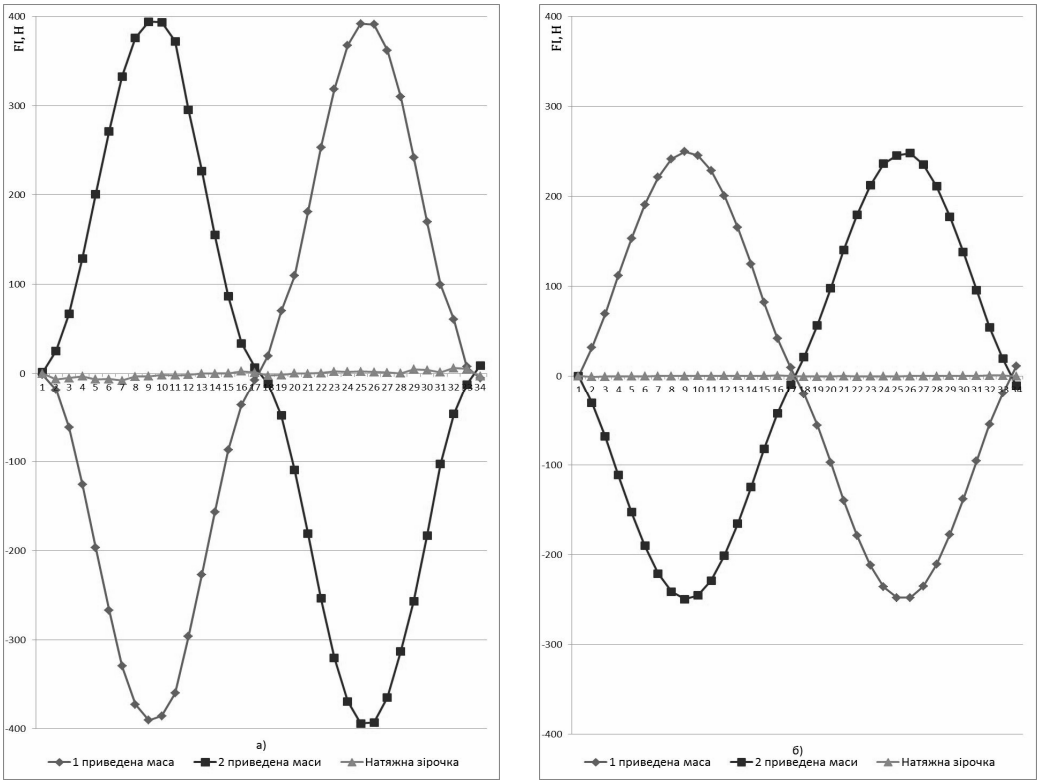


Рис. 3. Інерційні динамічні навантаження приведених мас, Н:
а) у металевому виконанні; б) у полімерному виконанні

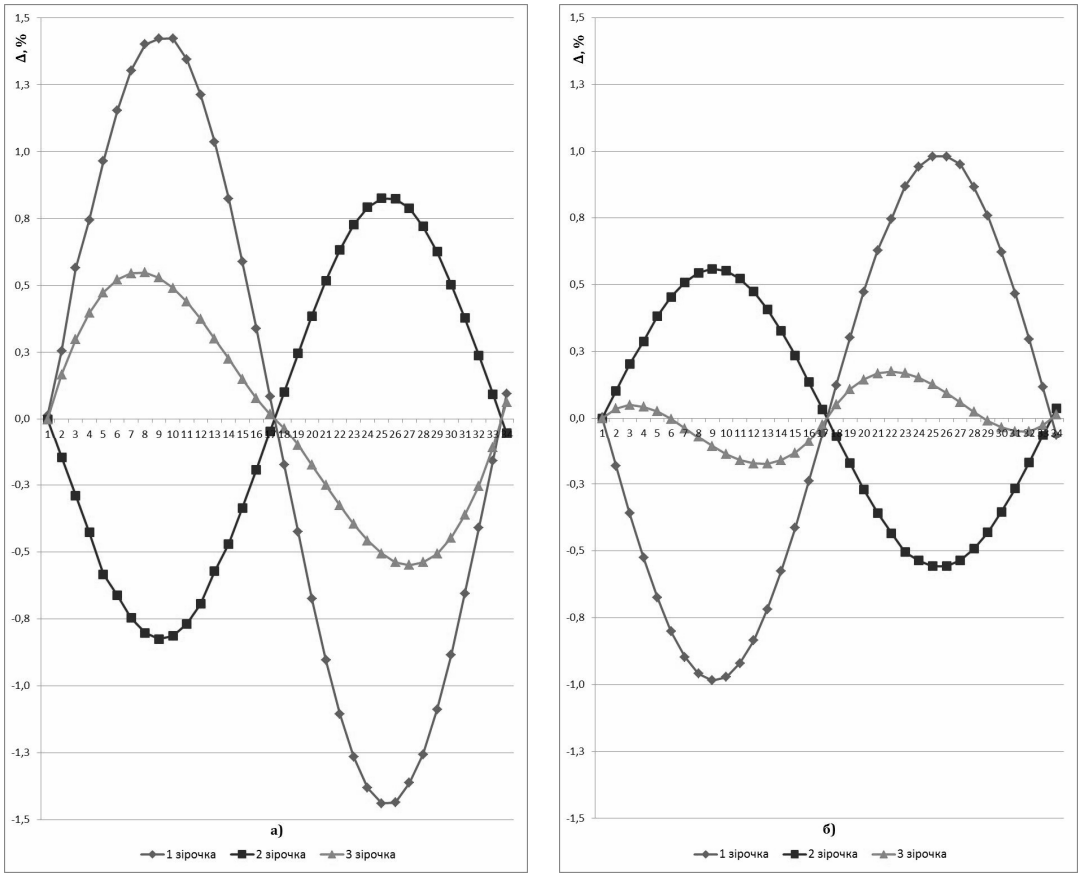


Рис. 4. Динамічні нерівномірності обертання зірочок,%:
а) у металевому викнаннні; б) у полімерному виконанні

Таблиця 3

Динамічні характеристики ланцюгової передачі

Характеристика	Номер вітки або зірочки	Ланцюговий контур на металевих зірочках	Натяжна зірочка з поліаміду ПА6-210 КС
Динамічні навантаження у вітках ланцюгового контуру, Н	1	1453,47	264,24
	2	1063,34	513,83
	3	1066,61	513,74
Інерційні динамічні навантаження обертових мас, Н	1	391,72	249,49
	2	393,98	249,59
	3	7,86	0,71
Динамічні нерівномірності обертання, %	1	1,44	0,98
	2	0,83	0,56
	3	0,55	0,17

Як видно з таблиці 3, у результаті застосування полімерної натяжної зірочки максимальні динамічні навантаження у 1-й (ведучій) вітці ланцюгового контуру знизилися у 5,5 рази, у 2-й (веденій) – у 2,06 рази, у 3-й – у 2,07 рази. Максимальні величини інерційних динамічних навантажень: 1-ої (ведучої) зірочки – в 1,57 рази, 2-ої (веденої) − в 1,58 рази, 3-ої (натяжної) – в 11 разів. Динамічна нерівномірність обертання: 1-ї (ведучої) приведеної маси – в 1,45 рази, 2-ї – в 1, 48 рази, 3-ї – в 3,2 рази. Таким чином, натяжна зірочка (z_3=14) грає роль динамічного гасителя коливань у ланцюговому контурі [5], про що свідчить зниження максимальних динамічних навантажень.

Застосуванням приводних зірочок з полімерних композиційних матеріалів можна домогтися ще більшого ефекту. Однак слід при цьому мати на увазі, що без попереднього динамічного розрахунку "сліпа" заміна всіх металевих зірочок на полімерні може призвести до такої неузгодженості коливальної системи, якою є ланцюгова передача, що замість покращення динамічної якості системи отримаємо зворотний результат. Зниження динамічних навантажень можна здійснити, варіюючи обертовими масами (наприклад, монтуючи на один з валів додаткову масу) або жорсткостями (збільшенням або зменшенням довжин віток ланцюгового контуру, застосуванням більш податливих або жорстких матеріалів для виготовлення зірочок). При цьому збільшення мас зменшує власну частоту системи, а збільшення жорсткостей її збільшує. Імітаційне моделювання роботи ланцюгової передачі на ПК показало, що найбільший вплив на частоту власних коливань здійснює зміна найбільш віддалених від ведучої мас і найближчих до неї жорсткостей.

4. Автоматизована побудова карт динамічної навантаженості та динамічного налагодження ланцюгових передач. Існуючі методи монтажу і налагодження ланцюгових передач, зокрема, визначення місця розташування натяжного елемента (зірочки або ролика) не забезпечують мінімізації динамічних навантажень, тому що налагодження передачі до цього часу відбувалося шляхом регулювання натягу віток ланцюгового контуру нерухомої передачі, тобто в статиці. В реальних же умовах динамічного навантаження, тобто під час руху натяги віток перерозподіляються, і тому стає актуальним завдання оптимізації розташування натяжного елемента з метою мінімізації амплітуд коливань і динамічних навантажень. Поставлене завдання вирішується за допомогою автономного блока побудови карт динамічної завантаженості і налагодження ланцюгової передачі SET [6], що працює в діалоговому режимі.

Вибираються і друкуються середні значення ліній рівнів відповідних динамічних характеристик і погрішність цих рівнів. Після цього будується карта динамічної завантаженості ланцюгової передачі [6].

У результаті отримуємо карти розподілення динамічних характеристик для кожної вітки або обертової маси у межах дільниці, що дає можливість конструктору бачити, як

змінюються динамічні характеристики під час варіювання місцем розташування натяжної зірочки, і вибрати таке її розташування, при якому всі динамічні характеристики або частина з них (що залежить від вибраного критерію оптимізації) мінімізуються. Використання програми SET дозволяє здійснити динамічне налагодження ланцюгової передачі та уникнути важко формалізуємої ув'язки різнорідних критеріїв її оптимізації (структура, матеріаломісткість, довговічність і рівень динамічної навантаженості).

5. Комплекс автоматизованого оптимального проектування ланцюгових передач. Оптимальний синтез роликових ланцюгових передач базується на програмі вибору їх основних конструктивних і функціональних параметрів КМАОРСТ з підпрограмами DINAM та OPTPARAM, що до неї входять. Розрахунок приведених мас здійснюється без врахування мас зірочок, а маса зірочок розраховується в підпрограмі залежно від їх діаметрів і застосовуваних матеріалів. Маси віток ланцюгового контуру враховуються шляхом розподілу по 1/3 по приведених обертових масах відповідних зірочок. У підпрограмі передбачено використання трьох видів матеріалів зірочок: металу (сталь, чавун) – М, ненаповнених поліамідів (ПА-6, ПА-6,6) – П, і цих же поліамідів, наповнених скляними волокнами (ПА6-210 КС, ПА-6, 6 КС та ін.) – С. За необхідності введення іншого матеріалу (наприклад, поліамідів, наповнених вуглецевими або базальтовими волокнами, сополімеру формальдегіду з діоксоланом СФД та ін.) треба відкоригувати масиви жорсткостей і густин матеріалів (С-МАТ і PLOTN) у програмі КМАОРСТ і ввести код матеріалу в підпрограму OPRIM.

За допомогою підпрограми MAXVS знаходяться максимальні значення лінійних амплітуд коливань XX, мм (тобто поздовжні видовження віток ланцюгового контуру), динамічних навантажень у вітках ланцюгового контуру FD, Н, інерційних навантажень приведених мас FI, Н і їх середньоквадратичні значення (рис. 5-7). Проводиться друк цих динамічних характеристик, позначення підібраного ланцюга (наприклад, ПР-25,4-6000), його довжина в мм і в кроках (число ланок у контурі), термін служби в годинах. Обчислюється і виводиться на друк інтегральний критерій динамічної якості ланцюгової передачі – коефіцієнт динамічності. Друкуються координати розташування зірочок у ланцюговому контурі відповідно до їх номерів за годинниковою стрілкою, починаючи з ведучої зірочки, їх діаметри, кількість зубців і положення відносно контуру (всередині – 1, ззовні – 0). Якщо коефіцієнт динамічності передачі значно перевищує одиницю, слід повторити процедуру.

Програма OPTPARAM призначена для оптимізації ланцюгової передачі по параметричній функції, що містить максимальні довговічність, ККД і опір зношуванню [7].

Далі представлені рисунки 5-7: 1СПС, коли застосовуються всі металеві зірочки; 2СПС, де застосовуються ведуча і ведена зірочки з металу, а натяжна зірочка – зі склонаповненого поліаміду; 3СПС, коли застосовується натяжна зірочка з ненаповненого поліаміду ПА-6.

Як ілюстрації ефективності застосування розробленої методики наведено розрахунки ланцюгового привода шнекового транспортера навантажувача, оснащеного металевими зірочками (базовий варіант), натяжною зірочкою зі склонаповненого поліаміду ПА 66-КС (рис. 6, 2СПС матеріал позначений літерою "С") і натяжною зірочкою з ненаповненого поліаміду ПА-6 (рис. 7, 3СПС матеріал позначений буквою "П").

Якщо заданий ланцюг типу ПРЛ (код 2, рис. 5) з кроком 25,4 мм (як це має місце в базовому варіанті), ПК видає мінімальний діаметр ведучої зірочки в межах 153,24-160,25 мм, тобто більше ніж у базовому варіанті (там D_1 = 146 мм при z_1 = 18). Якщо за основу взяти базовий варіант, тобто зберегти кількість зубців ведучої зірочки, то ланцюг ПРЛ не проходить по геометричній характеристиці F_1 (вона дорівнює 80,46 мм^2) і втомній міцності роликів та пластин ланцюга (швидкість ланцюга V = 1,97 м/с більше допус-

тимої, яка дорівнює 1,88 м/с). Тому встановлюється код типу ланцюга 3 (що відповідає ланцюгу типу ПР). Тоді геометрична характеристика F_1 знижується до значення 67,02 мм^2, і таким чином працездатність ланцюгової передачі протягом 2400 годин (заданий термін служби) забезпечується. ПК приступає до динамічного розрахунку і після нього видає тип і крок ланцюга, його довжину (округлену до цілого числа 1067 мм проти точного 1066,8 мм в автономній програмі GEOM), число ланок ланцюга (42), термін служби (2400 годин), максимальне середньоквадратичне значення динамічного навантаження (803,9 Н) і коефіцієнт динамічності передачі (1,31). Потім видається таблиця з остаточними значеннями координат центрів розташування зірочок, їх діаметрів, кількості зірочок і їх розташування в контурі (всередині контуру або ззовні).

При тих же вихідних даних, але з натяжною зірочкою зі склонаповненого поліаміду (рис. 6) коефіцієнт динамічності знижується до 1,28, а якщо застосувати поліамід ПА-6 з більш в'язкою характеристикою (рис. 7), то цей коефіцієнт знижується до 1,13. Як уже згадувалося, цей коефіцієнт служить критерієм динамічної якості ланцюгової передачі: чим він менший, тим вища якість спроектованої передачі.

Остаточно роздруковуються: позначення вибраного ланцюга, його довжина в мм і кроках (число ланок), термін служби, середньоквадратичне значення динамічного навантаження у вітках ланцюгового контуру і коефіцієнт динамічності передачі; далі роздруковуються номера зірочок та координати їх розташування, їхні діаметри, кількість зубців та положення в ланцюговому контурі.

Установлено ручное изменение параметров

1 СПС

Число звёздочек – 3
Координаты их центров:
1 0,000 164,000
2 234,000 12,000
3 85,600 0,000
Частоты их вращения:
1 255,470
2 255,470
3 328,460
Массив их расположения
1 1 1
Профиль по ГОСТ 591-69
Коэффициент эксплуатации – 1,400
Количество рядов цепи = 1
Коэффициент смазки – 1,800
Мощность 7 6 0
Срок службы = 2400
Тип цепи 2
F1 = 80,46

Установлен код типа цепи 3

Установлена рядность цепи 1

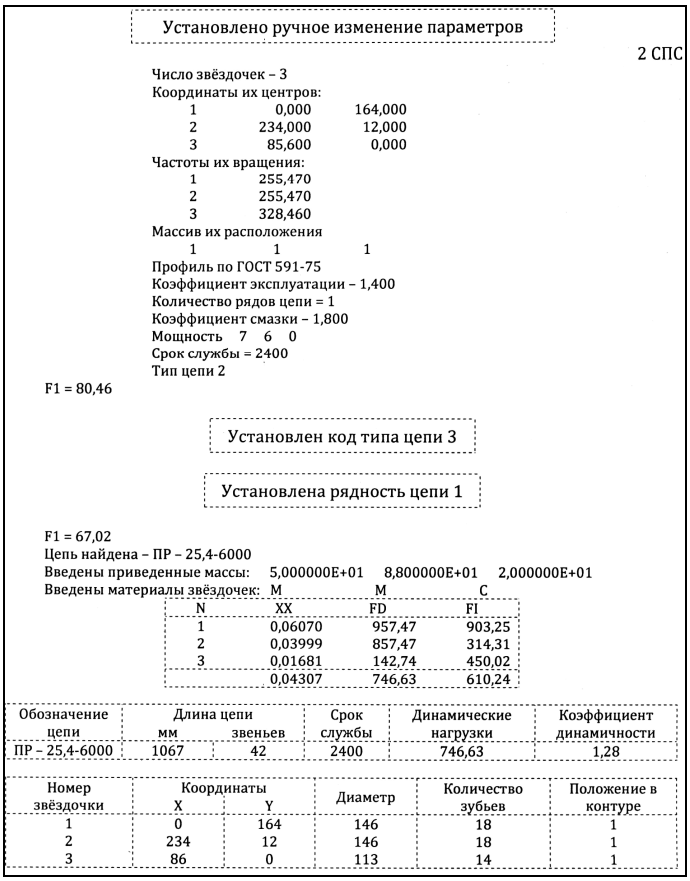
F1 = 67,02
Цепь найдена – ПР – 25,4-6000
Введены приведенные массы: 5,000000E+01 8,800000E+01 1,209999E+01
Введены материалы звёздочек: M M M

N	XX	FD	FI
1	0,06566	1037,41	949,20
2	0,04122	907,90	325,83
3	0,01835	195,90	316,27
	0,04599	803,92	651,58

Обозначение цепи	Длина цепи мм	Длина цепи звеньев	Срок службы	Динамические нагрузки	Коэффициент динамичности
ПР – 25,4-6000	1067	42	2400	803,92	1,31

Номер звёздочки	Координаты X	Координаты Y	Диаметр	Количество зубьев	Положение в контуре
1	0	164	146	18	1
2	234	12	146	18	1
3	86	0	113	14	1

Рис. 5. Роздруківка результатів розрахунку 1СПС підпрограми MAXVS



Установлено ручное изменение параметров

2 СПС

Число звёздочек – 3
Координаты их центров:
1 0,000 164,000
2 234,000 12,000
3 85,600 0,000
Частоты их вращения:
1 255,470
2 255,470
3 328,460
Массив их расположения
1 1 1
Профиль по ГОСТ 591-75
Коэффициент эксплуатации – 1,400
Количество рядов цепи = 1
Коэффициент смазки – 1,800
Мощность 7 6 0
Срок службы = 2400
Тип цепи 2
F1 = 80,46

Установлен код типа цепи 3

Установлена рядность цепи 1

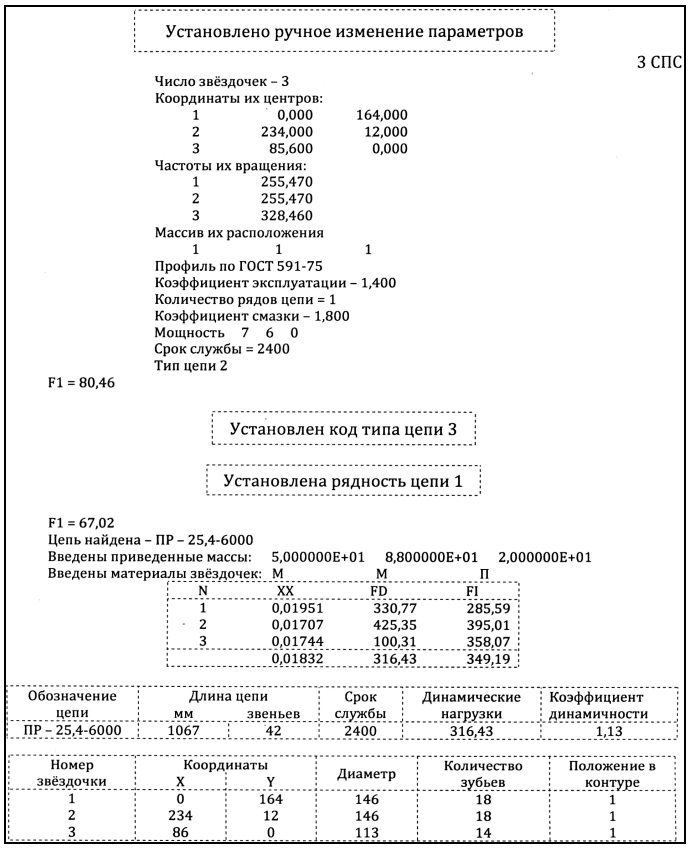
F1 = 67,02
Цепь найдена – ПР – 25,4-6000
Введены приведенные массы: 5,000000E+01 8,800000E+01 2,000000E+01
Введены материалы звёздочек: M M C

N	XX	FD	FI
1	0,06070	957,47	903,25
2	0,03999	857,47	314,31
3	0,01681	142,74	450,02
	0,04307	746,63	610,24

Обозначение цепи	Длина цепи мм	Длина цепи звеньев	Срок службы	Динамические нагрузки	Коэффициент динамичности
ПР – 25,4-6000	1067	42	2400	746,63	1,28

Номер звёздочки	Координаты X	Координаты Y	Диаметр	Количество зубьев	Положение в контуре
1	0	164	146	18	1
2	234	12	146	18	1
3	86	0	113	14	1

Рис. 6. Роздруківка результатів розрахунку 2СПС підпрограми MAXVS



Установлено ручное изменение параметров

3 СПС

Число звёздочек – 3
Координаты их центров:
1 0,000 164,000
2 234,000 12,000
3 85,600 0,000
Частоты их вращения:
1 255,470
2 255,470
3 328,460
Массив их расположения
1 1 1
Профиль по ГОСТ 591-75
Коэффициент эксплуатации – 1,400
Количество рядов цепи = 1
Коэффициент смазки – 1,800
Мощность 7 6 0
Срок службы = 2400
Тип цепи 2
F1 = 80,46

Установлен код типа цепи 3

Установлена рядность цепи 1

F1 = 67,02
Цепь найдена – ПР – 25,4-6000
Введены приведенные массы: 5,000000E+01 8,800000E+01 2,000000E+01
Введены материалы звёздочек: M M П

N	XX	FD	FI
1	0,01951	330,77	285,59
2	0,01707	425,35	395,01
3	0,01744	100,31	358,07
	0,01832	316,43	349,19

Обозначение цепи	Длина цепи мм	Длина цепи звеньев	Срок службы	Динамические нагрузки	Коэффициент динамичности
ПР – 25,4-6000	1067	42	2400	316,43	1,13

Номер звёздочки	Координаты X	Координаты Y	Диаметр	Количество зубьев	Положение в контуре
1	0	164	146	18	1
2	234	12	146	18	1
3	86	0	113	14	1

Рис. 7. Роздруківка результатів розрахунку 3СПС підпрограми MAXVS

Висновки. Комплекс автоматизованого оптимального проектування КМАОРСТ дозволяє конструктору, працюючи в діалоговому режимі з ПК, побудувати ланцюговий контур, що містить від 2 до 24 мас (зірочок), що задовольняє як технічним завданням, так і вимогам оптимального проектування: мінімальній вартості, матеріаломісткості, ваги і високої динамічної якості приводу. Програма дозволяє здійснити імітаційне моделювання роботи ланцюгових передач на ПК, що забезпечує швидкий і всебічний аналіз впливу різних параметрів: координат розташування центрів зірочок, частот їх обертання, умов експлуатації, типу і рядності ланцюга, способу змащування, потужності, що передається, терміну служби, величин приведених мас і застосовуваних матеріалів. Робота програми може бути задана в діалоговому й автоматичному режимі. При конструюванні ланцюгових передач в умовах жорстких обмежень найбільш доцільний діалоговий режим, тому що його використання дозволяє пов'язати більшість критеріїв, які складно формалізувати. Тривалість розрахунку залежить в основному від часу, витраченого конструктором на прийняття рішень, і займає, зазвичай, у середньому 7-10 хвилин. Застосування програми позбавляє конструктора від безлічі розрахунків, надаючи йому інформацію про наслідки можливих змін у конструкції передачі, дозволяє різко підняти продуктивність праці та якість одержуваних проектів.

Список використаних джерел

1. Пилипенко О. И. Научные основы и синтез цепных передач: дис. … д-ра техн. наук / О. И. Пилипенко. – Х.: ХГПУ, 1996. – 467 с.
2. Готовцев А. А. Проектирование цепных передач / А. А. Готовцев, И. П. Котенок // Машиностроение. – М., 1982. – 336 с.
3. Пилипенко О. І. Автоматизований геометричний розрахунок ланцюгової передачі / О. І. Пилипенко, А. І. Роговенко // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки". – 2001. – № 12. – С. 29-34.
4. Пилипенко О. І. Динаміка багатомасової ланцюгової передачі під час усталеного режиму її роботи / О. І. Пилипенко // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки". – 2010. – № 42. – С. 35-44.
5. Пилипенко О. І. Порівняльна динаміка ланцюгової передачі, оснащеної металевою і полімерною натяжними зірочками / О. І. Пилипенко // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки". – 2009. – № 40. – С. 56-62.
6. Пилипенко О. І. Динамічна настройка роликових ланцюгових передач / О. І. Пилипенко // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки". – 2002. – № 15. – С. 35-38.
7. Оптимізація ланцюгової передачі по параметричній функції, що містить максимальні довговічність, ККД і опір спрацюванню / О. І. Пилипенко, О. О. Борщов, А. П. Степенко, І. Ф. Козар // Вісник ЧДТУ. Машинобудування. Електроніка. – 1997. – № 3. – С. 75-84.

УДК 539.3:534.1

О.О. Горбатко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАГАТОШАРОВИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ КРИВОЛІНІЙНОЇ СТРУКТУРИ

Досліджено вплив криволінійної структури на динамічні характеристики багатошарових композиційних матеріалів за допомогою енергетичного методу.

***Ключові слова**: композиційні матеріали, криволінійні шари, декремент коливань.*

Исследовано влияние криволинейной структуры на динамические характеристики многослойных композиционных материалов с помощью энергетического метода.

***Ключевые слова**: композиционные материалы, криволинейные слои, декремент колебаний.*

The influence of the curvilinear structure on dynamical characteristics of multilayer composite materials with help of the energy method is investigated.

***Key words**: composite materials, curvilinear layers, decrement of fluctuations.*

Постановка проблеми. Багатошарові композиційні матеріали набули широкого використання у промисловості, зокрема в авіації і космічній техніці. При проектуванні

авіаційних і транспортних конструкцій з композиційних матеріалів у багатьох випадках постає проблема зниження рівня вібрацій, а отже, збільшення рівня розсіяння енергії. Збільшення розсіяння енергії в композиційних матеріалах досягається зміною багатьох факторів форми, зокрема, схеми або структури армування. Властивості багатошарового композиційного матеріалу залежать від кількість шарів, їх геометричного розміщення і структурних характеристик. Отже, важливим фактором при дослідженні демпфірування таких матеріалів, що впливає на вихідні характеристики, є можливість корегування структури на етапах розроблення і проектування. Зміна структурних параметрів окремих складових значно впливає на ефективні характеристики всього матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для дослідження рівня розсіяння енергії в композиційних матеріалах широко використовуються динамічні характеристики, що містять пружні і дисипативні властивості матеріалів.

Пружні сталі багатошарових композитів з випадковими початковими нерівностями визначались у роботі [1]. В наведеній моделі багатошарового середовища розглядалися армуючі шари з малим відсотком викривлення. Товщини армуючих шарів і шарів матриці були малі, порівняно з періодом форми викривлення.

У роботах [2-4] розглядалися багатошарові композити з криволінійними шарами, в яких форма викривлень значно відрізнялася від плоскої. Було досліджено вплив викривлень на розподіл напружень у випадках одновісного напруженого стану [3; 4] і з припущенням щодо в'язкопружної поведінки армуючих шарів [2].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В наведених вище роботах відсоток викривлення шарів багатошарового матеріалу не перевищує 10 %. Однак навіть незначна зміна форми шару призводить до суттєвої зміни властивостей всього матеріалу. Невирішеним залишається питання впливу зміни плоских шарів на криволінійні при дослідженні рівня розсіяння енергії багатошарового композиційного матеріалу.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження впливу структури криволінійних армуючих шарів на ефективні динамічні характеристики багатошарового в'язкопружного композиційного матеріалу при значному відсотку викривлення шарів.

Виклад основного матеріалу. Виділимо з багатошарового матеріалу структурний елемент з двома паралельними симетричними криволінійними шарами (рис. 1).

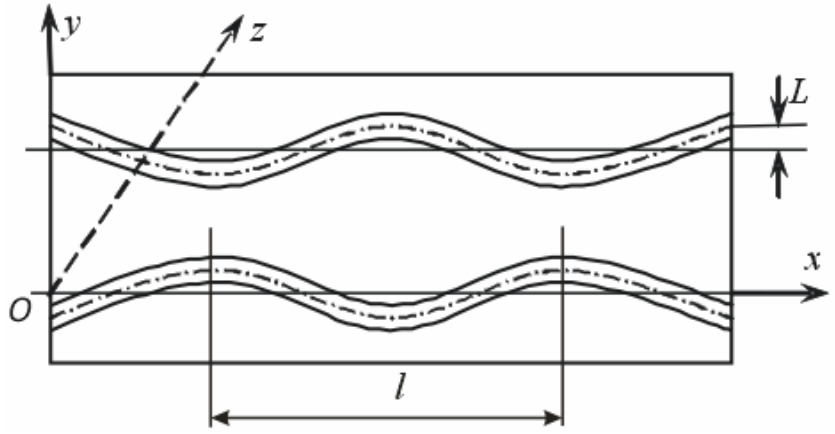


Рис. 1. Структурний елемент багатошарового матеріалу криволінійної структури

Рівняння серединної поверхні шарів наповнювача відповідно до [2]

$$y = L\cos\left(\frac{2\pi x}{l}\right), \tag{1}$$

де L – амплітуда підйому;

l – довжина хвилі викривленого шару.

Розглянемо випадок викривлення на 25 %, тобто коли L = 0,25; l = 2π. Тоді рівняння серединної поверхні буде мати такий вигляд:

$$y = 0{,}25\cos(x). \qquad (2)$$

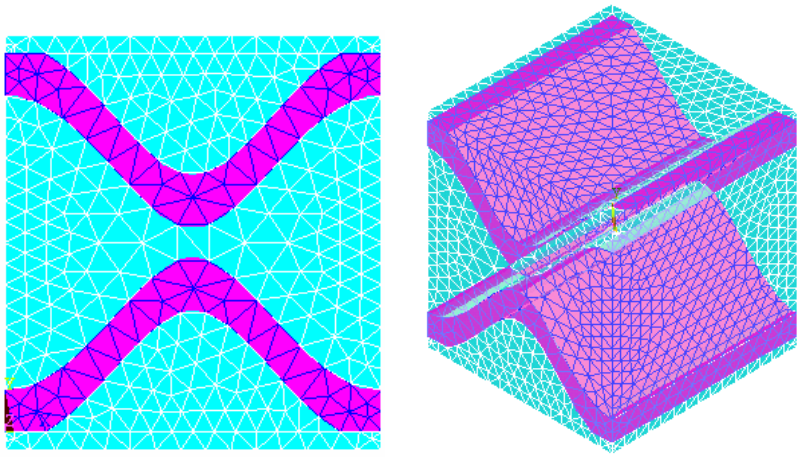
Для знаходження ефективних характеристик скористаємось енергетичним методом на основі методу скінченних елементів [5]. За допомогою цього підходу визначалися значення матриці ефективних модулів і декрементів коливань багатошарового матеріалу з криволінійними шарами $\Delta_{викр}$ і плоскими шарами $\Delta_{прям}$. Для порівняння було розглянуто багатошаровий композиційний матеріал з плоскими шарами з відповідним коефіцієнтом армування. Властивості багатошарового композиційного матеріалу представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Властивості багатошарового композиційного матеріалу

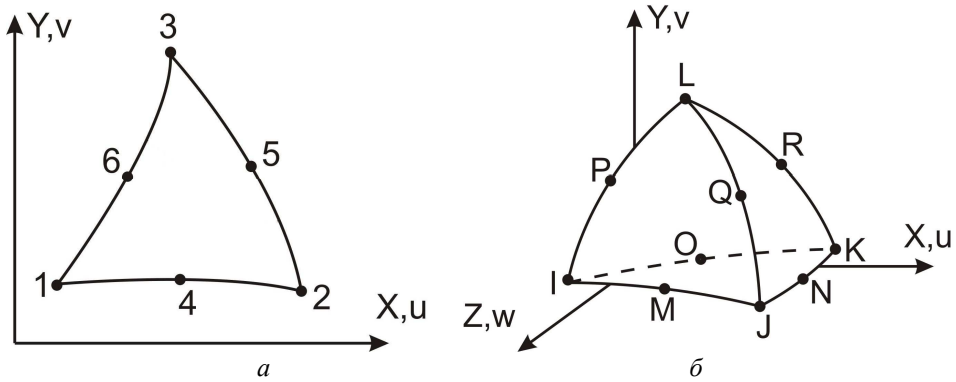
Складові	Модуль пружності, ГПа	Коефіцієнт Пуассона	Декремент коливань
Матриця	400	0,23	0,157
Наповнювач	4	0,35	0,471

Результати досліджень. Відповідно до [5] розглянемо шість випадків характерних деформацій характерного представницького елемента (рис. 2). Види скінченних елементів, що використовувалися при розрахунку, представлено на рисунку 3.



а *б*

Рис. 2. Представницький елемент композиційного матеріалу з розбиттям на скінченні елементи: а – плоска деформація, б – об'ємна деформація



а *б*

Рис. 3. Види скінченних елементів: а – 6-вузловий плоский скінченний елемент і б – 10-вузловий об'ємний скінченний елемент

I. Одновісний розтяг.

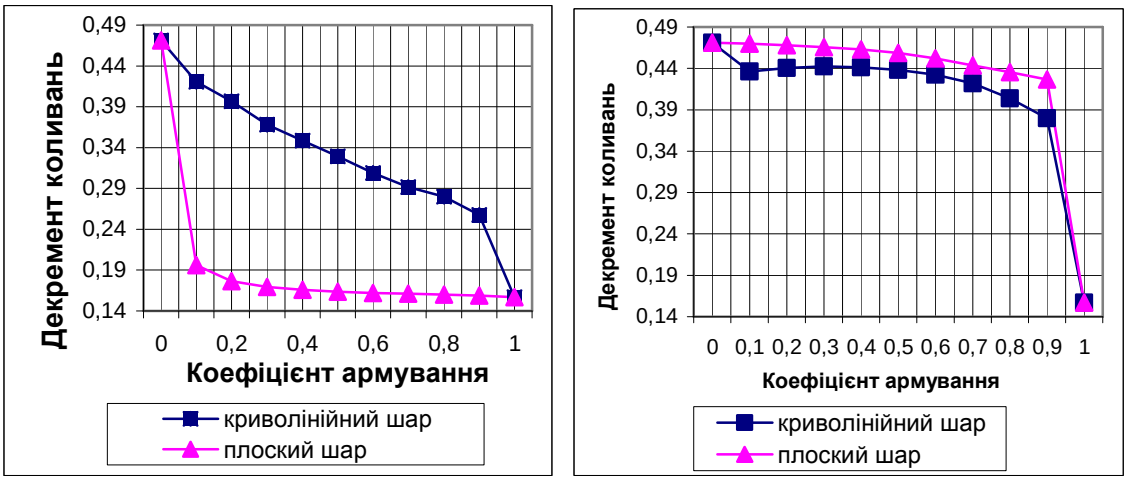
Розглядалися три варіанти одновісного розтягу за трьома осями координат: x; y; z. Результати розрахунків представлені на рисунках 4-5.

Істотні розбіжності між значеннями декрементів коливань спостерігаються при розтягу вздовж осі x, коли при коефіцієнті армування η = 0,1 декремент коливань композиту з криволінійними шарами Δвикр в 2 рази перевищує декремент коливань композиту з плоскими шарами Δпрям. Максимальні розбіжності між значеннями декрементів (до 9%) виявлено при деформації розтягу вздовж осі y. При розтягу вздовж осі z значення декрементів майже співпадають.

II. Зсув.

Розглядалися три варіанти зсуву: 1) зсув у площині xOy за напрямком осі x; 2) зсув у площині xOz за напрямком осі z; 3) зсув у площині yOz за напрямком осі z. Результати розрахунків декрементів коливань для трьох варіантів зсуву представлені на рисунках 6-7.

Для першого і другого варіантів зсуву максимальні розбіжності складають відповідно 20 % і 16 %. Для третього варіанта зсуву значення декрементів коливань для багатошарового матеріалу з криволінійними шарами перевищує значення декрементів для матеріалу з плоскими шарами, зокрема, при η = 0,1, до 38 %.



а *б*

Рис. 4. Залежності декрементів коливань від коефіцієнта армування при розтягу вздовж осі x (а) і розтягу вздовж осі y (б)

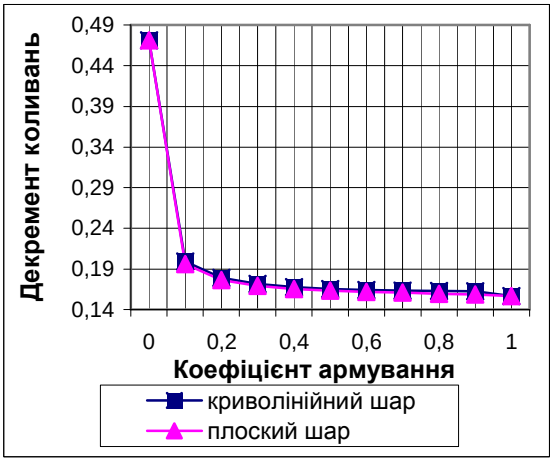
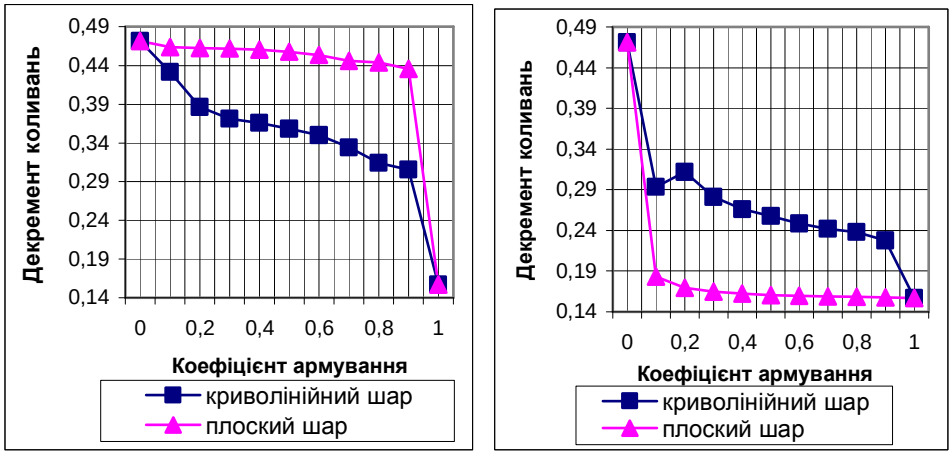


Рис. 5. Залежність декремента коливань від коефіцієнта армування при розтягу вздовж осі z



а *б*

Рис. 6. Залежності декрементів коливань від коефіцієнта армування при зсуві в площині xOy за напрямком осі x (а) і зсуві в площині xOz за напрямком осі z (б)

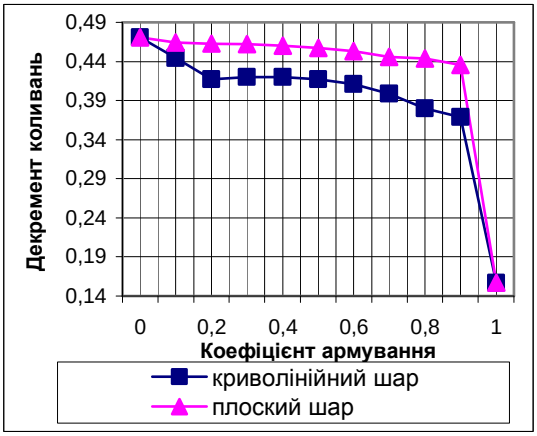
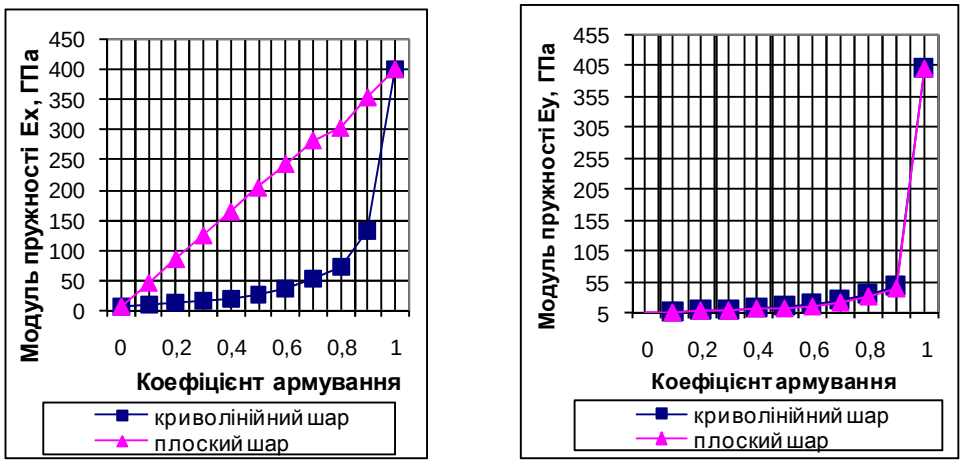


Рис. 7. Залежність декремента коливань від коефіцієнта армування при зсуві в площині yOz за напрямком осі z

Знайдемо для обох варіантів багатошарової структури модулі пружності в трьох напрямках армування. Результати розрахунків представлено на рисунках 8-9.



а *б*

Рис. 8. Залежність модулів пружності вздовж осі x (а) і вздовж осі y (б) від коефіцієнта армування

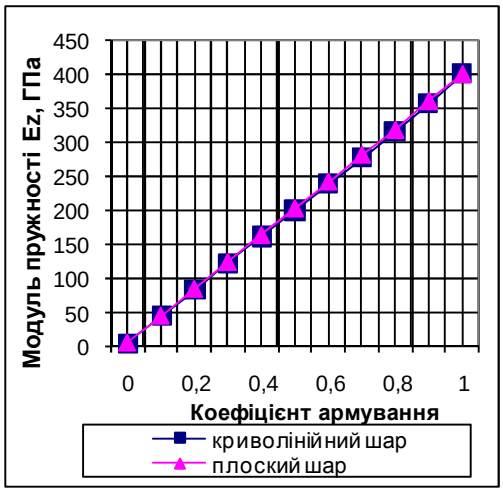
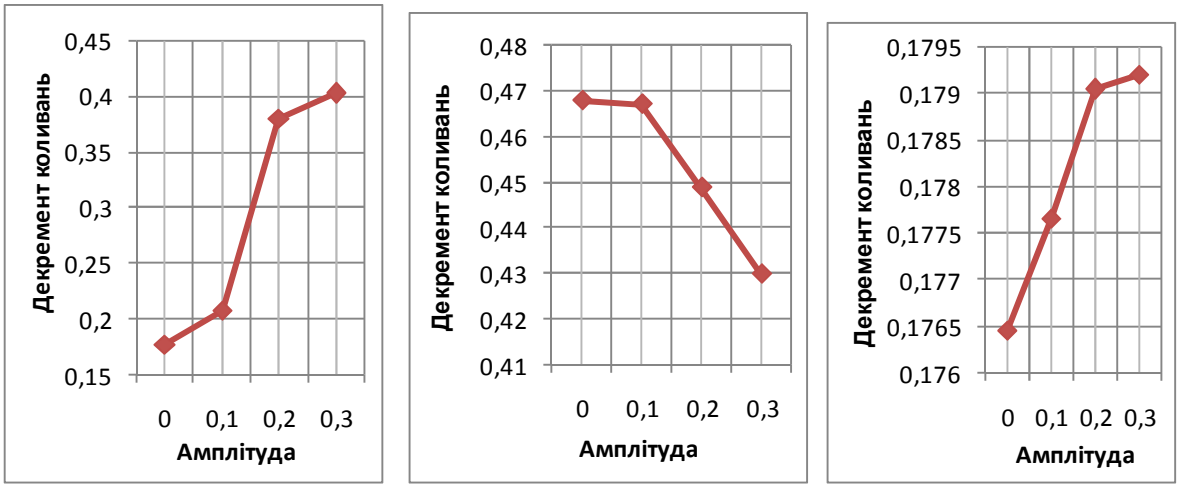


Рис. 9. Залежність модуля пружності вздовж осі z від коефіцієнта армування

Значні відмінності в значеннях (до 88 %) спостерігаються для модулів пружності вздовж осі x (Ex), невеликі (до 20 %) – для модулів пружності вздовж осі y (Ey), повне співпадання значень для модулів пружності вздовж осі z (Ez).

Розглянемо вплив зміни амплітуди від 0 до 0,3 при коефіцієнті армування 0,2. Результати розрахунків зображені на рисунку 10.



а *б* *в*

Рис. 10. Залежності декрементів коливань від амплітуди при розтягу вздовж осі x (а), розтягу вздовж осі y (б) і розтягу вздовж осі z (в)

Як видно з результатів розрахунків (рис. 10), декремент коливань зі збільшенням амплітуди зростає при деформаціях розтягу вздовж осі x і розтягу вздовж осі z і зменшується при деформаціях розтягу вздовж осі y.

Висновки. За допомогою енергетичного методу досліджено вплив викривлення шарів на ефективні характеристики багатошарового композиційного матеріалу. Встановлено, що матеріал з криволінійною структурою армування має більш високий рівень розсіяння енергії, ніж подібний матеріал з плоскими шарами, однак менші модулі пружності. Багатошаровий композиційний матеріал з криволінійною структурою має більш високий рівень розсіяння енергії, що пов’язано з неоднаковим напруженим станом для двох варіантів багатошарової структури.

Список використаних джерел

1. Болотин В. В. Механика многослойных конструкций / В. В. Болотин, Ю. Н. Новичков. – М.: Машиностроение, 1986. – 375 с.

2. Акбаров С. Д. О методах решения задач в механике композитных материалов с искривленными вязко-упругими слоями / С. Д. Акбаров // Прикладная механика. – 1985. – Том 21. – № 3. – С.14-19.

3. Акбаров С. Д. Распределение напряжений в многослойном композитном материале с искривленными структурами (модель кусочно-однородного тела) / С. Д. Акбаров, А. Н. Гузь // Механика композитных материалов. – 1987. – № 4. – С. 592-599.

4. Акбаров С. Д. Влияние учета геометрической нелинейности на распределение напряжений в слоистых композитах с искривленными структурами / С. Д. Акбаров, З. Р. Джамалов, Э. А. Мовсумов // Механика композитных материалов. – 1992. – № 6. – С. 810-816.

5. Дубенець В. Г. Розсіяння енергії у композиційних матеріалах, армованих волокнами / В. Г. Дубенець, О. О. Яковенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки". – 2007. – № 28. – С.7-11.

УДК 677.052.93

П.Л. Игнатенко, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ДИАМЕТРА КОЛЬЦА КРУТИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ВЕЛИЧИНУ ПАКОВКИ

Исследована зависимость выбора диаметра кольца на производительность крутильной машины и ее паковки.
***Ключевые слова**: кольцо крутильное, кольцевая планка, бегунок.*
Досліджена залежність вибору діаметра кільця на продуктивність крутильної машини та її паковки.
***Ключові слова**: кільце крутильне, кільцева планка. бігунок.*
Dependence of choice of diameter of ring is investigational on the productivity of turning machine and her packing.
***Key words**: ring torsion, circular slat, sulky.*

Введение. К основным показателям технической характеристики кольцевых крутильных машин относятся: расстояние между веретенами, диаметр кольца, высота подъема кольцевой планки, способ кручения (сухой или мокрый), форма намотки (цилиндрическая, коническая, комбинированная), тип бобинажной рамки, форма кольца (с горизонтальным или вертикальным каркасом).

Кольцевую планку, предназначенную для размещения колец с бегунком, собирают из отдельных звеньев, при этом тщательно пригоняя их торцы, чтобы звенья представляли одну сплошную линию. Любое незначительное смещение отдельных звеньев создает неправильное положение веретена в кольце и вызывает повышенную обрывность и брак.

Звенья планки нумеруют, чтобы каждое звено легко и быстро можно было установить на пригнанное место. Их штампуют из листовой, вороненой или нержавеющей стали.

В отверстия кольцевой планки, сделанные по числу веретен, вставляют кольца.

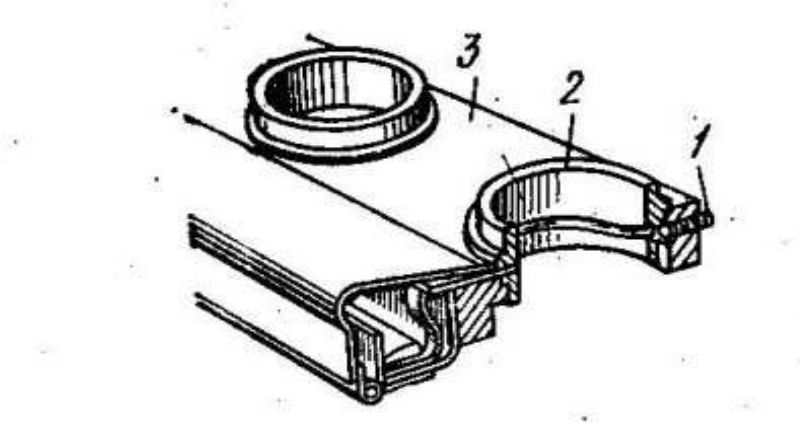


Рис. 1. Крепление кольца в кольцевой планке машин мокрого кручения

На рисунке 1 показаны расположение и крепление колец в планке машин мокрого кручения легкого типа. Кольцо удерживается в планке специальным винтом 1, который зажимает кольцо 2 в планке 3. С фасадной стороны кольцевой планки подвешивается специальная ванночка, где размещаются суконка, фитили и масло для внутренней смазки колец.

Согласно ГОСТ 3608-74 кольца изготовляют четырех типов: 1) с горизонтальным бортиком, 2) с вертикальным бортиком, 3) конические и 4) гиперболические.

На машинах легкого типа мокрого кручения устанавливают кольца второго типа, т. е. с вертикальным бортиком и фитильной смазкой.

Типы колец подразделяются на исполнения.

У второго типа их пять. На машинах КМ-83-1ТМ используются кольца второго типа и второго исполнения с высотой бортика 16,5 мм.

Такое кольцо изображено на рисунке 2. Оно имеет на внутренней поверхности наклонную канавку, в которую на проволочном каркасе вставляют пустотелый плетеный шерстяной или хлопчатобумажный фитиль 1. Концы фитиля выводят в особый резервуар (ванночку) 2, укрепленный на кольцевой планке по всей ее длине. Пропитанный смазкой фитиль подает ее на рабочую (внутреннюю) поверхность кольца, вследствие чего трение бегунка о кольцо уменьшается.

Кольца второго типа второго исполнения изготовляют различных диаметров — от 32 до 176 мм. В зависимости от линейной плотности пряжи, частоты вращения веретена и высоты подъема кольцевой планки.

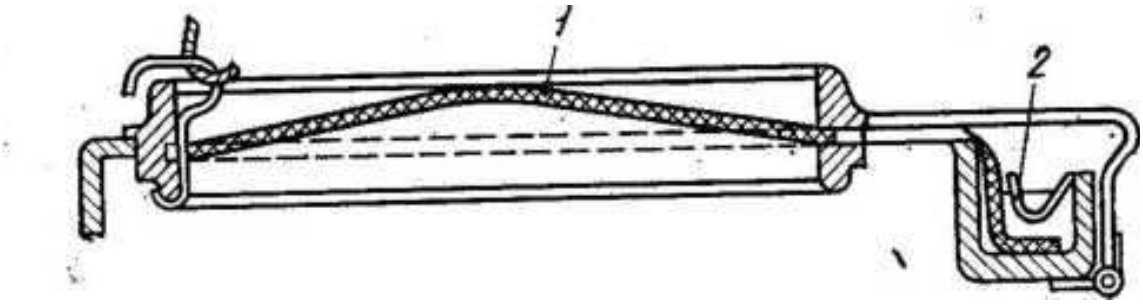


Рис. 2. Устройство кольца с вертикальным бортиком и фитильной смазкой

Размер кольца зависит также от расстояния (рассадки) между веретенами.

На машинах КМ-83-1ТМ в первом кручении для пряжи 7,5 текс Х 3 устанавливают кольцо с диаметром 58 мм, а во втором кручении для пряжи 7,5 текс Х 3 Х 2 – кольцо с диаметром 62 мм.

Постановка задания. Правильный выбор диаметра кольца оказывает большое влияние как на производительность крутильной машины, так и на величину ее паковки. Чем больше диаметр кольца, тем больше крученой пряжи может быть намотано на патрон.

Методы и результаты. При выборе кольца необходимо руководствоваться тем, что при прочих одинаковых условиях чем меньше линейная плотность пряжи и чем больше частота вращения веретена, тем меньше должен быть диаметр кольца. И, наоборот, чем больше линейная плотность пряжи и чем меньше частота вращения веретен, тем больше должен быть диаметр кольца.

Однако необоснованное увеличение диаметра кольца может привести к повышению обрывности пряжи и, следовательно, к снижению производительности машины и труда работника.

Назначение кольца — создать необходимые условия для работы посаженного на его бортик бегунка. Бегунок, вращаясь по кольцу около веретена, благодаря своему трению о кольцо создает отставание пропущенной сквозь него нити от частоты вращения веретена, вследствие чего и происходит наматывание нити на паковку, сидящую на веретене.

Бегунки для колец, устанавливаемых на машинах мокрого кручения, с вертикальным бортиком, работающие по внутренней поверхности кольца, имеют форму, представленную на рисунке 3. Раньше бегунки изготовляли из латуни. В настоящее время почти на всех фабриках используют бегунки, изготовленные из анидной смолы. Такой бегунок охватывает внутреннюю поверхность кольца своими изгибами 3 и 1 сверху и снизу, прижимаясь к ней плоскостью 2.

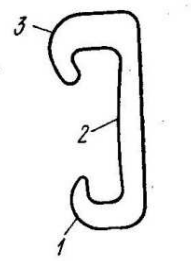


Рис. 3. Анидный бегунок

По ОСТ 17-289-73 этот бегунок относится ко второму типу. В зависимости от линейной плотности пряжи, вырабатываемой на кольцевых крутильных машинах, а также от частоты вращения веретена бегунки делаются разной массы. Масса бегунка в миллиграммах соответствует определенному номеру. При прочих равных условиях, чем меньше линейная плотность пряжи и чем выше частота вращения веретена, тем меньше должна быть масса бегунка.

При увеличении массы бегунка намотка на паковке становится плотнее, что является весьма желательным фактором, влияющим на общее количество пряжи, на паковке.

Но плотность намотки ограничивается прочностью наматываемой нити, поэтому массу бегунка нужно подбирать так, чтобы натяжение нити не превышало допустимой для данной нити прочности.

При одинаковых условиях натяжение нити будет возрастать с увеличением диаметра кольца, частоты вращения веретена и величины трения бегунка о кольцо. Допускаемая величина натяжения нити в процессе кручения не должна превышать 10 % ее прочности.

При коэффициенте запаса прочности K, равном 12, масса анидного бегунка, г, для кольца с вертикальным бортиком и фитильной смазкой

$$M = Q / 0{,}30 R_к n_\sigma^2, \quad (1)$$

где Q – разрывная нагрузка, Н; $R_К$ – радиус кольца, мм; n_σ – частота вращения бегунка, тыс. об/мин.

Анидные бегунки для колец второго типа и второго исполнения с бортиком 16,5 мм (рис. 3) согласно ОСТ 17-289-73 изготовляют следующих номеров: 110, 125, 145, 165, 190, 230, 255, 270, 310, 330, 355, 410, 460.

Пряжа на машинах мокрого кручения легкого типа наматывается на пластмассовый патрон. Он стоек к воде, достаточно легок и прочен.

Согласно ОСТ 17215-72 пластмассовые патроны изготовляют из вторичной капроновой смолы, из смолы анидной и анидной литьевой.

В зависимости от марки веретена пластмассовые патроны изготовляют 19 исполнений.

На машинах КМ-83-1ТМ в зависимости от величины подъема кольцевой планки используются патроны шестого или седьмого исполнения.

Технические условия предусматривают качественные признаки патронов. Поверхность патронов должна быть гладкой, без вздутий, трещин, пористости, расслоений, раковин, сколов, недоливов и других пороков.

Торцы патронов должны быть зачищены и не иметь заусенцев.

Для отклонений по высоте величины посадочного отверстия и других характеристик предусмотрены максимальные допуски.

Некачественно выполненный патрон может вызвать повышенную обрывность и порчу пряжи.

Для наматывания пряжи на патрон по всей его высоте и с полным использованием диаметра кольца на кольцевых крутильных машинах устанавливается мотальный механизм.

Кольцо и бегунок осуществляют наматывание паковки по окружности, а механизм подъема и опускания планки — заполнение патрона пряжей по высоте.

Для этого необходимо выполнить следующие условия:

1) создать разность угловых скоростей между вращающейся на веретене паковкой и бегунком, совершающим кругообразное движение по кольцу;

2) обеспечить постоянное перемещение нити по высоте паковки, иначе она будет наматываться только на одно место и при заполнении внутреннего диаметра кольца оборвется.

Перемещение нити по высоте патрона обеспечивается подъемом и опусканием кольцевой планки и ее перестановкой при начале наложения нового слоя.

Разберем подробнее первое условие — наматывание по окружности. Оно происходит благодаря отставанию бегунка, вследствие его трения о кольцо, которое вызывается силами, действующими на бегунок. Паковка, вращаясь вместе с веретеном, тянет нить, продетую через бегунок, вследствие чего и он приходит в движение. Вращение нити и бегунка по кольцу происходит с большой частотой (от 5 500 до 15 000 об/мин), благодаря чему развивается центробежная сила нити C_1 и бегунка C_2 (рис. 4).

Центробежная сила C_2 прижимает бегунок к внутренней поверхности кольца плоскостью *б*. Вследствие действия центробежной силы C_1 на нить в верхней ее части (у нитепроводника) возникает сила натяжения A и в нижней части (у бегунка) сила натяжения нити B, которая поднимает бегунок вверх и прижимает его нижним загибом 1 в точке *а* к бортику кольца.

Благодаря тому, что бегунок в своем движении по кольцу постоянно находится под воздействием центробежных сил C_1 и C_2, которые прижимают его к плоскости кольца, между ним и кольцом возникают силы трения.

Величина сил трения будет тем больше, чем больше центробежные силы C_1 и C_2, чем больше коэффициент трения, зависящий от материала, из которого сделаны кольцо и бегунок, а также от способа и качества смазки.

Коэффициент трения анидных бегунков о стальное кольцо $\mu = 0{,}015\text{-}0{,}018$.

Величины центробежных сил:

$$C_1 = m_1 n_в^2 R_\sigma; \quad (2)$$

$$C_2 = m_2 n_в^2 R_к, \quad (3)$$

где m_1 – масса вращающегося отрезка нити, г; m_2 – масса бегунка, г; $n_в$ – число оборотов веретена; $R\sigma$ – наибольший радиус баллона, мм; $R_К$ – радиус кольца.

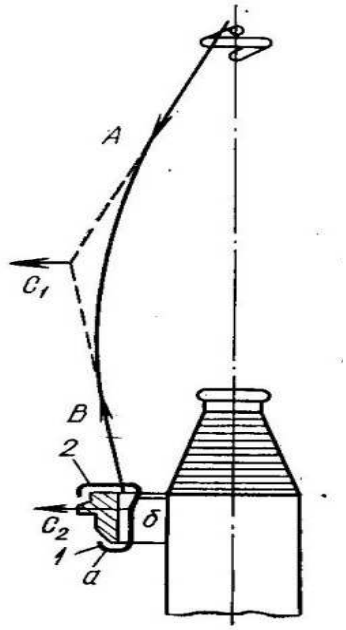


Рис. 4. Силы, действующие на нить и бегунок при движении его по кольцу

Как видно из формулы, наибольшее влияние на величину центробежных сил C_1 и C_2 оказывает число оборотов веретена.

Итак, возникающие силы трения бегунка о кольцо создают торможение бегунка и отставание его частоты вращения от частоты вращения веретена.

Паковка, вращаясь с большим числом оборотов, чем бегунок, забирает на себя всю выпущенную цилиндром нить, которую пропускает бегунок через свой изгиб 2. Так происходит наматывание нити по окружности паковки.

Выводы. Нить, вращаясь около веретена, описывает конус с вершиной у нитепроводника и основанием у кольца. Под влиянием центробежной силы C_1 действующей на нить, конус имеет выпуклую форму. Такой конус называют баллоном. Величина радиуса выпуклости зависит от натяжения нити, которое увеличивается с ростом силы C_1 и отставания бегунка (оно пропорционально силе C_2, растущей при данной частоте вращения веретена с массой бегунка). Чем тяжелее бегунки, тем больше натяжение нити и тем меньше выпуклость баллона.

Центробежная сила нити C_1 при подвижных нитепроводниках почти не меняется. Следовательно, выпуклость баллона зависит от массы бегунка и увеличения частоты вращения веретена.

Список использованных источников

1. Чередников О. Н. Совершенствование технологии изготовления крутильных колец с целью повышения их качества: дис.... канд. техн. наук: 05.02.88 / О. Н. Чередников. – М., 1988. – 122 с.

2. Дальский А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин / А. М. Дальский. – М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.

3. Отделочные операции в машиностроении: справочник / под ред. П. А. Руденка. – К.: Техніка, 1985. – 136 с.

4. Технология текстильного машиностроения / Л. К. Сизенов, А. А. Мизери, Е. В. Григорьев и др.; под общ. ред. Л. К. Сизенова. – М.: Машиностроение, 1988. – 320 с.

УДК 539.3:534.1

О.В. Савченко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАДАЧІ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПОЗИТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ В'ЯЗКОПРУЖНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглядається методика оптимального проектування композитних елементів конструкцій, працюючих при динамічних навантаженнях. Критеріями якості вибрано декременти коливань і швидкість затухання вільних коливань. Показано застосування методики до побудови оптимальних проектів тришарових стержнів зі змінною топологією. Оптимальна топологія і конструктивні параметри проектів визначаються за допомогою генетичних методів.

Ключові слова: *оптимізація, генетичні методи, композитні конструкції, демпфірування.*

Рассматривается методика оптимального проектирования композитных элементов конструкций, работающих при динамических нагрузках. Критериями качества выбраны декременты колебаний и скорость затухания свободных колебаний. Показано использование методики для построения оптимальных проектов трехслойных стержней с изменяемой топологией. Оптимальная топология и конструктивные параметры проектов определяются с помощью генетических методов.

Ключевые слова: *оптимизация, генетические методы, композитные конструкции, демпфирование.*

A technique of optimal design for composite structure elements, working under dynamic loads, is considered. Vibration decrement and rate of free vibration fading were chosen as optimization criteria. Application of the technique is demonstrated on the problem of designing optimal sandwich beams with variable topology. Optimal topology and constructive parameters are identified using genetic algorithms.

Key words: *optimization, genetic algorithms, composite structures, damping.*

Вступ. При проектуванні машинобудівних конструкцій для роботи в умовах динамічних навантажень виникає проблема оптимального вибору матеріалів і їх розміщення у конструкції, наприклад, при плануванні розміщення демпфіруючих і несучих елементів з метою підвищення ефективності їх функціонування. Метою оптимізації може бути зміна частотного спектра, збільшення декрементів коливань, підвищення характеристик міцності тощо. Розв'язання таких задач потребує створення і використання відповідних методів і методик оптимального проектування. Як показано в [1-3], ефективний процес оптимального проектування можна побудувати на основі еволюційних методів оптимізації, зокрема генетичних алгоритмів. Генетичні методи є пошуковими методами, але, на відміну від класичних, використовують еволюційні методи відбору кращих зразків, запозичені у природи [4; 5]. Задача проектування оптимальної конструкції полягає у визначенні вектора проектних параметрів, який забезпечує задані умови оптимальності.

У цій роботі використовуються варіанти класичного генетичного алгоритму [4; 5] та генетичного алгоритму з реальним кодуванням [1] для визначення векторів проектних параметрів, які забезпечують екстремум цільової функції. Проектними змінними є геометричні параметри структури, товщини шарів, властивості матеріалів.

Постановка завдання. При проектуванні конструкцій з в'язкопружних матеріалів можна використати два шляхи одержання оптимального проекту: модифікація матеріалу і модифікація конструкції. Приклади першого підходу наведено в [1-3]. Другий підхід називають топологічною оптимізацією.

Процес топологічної оптимізації розглядається у представленій роботі на прикладі проектування стержня з двошаровим покриттям, у якому в'язкопружний матеріал працює переважно на зсув, а верхній жорсткий шар забезпечує наявність деформацій зсуву.

У представленій роботі розглядаються дві задачі оптимізації тришарового стержня для роботи в умовах вібраційних навантажень:

1. Задача оптимального розміщення елементів верхнього жорсткого шару за критеріями максимального декремента коливань та максимальної швидкості затухання коливань при обмеженнях на масу стержня;

2. Задача вибору оптимальних проектів стержня з нерозрізним і розрізним покриттям за критеріями максимального демпфірування.

Метод побудови математичної моделі коливань тришарового стержня. Скінченно-елементні моделі тришарового стержня (рис. 1) побудовані з використанням шестивузлових елементів (рис. 2).

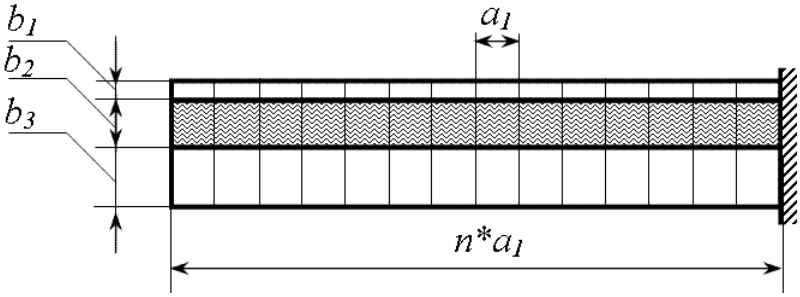


Рис. 1. Стержень з двошаровим покриттям

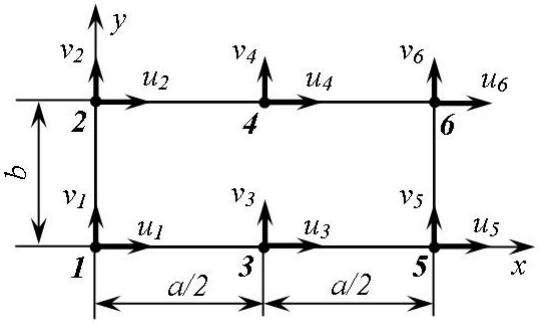


Рис. 2. Шестивузловий скінченний елемент

Фізичні залежності для плоского напруженого стану записані у просторі перетворень Фур'є [6; 7]:

$$\sigma = C(i\omega)\,\varepsilon\,. \tag{1}$$

де $\sigma = \left[\sigma_x \quad \sigma_y \quad \tau_{xy}\right]^T$ – зображення вектора напружень у просторі перетворень Фур'є;

$\varepsilon = \left[\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \gamma_{xy}\right]^T$ – зображення вектора деформацій;

$C(i\omega)$ – матриця комплексних модулів:

$$C(i\omega) = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Компоненти C_{ij} матриці $C(i\omega)$ для ізотропного в'язкопружного матеріалу можна визначити, маючи експериментальні дані щодо комплексних модулів при розтягу-стиску E і зсуві G

$$C_{11} = \frac{4G^2}{4G-E},\quad C_{22} = C_{11},\quad C_{12} = C_{21} = \frac{2EG^2 - 4G^2}{4G-E}, \tag{3}$$
$$C_{33} = G,\quad C_{13} = C_{31} = C_{23} = C_{32} = 0.$$

Оскільки модулі G і E залежать від частоти, коефіцієнти C_{ij} також є функціями частоти.

Матриці мас, жорсткості та демпфірування визначаються за формулами:

$$M = h\int_0^a\int_0^b N^T \rho N dydx,\quad K' = h\int_0^a\int_0^b (AN)^T C'(\omega) AN dydx,\quad K'' = h\int_0^a\int_0^b (AN)^T C''(\omega) AN dydx, \tag{4}$$

де h – товщина елемента;

$C'(\omega), C''(\omega)$ – дійсна й уявна частини матриці $C(i\omega)$;

N – функції інтерполяції, які для шестивузлового елемента мають вигляд:

$$N_1 = \left(1-\frac{y}{h}\right)\left(1-3\frac{x}{l}+2\frac{x^2}{l^2}\right), \quad N_2 = \frac{y}{h}\left(1-3\frac{x}{l}+2\frac{x^2}{l^2}\right),$$

$$N_3 = \left(1-\frac{y}{h}\right)\left(4\frac{x}{l}-4\frac{x^2}{l^2}\right), \quad N_4 = \frac{y}{h}\left(4\frac{x}{l}-4\frac{x^2}{l^2}\right), \tag{5}$$

$$N_5 = \left(1-\frac{y}{h}\right)\left(-\frac{x}{l}+2\frac{x^2}{l^2}\right), \quad N_6 = \frac{y}{h}\left(-\frac{x}{l}+2\frac{x^2}{l^2}\right).$$

Матриця динамічної жорсткості елемента:

$$Z(i\omega) = (i\omega)^2 M + K'(\omega) + iK''(\omega). \tag{6}$$

Для синтезу динамічної матриці жорсткості балки використовувалася стандартна методика [8; 9] з урахуванням комплексних значень компонент матриць.

Скінченно-елементна модель стержня у просторі перетворень Фур'є описується рівнянням [7]

$$Z(i\omega)q = F(i\omega), \tag{7}$$

де $F(i\omega)$ – інтегральне перетворення Фур'є зовнішнього навантаження; q – переміщення узагальнених координат конструкції; $Z(i\omega) = K(i\omega) + (i\omega)^2 M$ – загальна динамічна матриця жорсткості конструкції; $K(i\omega)$ – комплексна матриця жорсткості, яка залежить від ефективних комплексних модулів матеріалу; M – матриця мас; ω – частота коливань; $i = \sqrt{-1}$.

Після розв'язання задачі на власні значення

$$\left|Z(i\omega)\right| = 0 \tag{8}$$

декремент визначається за формулою

$$\Delta = 2\pi\frac{\omega_k''}{\omega_k'}, \tag{9}$$

де ω_k', ω_k'' – відповідно дійсна й уявна частота на k-й формі коливань.

Побудована скінченно-елементна модель дозволяє розглянути різні варіанти розміщення демпфіруючого матеріалу. Зокрема, це може бути балка із середнім демпфіруючим шаром, балка з окремими демпфіруючими елементами тощо.

Приклади оптимізації.

1. Розглянемо задачу топологічної оптимізації стержня з двошаровим покриттям з розділенням на 15 скінченних елементів по довжині стержня (рис. 1). Скінченно-елементну модель стержня показано на рисунку 3.

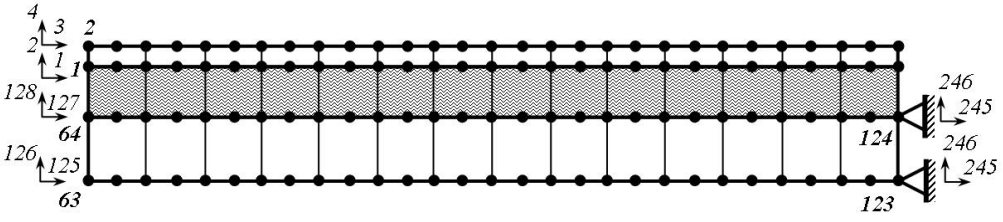


Рис. 3. Скінченно-елементна модель жорстко закріпленого стержня з двошаровим покриттям

Вважаємо, що товщину несучого шару і товщини шарів покриття задано, необхідно знайти оптимальне розміщення елементів жорсткого верхнього шару. Відомо, що максимальні деформації зсуву виникають поблизу торців елементів верхнього шару, тобто максимального демпфірування можна досягнути, моделюючи суцільне покриття кусково-неперервним.

Значення комплексних модулів матеріалів приймали такими:

– для матеріалу несучого шару $E_1 = 6,71 \cdot 10^{10} \cdot \left(1 + i\frac{0,01}{\pi}\right) Па$;

– для матеріалу прошарку $E_2 = 6,71 \cdot 10^{6} \cdot \left(1 + i\frac{0,4}{\pi}\right) Па$.

Густини матеріалів $g1 = 2,9 \cdot 10^3$ $кг/м^3$ для матеріалу несучого шару і $g1 = 1,2 \cdot 10^3$ $кг/м^3$ для матеріалу прошарку.

Коефіцієнти Пуассона $\nu_1 = 0,3;\ \nu_2 = 0,4$.

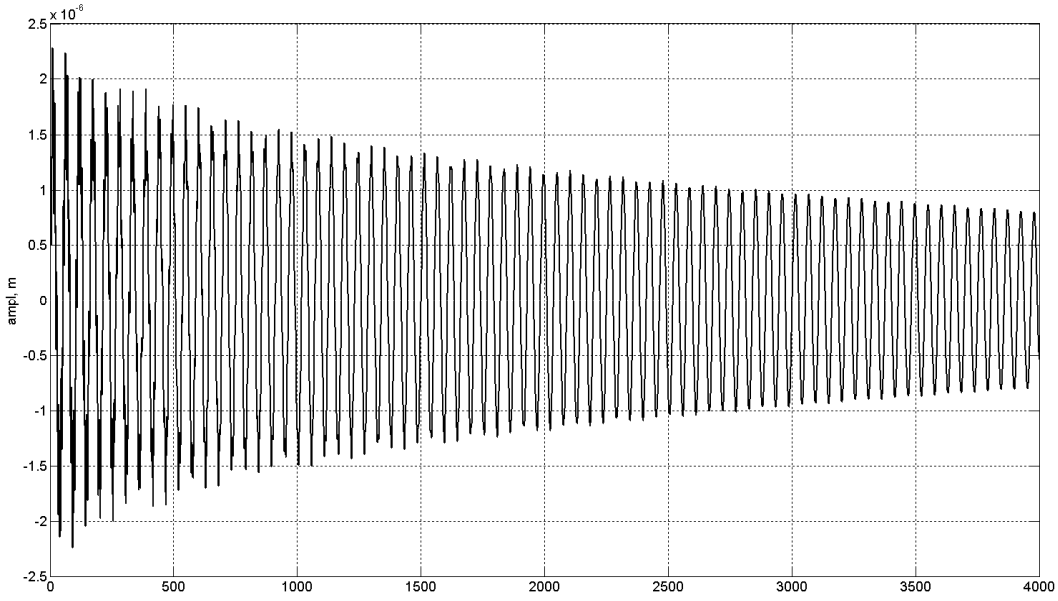
Довжина скінченого елемента $a_1 = 0,1\ м$.

Товщини шарів: $b_1 = 0,001\ м,\ b_2 = 0,005\ м,\ b_3 = 0,02\ м$.

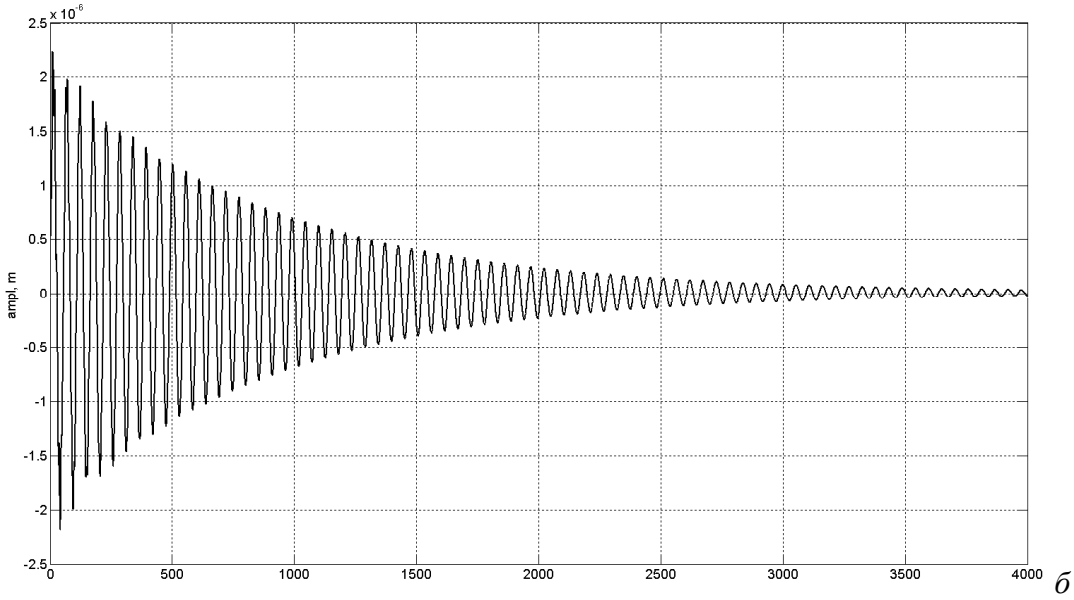
Наявність або відсутність елемента покриття з прошарком позначали 1 або 0.

При аналізі граничних значень структури стержня − при відсутності покриття $x = [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$ та наявності усіх елементів $x = [1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1]$ − одержали такі результати: у першому випадку декремент коливань $\delta_1 = 0,0114$ і швидкість затухання коливань (добуток декремента на частоту) $\delta\omega = 0,5460$, у другому $\delta_1 = 0,0584$ та $\delta\omega = 2,7700$.

На рисунку 4, *а, б* показано осцилограми коливань стержня при граничних варіантах структури.



а



б

Рис. 4. Осцилограми коливань тришарового стержня при варіантах структури:
а – $x=[0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0]$; *б* – $x=[1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1]$

Задача оптимізації полягає у виборі розміщення елементів покриття з демпфіруючим прошарком за критеріями максимального демпфірування та максимальної швидкості затухання коливань з урахуванням обмежень на масу. У такому випадку використано класичний алгоритм генетичного методу з двійковим кодуванням [4].

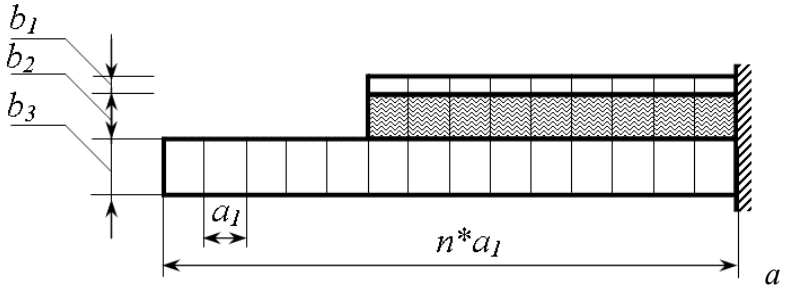
Результати оптимізації наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати оптимізації стержня з двошаровим покриттям за критерієм максимальної швидкості затухання коливань з урахуванням обмежень на масу

Обмеження на масу покриття, $mas_pokr \le mas_beam / k$	Швидкість затухання коливань, *dekr*om*	Декремент коливань, *dekr*	Перша частота, *om*	Вектор проектних параметрів, *x*
$k=1\div 9$	3,1166	0,0625	49,8270	[0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]
$k=10$	3,0679	0,0616	49,8413	[0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]
$k=12$	2,9174	0,0587	49,7144	[0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1]
$k=13$	2,6480	0,0535	49,4741	[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1]
$k=15$	2,2641	0,0461	49,1596	[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1]
$k=18$	1,7995	0,0367	48,8184	[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1]

Для перевірки розв’язано задачу оптимального розміщення шарів без урахування обмежень на масу. Результат розв'язання задачі оптимізації $dekr \cdot om = 3{,}1166$ співпадає з одержаним результатом при обмеженнях на масу покриття до $k = 9$. Структуру оптимального стержня та осцилограму коливань показано на рисунку 5, *а*, *б*.



а

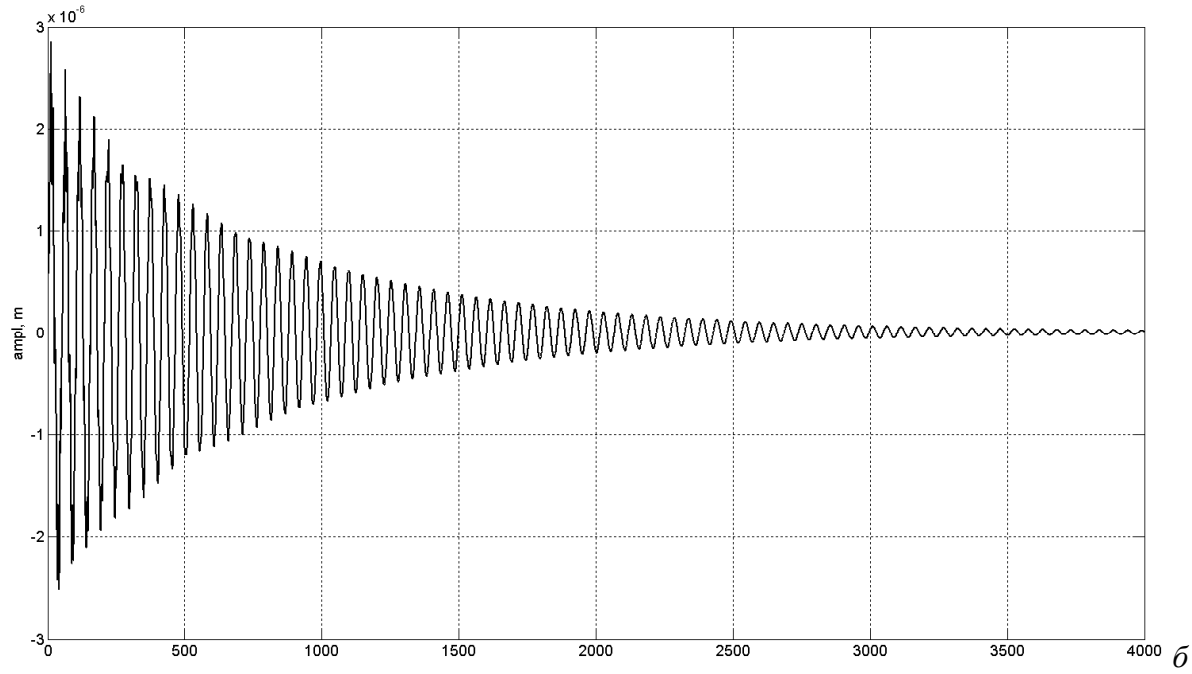


Рис. 5. Структура оптимального жорстко закріпленого стержня з двошаровим покриттям за критерієм максимальної швидкості затухання (а); осцилограма коливань для оптимального стержня (б)

Аналогічну задачу оптимізації за критерієм максимальної швидкості затухання коливань розв'язано для шарнірно закріпленого стержня. Скінченно-елементну модель показано на рисунку 6.

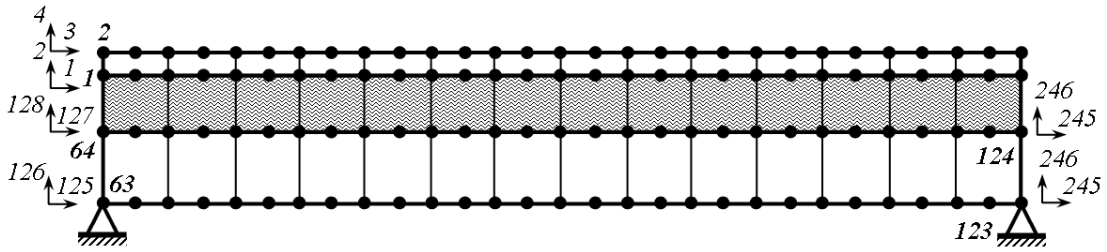
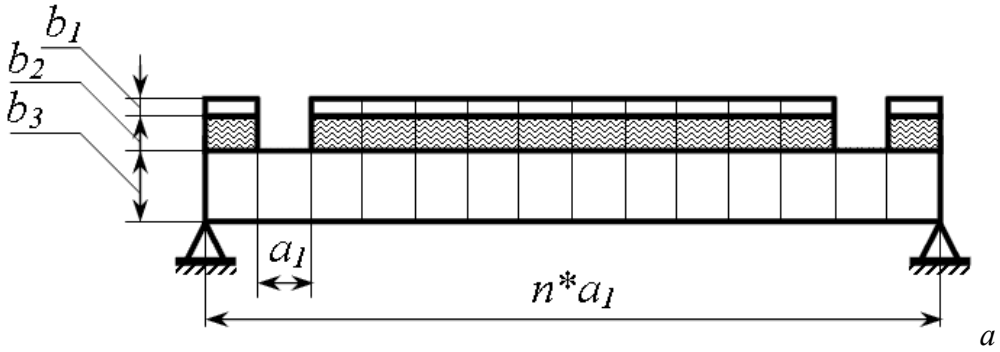
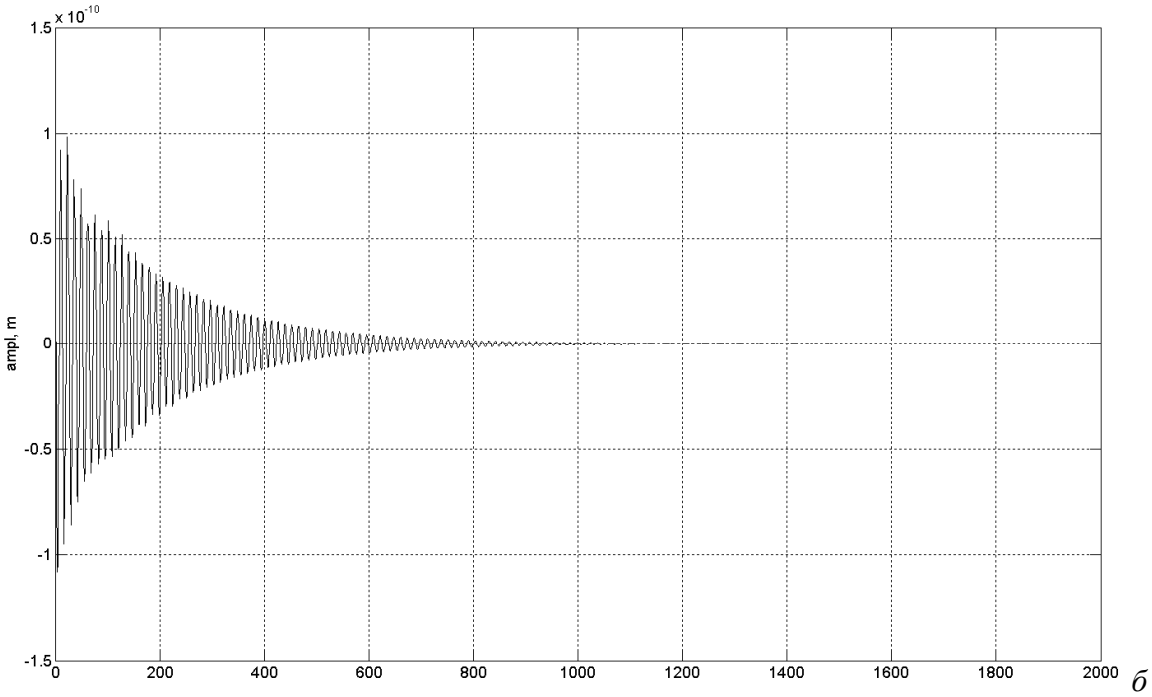


Рис. 6. Скінченно-елементна модель шарнірно закріпленого стержня з двошаровим покриттям

Оптимальну структуру стержня і осцилограму коливань показано на рисунку 7, *а, б*. Швидкість затухання коливань для оптимального проекту складає *dekr* · *om* = 12,8852, декремент коливань *dekr* = 0,0651, перша частота *om* =198,0732.





б

Рис. 7. Структура оптимального шарнірно закріпленого стержня з двошаровим покриттям за критерієм максимальної швидкості затухання (а); осцилограма коливань для оптимального стержня (б)

Як видно з розв'язання задачі, програма оптимізації з використанням генетичного алгоритму дає можливість одержати оптимальний проект структури стержня і таким чином забезпечити екстремальне значення критерію оптимізації.

2. Розглянемо порівняння оптимальних проектів стержня з нерозрізним (рис. 3) і розрізним (рис. 8) покриттями за критерієм максимального декремента коливань. Проектними параметрами вибиралися товщини двох шарів покриття і дійсні та уявні частини комплексних модулів матеріалів жорсткого і демпфіруючого матеріалів.

Скінченно-елементну модель стержня з розрізним покриттям показано на рисунку 9.

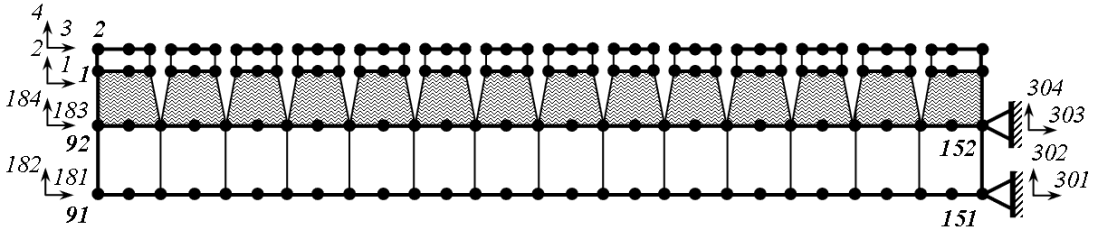


Рис. 8. Скінченно-елементна схема стержня з розрізним покриттям

Початкові характеристики стержня приймалися такими:

Значення комплексних модулів матеріалів:

– для матеріалу несучого шару $E_1 = 6,71 \cdot 10^{10} \cdot \left(1 + i\frac{d_1}{\pi}\right) \cdot e_1 \, Па;$

– для матеріалу прошарку $E_2 = 6,71 \cdot 10^{6} \cdot \left(1 + i\frac{d_2}{\pi}\right) \cdot e_2 \, Па,$

де d_1, e_1, d_2, e_2 – компоненти вектора проектних параметрів, які визначають демпфіруючі властивості матеріалів.

Густини матеріалів $g1 = 2,9 \cdot 10^3 \; кг/м^3$ для матеріалу несучого шару і $g1 = 1,2 \cdot 10^3 \; кг/м^3$ для матеріалу прошарку.

Коефіцієнти Пуассона $\nu_1 = 0{,}3;\ \nu_2 = 0{,}4$.

Довжина скінченого елемента $a_1 = 0{,}1\,м$.

Вектор проектних параметрів прийнято у вигляді $x = [b_1\ b_2\ e_1\ d_1\ e_2\ d_2]$, де b_1, b_2 − товщини відповідно верхнього підкріплюючого і середнього демпфіруючого шару, d_1, e_1, d_2, e_2 − характеристики матеріалів шарів.

Обмеження на проектні параметри приймалися такими:

lb = [0,0001 0,005 0,001 0,01 0,001 0,1];

ub = [0,005 0,01 1 0,1 1 0,4].

Для розв'язання задачі оптимізації використано алгоритм Real-coded GA [1].

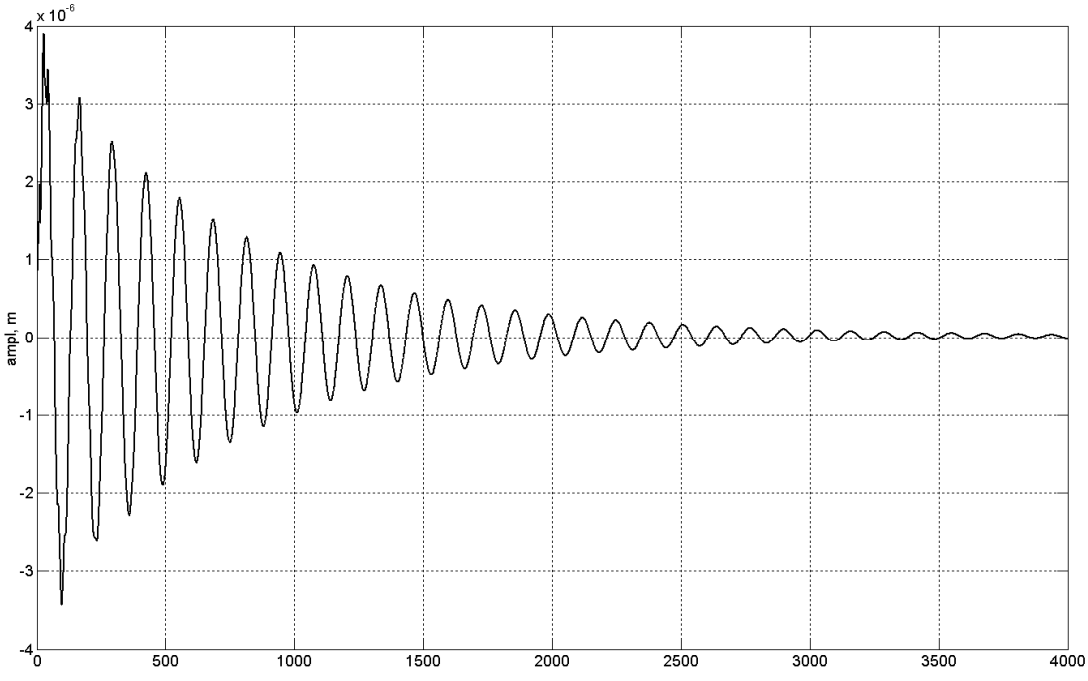
Результати оптимізації показано в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розв'язання задачі оптимізації для стержня з нерозрізним і розрізним покриттями

Вид покриття	Вектор проектних параметрів, $x = [b_1\ b_2\ e_1\ d_1\ e_2\ d_2]$						Декремент коливань, δ	Швидкість затухання коливань, $\delta \cdot \omega$
Нерозрізне	0,0050	0,0100	0,1316	0,1000	1,0000	0,4000	0,1670	3,3016
Розрізне	0,0050	0,0100	0,3219	0,1000	1,0000	0,4000	0,2615	10,4798

Осцилограми коливань для двох видів покриття показано на рисунку 9.



а

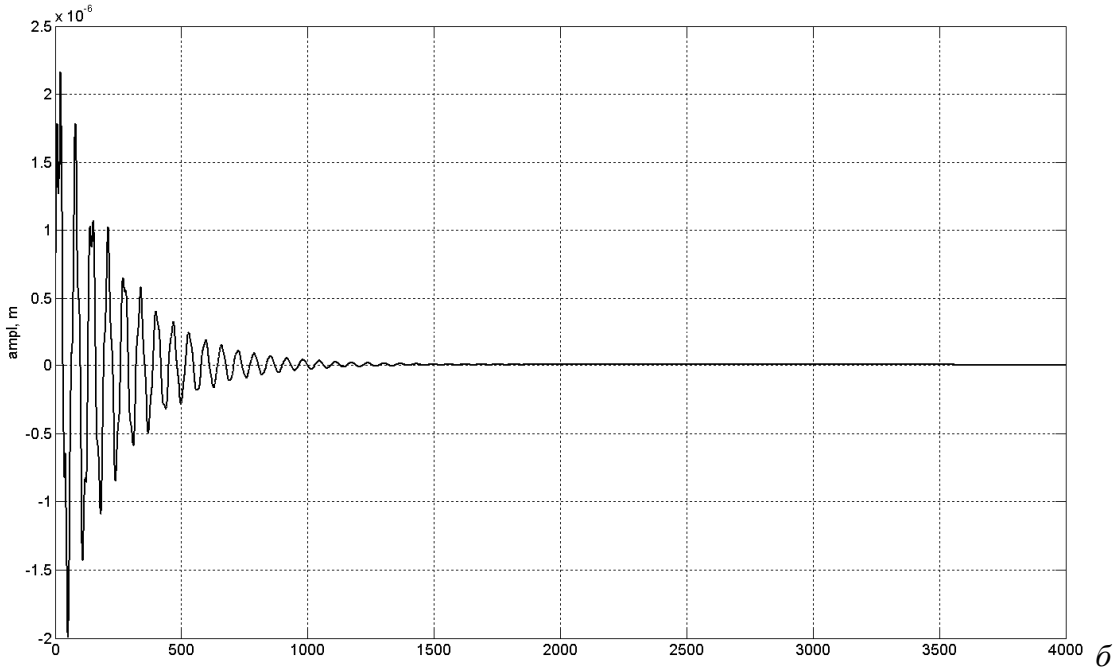


Рис. 9. Осцилограми коливань для стержнів: а – з нерозрізним покриттям; б – з розрізним покриттям

Висновки. Представлені приклади показують, що програми оптимізації на основі генетичних алгоритмів можна використовувати для розв'язання задач топологічної оптимізації стержнів та більш складних багатошарових конструкцій з в'язкопружних матеріалів. Розроблену методику можна використати для визначення оптимального розміщення пасивних демпфіруючих елементів одночасно з параметричною оптимізацією.

Список використаних джерел

1. Савченко О. В. Метод пошуку глобального екстремуму в задачах оптимізації конструкцій з композиційних матеріалів / О. В. Савченко, І. О. Савченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2009. – № 36. – С. 72-81.

2. Дубенець В. Г. Задачі глобальної оптимізації багатошарових оболонок із максимальним демпфіруванням матеріалів / В. Г. Дубенець, О. В. Савченко // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: зб. наук. праць. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2011. – № 45. – С. 48-55.

3. Савченко О. В. Еволюційні алгоритми глобальної оптимізації композитних оболонок за критерієм максимального демпфірування / О. В. Савченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – №. 54. – С. 6-12.

4. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик; под ред. В. М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и дополн. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.

5. Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt. Practical Genetic Algorithms: second edition / Wiley-Interscience, 2004. – J. Wiley & Sons. – 253 p.

6. Дубенец В. Г. Колебания демпфированных композитных конструкций / В. Г. Дубенец, В. В. Хильчевский. – К.: Вища школа, 1995. – 226 с.

7. Савченко Е. В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций: монография / Е. В. Савченко. – Нежин: Аспект-Поліграф, 2006. – 232 с.

8. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.

9. Метод конечных элементов в механике твердых тел / под общ. ред. А. С. Сахарова, И. Альтенбаха. – К.: Вища школа, 1982. – 479 с.

УДК 677.055

В.В. Чабан, канд. техн. наук
Б.Ф. Піпа, д-р техн. наук
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна

ДИНАМІКА ПУСКУ ОСНОВОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ ПРИ ПОПЕРЕДНЬОМУ НАПРУЖЕННІ В'ЯЗЕЙ ПРИВОДА

Представлено результати досліджень динаміки пуску основов'язальної машини при попередньому напруженні в'язей привода. Запропоновано конструкцію привода з засобом попереднього напруження його в'язей, здатну суттєво знизити динамічні навантаження.

Ключові слова: *основов'язальна машина, в'язі привода, конструкція привода.*

Представлены результаты исследований динамики пуска основовязальной машины при предыдущем напряжении вязей привода. Предложена конструкция привода со средством предыдущего напряжения его вязей, способную существенно снизить динамические нагрузки.

Ключевые слова: *основовязальная машина, вязи привода, конструкция привода.*

Постановка проблеми. Зниження динамічних навантажень, що виникають під час пуску основов'язальних машин, є однією з актуальних проблем трикотажного машинобудування [1-3]. Одним із перспективних напрямків її вирішення є удосконалення приводу машини, здатного знизити динамічні навантаження в пружних його в'язях [4; 5]. Оцінка доцільності та ефективності удосконалення конструкції приводу є невід'ємною частиною розробки нових типів основов'язальних машин [3].

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження, виконані проф. С.М. Кожевниковим, О.М. Голубенцевим, Б.Ф. Піпою, В.В. Чабаном та ін. [2, 4-6], показують, що зниження пускових динамічних навантажень у механічних системах з пружними в'язями може бути досягнуто шляхом попереднього (перед пуском) напруження в'язей привода. Проте, незважаючи на накопичений досвід у практиці досліджень по удосконаленню приводів в'язальних машин [6], вирішення проблеми зниження динамічних навантажень у приводі основов'язальних машин все ще залишається актуальною.

Мета статті. Метою роботи є аналіз динаміки пуску основов'язальної машини, оцінка ефективності її пуску при попередньому напруженні пружних в'язей привода та розробка нової конструкції привода, здатної реалізувати такий режим пуску основов'язальної машини.

Виклад основного матеріалу. Аналіз сучасних конструкцій основов'язальних машин [1] показує, що з метою дослідження динамічних процесів, які відбуваються в приводі під час пуску, реальну конструкцію машини доцільно замінити двомасовою динамічною моделлю (рис. 1).

Пуск основов'язальної машини при існуючій конструкції привода [2; 3] відбувається в два етапи. Перший етап пуску характеризується рухом першої маси системи (рис. 1, *б*) і продовжується від 0 до τ_1, поки момент у пружній в'язі C_{12} досягне величини T_2. З цього часу починається другий, остаточний етап пуску (рис. 1, *а*), який характеризується рухом усіх двох мас системи. Він продовжується від τ_1 до $t_п$ ($t_п$ – час пуску машини).

Рівняння руху обертальних мас системи для першого етапу пуску мають вигляд:

$$J_1\ddot{\varphi}_1 + C_{12}\varphi_1 = T_1, \quad (1)$$

де φ_1 – кут повороту ведучої маси.

Розв'язок диференційного рівняння (1) можемо представити у вигляді [5]:

$$T_{12} = A_{12}\cos\beta \cdot t + B_{12}\sin\beta \cdot t + a_{12}, \quad (2)$$

де T_{12} – момент пружних сил, що виникає у в'язі C_{12},

$$T_{12} = C_{12}\cdot\varphi_1; \quad (3)$$

A,B – постійні диференціювання;

β – циклова частота коливань маси J_1 системи,

$$\beta = \sqrt{\frac{C_{12}}{J_1}}; \tag{4}$$

a_{12} – постійна складова моменту T_{12}, згідно з [5]:

$$a_{12} = T_1 . \tag{5}$$

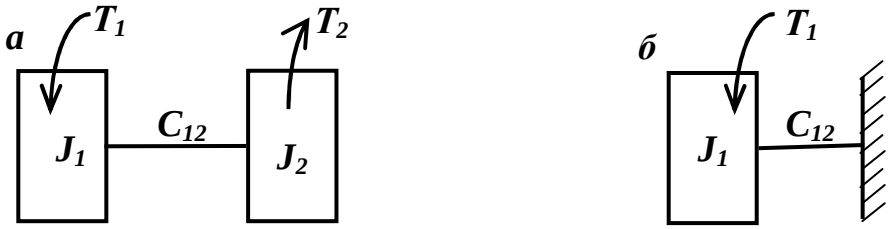


Рис. 1. Динамічна модель приводу основов'язальної машини:

T_1 – пусковий момент електродвигуна; T_2 – сумарний момент сил опору механізмів машини; J_1 – момент інерції ротора електродвигуна з урахуванням моменту інерції обертальних мас ведучого шківа-варіатора клинопасової передачі; J_2 – сумарний момент інерції обертальних мас механізмів машини; C_{12} – жорсткість пружних ланок механізмів машини

Враховуючи початкові умови першого етапу пуску системи $T_{(12)0} = 0$; $\dot{T}_{(12)0} = 0$, із (2) знаходимо:

$$A = -T_1; \; B = 0. \tag{6}$$

Підставивши (5), (6) в (2), маємо:

$$T_{12} = T_1(1 - cos\,\beta \cdot t). \tag{7}$$

З рівняння (7) знаходимо тривалість першого етапу пуску системи (початок другого етапу пуску) τ_1, враховуючи, що другий етап пуску розпочинається за умови $T_{12} = T_2$:

$$\tau_1 = \frac{1}{\beta} arccos\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right). \tag{8}$$

Другий етап пуску системи починається при початкових умовах (при $t = 0$):

$$T_{(12)0} = T_2; \quad \dot{T}_{(12)0} = T_1 \beta \cdot sin\,\beta \cdot \tau_1 .$$

Рівняння руху мас системи під час другого етапу пуску мають вигляд [5]:

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 = T_1 - T_{12};$$

$$J_2 \ddot{\varphi}_2 = T_{12} - T_2 . \tag{9}$$

Підставивши параметри $\ddot{\varphi}_1, \ddot{\varphi}_2$, знайдені із (9), в рівняння $\ddot{T}_{12} = C_{12}(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2)$, знаходимо:

$$\ddot{T}_{12} = \frac{C_{12}}{J_2}\left[T_1 \frac{J_2}{J_1} + T_2 - \left(1 + \frac{J_2}{J_1}\right) T_{12}\right]. \tag{10}$$

Розв'язок диференційного рівняння (10) можемо представити у вигляді, наведеному раніше. Але для другого етапу пуску параметри рівняння (2) знаходяться, враховуючи початкові умови та рекомендації [5], таким чином:

$$A_{12} = T_2 - T_1; \; B_{12} = \frac{\dot{T}_{(12)0}}{\beta_1}; \; a = \frac{T_1 J_2 + T_2 J_1}{J_1 + J_2}; \; \beta_1 = \sqrt{\frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{2 J_1 J_2}}. \tag{11}$$

Тоді, аналізуючи рівняння (2) та враховуючи рекомендації щодо складання коливань моментів сил пружності однакової частоти [5], доходимо до висновку, що максимальна величина моменту T_{12} буде дорівнювати:

$$T_{12max} = D + a = \sqrt{A_{12}^2 + B_{12}^2} + a, \quad (12)$$

де D – сумарна амплітуда коливань моментів сил пружності.

Коефіцієнт динамічних перевантажень пружних в'язей привода знаходиться із умови:

$$K = \frac{T_{12max}}{T_2}. \quad (13)$$

Використовуючи одержані результати, знайдемо максимальну величину моменту, що виникає в існуючому приводі під час пуску основов'язальної машини Кокетт-2 (модель 5219). Як вихідні параметри (приведені до головного валу привода), враховуючи технічну характеристику машини [1, 2], приймаємо:

$T_1 = 158$ Нм; $T_2 = 50$ Нм; $J_1 = 0{,}35$ кгм^2; $J_2 = 0{,}025$ кгм^2; $C_{12} = 24220$ Нм/рад.

Використовуючи наведену вище методику, знаходимо максимальну величину динамічних навантажень, що виникають у приводі ($T_{12max} = 173{,}1$ Нм), та коефіцієнт динамічних перевантажень пружних в'язей привода $(K = 3{,}46)$.

Розглянемо особливості режиму пуску основов'язальної машини при попередньому напруженні в'язей привода. В цьому випадку при динамічному аналізі пуску машини її реальну схему можна представити, як і раніше, у вигляді двомасової динамічної моделі. Пуск основов'язальної машини відбувається в один етап (у рух приходять усі обертальні маси привода). Початкові умови пуску: $T_{(12)0} = 0{,}95T_2$ (приймаємо з умов забезпечення попереднього напруження в'язей привода); $\dot{T}_{(12)0} = 0$.

Розв'язок диференційного рівняння руху мас системи можемо представити у вигляді, наведеному раніше (2). Тоді, враховуючи початкові умови пуску:

$$T'_{12max} = [A_{12}] + a. \quad (14)$$

Параметрами рівняння (14), враховуючи вищенаведене та рекомендації [5], будуть:

$a = 57{,}2$ Нм; $A_{12} = T_{(12)0} - a = 0{,}95T_2 - a = -9{,}7$ Нм.

Таким чином, при пуску основов'язальної машини Кокетт-2 з попередньо напруженими в'язями привода: $T'_{12max} = 66{,}9$ Нм; $K' = 1{,}34$, що свідчить про суттєве (практично в 2,6 рази) зниження пускових динамічних навантажень у приводі.

З метою реалізації запропонованого режиму пуску основов'язальної машини авторами розроблено нову конструкцію приводу, схема якого представлена на рисунку 2.

Привід основов'язальної машини містить електродвигун 1, головний вал 2 та клинопасову передачу 3, ведучий шків 4 якої встановлений на валу 5 та з'єднаний з електродвигуном 1, а ведений шків 6 встановлено на головному валу 2. Привід також містить електромагнітну дискову фрикційну муфту 7 з початковим моментом, яка містить ведучу напівмуфту 8, встановлену на валу електродвигуна 1 з можливістю осьового переміщення, ведену напівмуфту 9, жорстко з'єднану з ведучим шківом 4 за допомогою вала 5, та циліндричну пружину стиску 10 з гайкою 11 для створення необхідної величини початкового моменту муфти $T_M = (0{,}9...0{,}95)T$. Система керування пуску привода виконана таким чином, що при пуску машини спершу вмикається електродвигун 1, а потім з деякою затримкою в часі вмикається електромагнітна дискова фрикційна муфта 7.

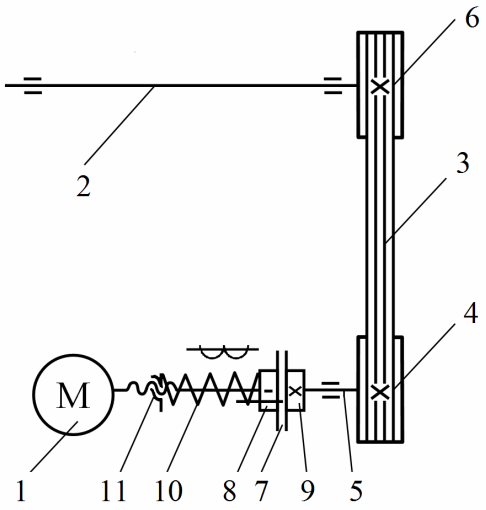


Рис. 2. Кінематична схема привода основов'язальної машини

Принцип роботи привода такий. При вмиканні електродвигуна 1 його крутний момент, обмежений початковим моментом електромагнітної дискової фрикційної муфти 7, що його створює сила циліндричної пружини стиску 10 шляхом притиску ведучої напівмуфти 8 до веденої напівмуфти 9, здійснює попереднє напруження пружних в'язей привода та вибір зазорів передач привода. Оскільки величина початкового моменту електромагнітної дискової фрикційної муфти 7 не перевищує величини сумарного моменту сил опору механізмів основов'язальної машини механізми машини не приходять у рух (обертальний рух електродвигуна 1 не передається головному валу 2). Подальше вмикання електромагнітної дискової фрикційної муфти 7 збільшує величину її крутного моменту, що забезпечує можливість передачі обертального руху від електродвигуна 1 до головного вала 2 та механізмів машини (на рис. 2 не показані), що необхідно для роботи основов'язальної машини – в'язання трикотажного полотна. Наявність початкового моменту електромагнітної дискової фрикційної муфти 7 забезпечує попереднє (перед остаточним пуском машини) напруження пружних в'язей привода, що знижує пускові динамічні навантаження в приводі і, таким чином, призводить до підвищення надійності та довговічності роботи привода.

Величина початкового моменту електромагнітної дискової фрикційної муфти регулюється шляхом регулювання сили циліндричної пружини стиску 10, що досягається за допомогою гайки 11, нагвинченої на вал електродвигуна 1.

Висновки. Отримані результати свідчать про доцільність та ефективність використання запропонованої конструкції привода основов'язальної машини, здатного здійснювати пуск машини при попередньому напруженні в'язей привода.

Використання запропонованої конструкції привода дозволяє:

- розширити асортимент приводів основов'язальних машин;
- підвищити довговічність роботи привода й основов'язальної машини в цілому за рахунок зниження динамічних навантажень (практично в 2,6 рази), що виникають під час пуску машини;
- підвищити продуктивність основов'язальної машини за рахунок підвищення довговічності роботи привода.

Список використаних джерел

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

2. Сердюк В. П. Расчет приводов машин легкой промышленности / В. П. Сердюк. – К.: Техніка, 1978. – 232 с.

3. Гарбарук В. Н. Проектирование трикотажных машин / В. Н. Гарбарук. – Л.: Машиностроение, 1980. – 472 с.

4. Голубенцев А. Н. Динамика переходных процессов в машинах со многими массами / А. Н. Голубенцев. – М.: Машгиз, 1959. – 306 с.

5. Кожевников С. Н. Динамика машин с упругими звеньями / С. Н. Кожевников. – К.: Изд-во АН УССР, 1961. – 190 с.

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

УДК 621.787

В.І. Гурей, аспірант
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Розроблено комп'ютерну програму в середовищі MatLAB для обчислення динамічних параметрів процесу фрикційного зміцнення плоских поверхонь деталей машин з застосуванням пристроїв зі змінною жорсткістю.

Ключові слова: *моделювання, динамічні процеси, фрикційне зміцнення.*

Разработана компьютерная программа в среде MathLAB для вычисления динамических параметров процесса фрикционного упрочнения плоских поверхностей деталей машин с применением приспособлений с изменяемой жесткостью.

Ключевые слова: *моделирование, динамические процессы, фрикционное упрочнение.*

A computer program is developed in MathLAB to calculate the dynamic parameters of the process of the frictional hardening of planar surfaces of machine parts using devices with variable stiffness.

Key words: *simulation, dynamic processes, friction hardening.*

Постановка проблеми. Експлуатаційні характеристики деталей машин та механізмів залежать не стільки від якості металу всього перерізу, скільки від фізико-хімічних властивостей та стану поверхні виробів, які формуються на кінцевих стадіях виготовлення деталей. Обумовлено це тим, що в поверхневих шарах при різних схемах навантаження виникають найбільші напруження. При дії циклічних навантажень наявні концентратори сприяють розвитку втомних процесів у поверхневому шарі матеріалу. При виготовленні деталей машин необхідно забезпечити оптимальні показники якості поверхні, зокрема шорсткість, макро- і мікроструктуру матеріалу, твердість, величину і знак залишкових напружень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні застосовуються методи поверхневої обробки та зміцнення з використанням висококонцентрованих джерел енергії. При цих методах на відносно невеликі об'єми поверхневого шару металу діють з великими швидкостями концентровані потоки енергії високої інтенсивності та з наступним його швидким охолодженням. Фрикційна обробка належить до таких методів поверхневого зміцнення. За своєю природою вона аналогічна до процесу шліфування. Висококонцентрований потік енергії утворюється при високошвидкісному (60-80 м/с) терті металевого інструмента-диска по оброблюваній деталі в зоні їх контакту. У зону обробки подається у технологічне середовище [1]. При такій обробці у поверхневому шарі деталей проходить інтенсивне зсувне деформування металу і відбуваються структурні та фазові перетворення з утворенням зміцнених (білих) шарів, які мають специфічні фізико-механічні, електрохімічні, корозійні й експлуатаційні характеристики [2].

Дослідження процесу фрикційного зміцнення проводились, в основному, стосовно формування поверхневого шару металу, вплив його на довговічність деталей. На фор-

мування параметрів якості обробленої поверхні суттєво впливають динамічні процеси, які виникають у зоні контакту інструмент-деталь при їх фрикційному зміцненні.

Формулювання мети. Динамічні процеси, які виникають при фрикційному зміцненні, практично не досліджувались. Тому метою цієї роботи було визначити динамічні параметри, які виникають при фрикційному зміцненні плоских поверхонь.

Виклад основного матеріалу. Фрикційне зміцнення, як зазначалось, аналогічне до процесу шліфування. Замість абразивного круга встановлюється металевий інструмент-диск. При зміцненні плоских поверхонь використовуються модернізовані плоскошліфувальні верстати, у яких збільшено колову швидкість на периферії робочої поверхні інструменту до 60-70 м/с. Для збільшення інтенсивності зсувного деформування поверхневого шару металу в зоні контакту інструмент-деталь, на робочій поверхні інструмента нарізані поперечні пази. Зміцнені поверхневі шари утворюються за рахунок дії теплового потоку та зсувного деформування.

Інструмент-диск притискається до оброблюваної поверхні деталі з силою, яка змінюється залежно від режимів обробки, застосовуваного технологічного середовища, форми робочої частини інструменту та інших параметрів. У зоні контакту діє сила взаємодії, яка виникає за рахунок високошвидкісного тертя інструмента по оброблюваній поверхні деталі. Робоча поверхня інструмента є перервною. Ширина паза вибирається такою, щоб вона була більшою від ширини зони контакту інструмент-деталь. При проходженні паза над зоною контакту сила притиску та сила взаємодії інструмент-деталь розривається контакт з інструментом і на певний момент часу вони рівні нулеві. При входженні у контакт наступного виступу інструменту проходить ударне навантаження зони контакту. Під дією вказаних сил відбувається коливання системи верстат-інструмент-пристосування-деталь у горизонтальному і вертикальному напрямах.

Взаємодія між окремими масами описується двома видами зв’язків – пружними зв’язками, які характеризуються жорсткістю, та демпфуючими зв’язками, які характеризуються коефіцієнтами демпфування. Для дослідження пружної системи верстата розглядаємо систему вздовж горизонтальної і вертикальної осей.

Для опису пружної системи плоскошліфувального верстату при фрикційному зміцненні плоских поверхонь інструментом з перервною робочою частиною запишемо систему диференціальних рівнянь. Отриману систему диференціальних рівнянь розв’язуємо, застосовуючи метод Рунге-Кутта четвертого порядку, використовуючи середовище MatLAB. Блок-схема програми для моделювання динамічних процесів фрикційного зміцнення плоских поверхонь деталей із змінною жорсткістю пристрою наведена на рисунку 1, а робоче вікно програми – на рисунку 2.

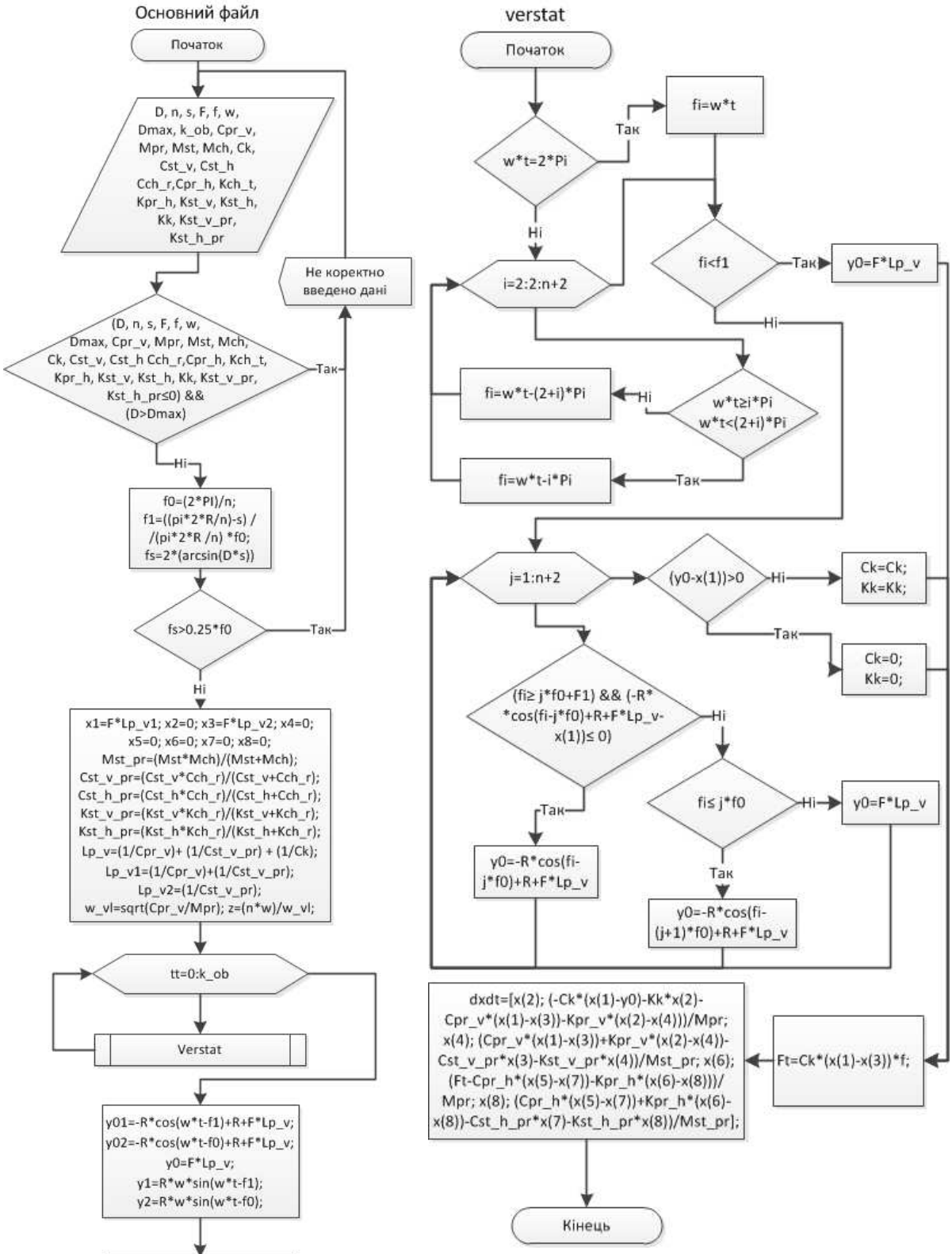


Рис. 1. Блок-схема програми для моделювання динамічних процесів фрикційного зміцнення плоских поверхонь деталей із змінною жорсткістю пристрою

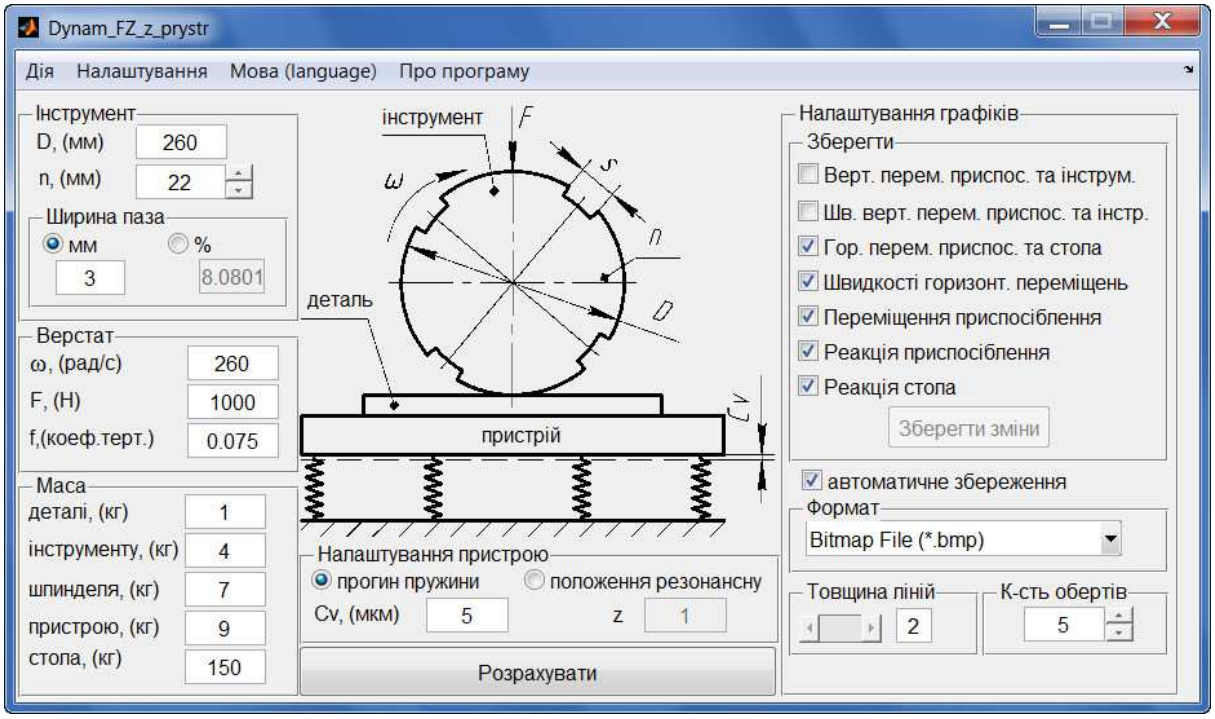


Рис. 2. Робоче вікно програми

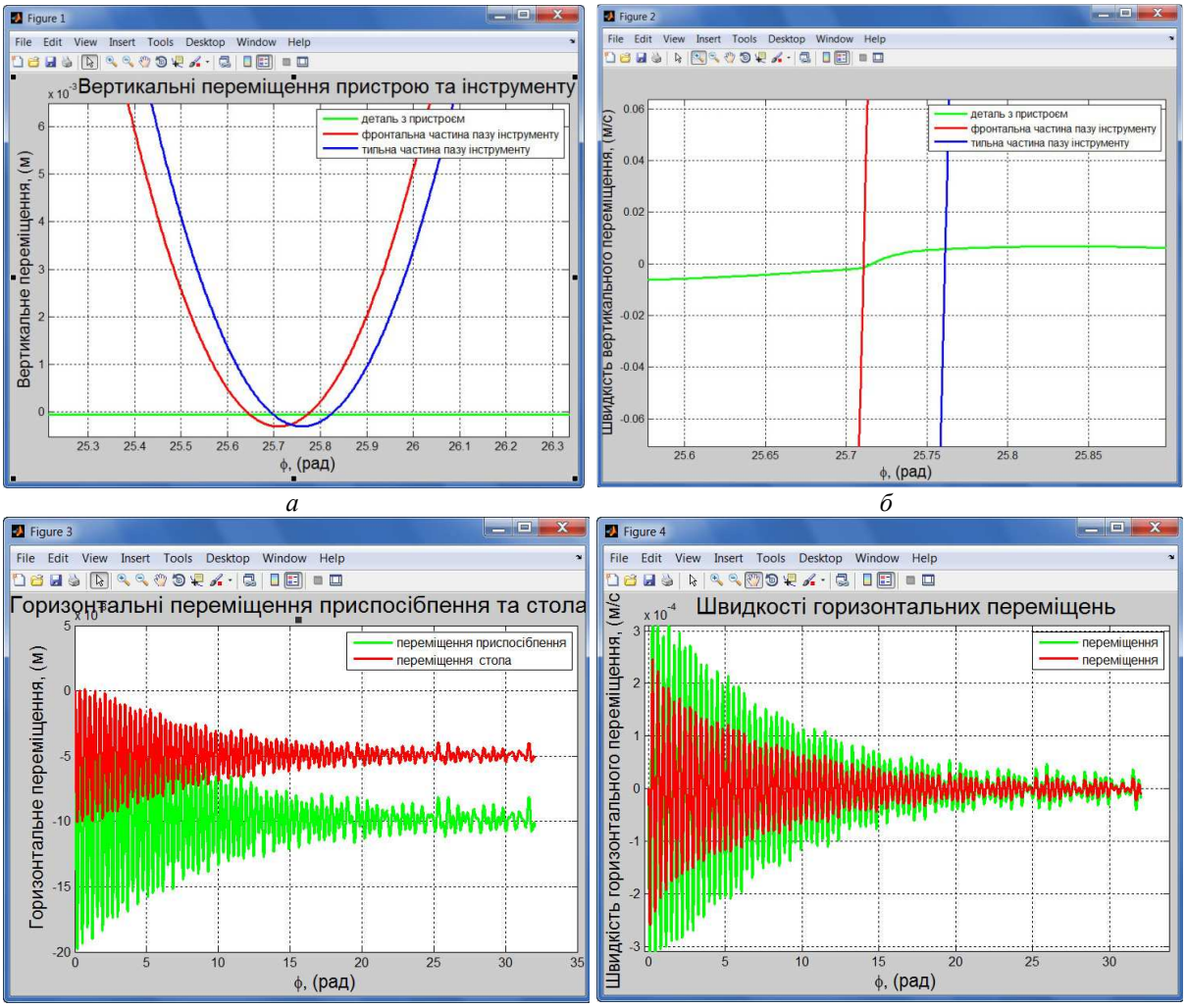
Деталь на верстаті може бути закріплена на магнітній плиті, а також у спеціальному пристрої, який кріпиться на столі верстата. Пристрій розроблено таким чином, що можна змінювати його жорсткість. Дослідження показали, що на формування зміцненого шару впливає жорсткість верстату. Змінити жорсткість шпиндельного вузла чи стола верстату є проблематично, тому було запропоновано використовувати пристрій для закріплення деталі зі змінною жорсткістю.

Розроблена програма для динамічного моделювання пружної системи верстата дозволяє визначати вертикальні та горизонтальні переміщення інструменту, деталі, пристрою та стола верстата; відображає фазовий кут удару гладкою частини інструменту; швидкість вертикальних та горизонтальних переміщень інструменту, деталі, пристрою та стола верстата; реакції пристрою та стола верстата. У програмі маємо можливість зміни параметрів інструменту, маси інструменту, деталі, пристрою та стола верстата, а також жорсткість системи. Після завершення роботи програми отримані результати обчислень виводяться у вигляді графіків (рис. 3-4).

У момент проходження пазу над зоною контакту інструмент-деталь сам контакт між робочою поверхнею деталі й інструмента відсутні, так як вибрана ширина пазу є набагато більшою за зону контакту. При входженні гладкої частини інструменту відбувається ударне навантаження зони контакту. Зона контакту деформується під дією виступу початку гладкої робочої частини на величину вертикальної подачі, на яку виставлений інструмент. Поверхня зони контакту деталі продовжує ще переміщатись глибше і початковий момент навіть відривається від інструмента. У поверхневому шарі проходять затухаючі коливні переміщення у вертикальному напрямі. Після проходження гладкої частини інструменту і наступного входження пазу, поверхневий шар металу розвантажується і зона контакту переміщується вертикально, тобто відновлює свої розміри після зняття навантаження. У поверхневому шарі оброблюваної деталі проходять інтенсивні коливні процеси під дією ударних навантажень інструмента (рис. 3).

Точка перетину кривої переміщення тильної частини пазу з кривою переміщення поверхні деталі дає можливість визначити фазову кут удару інструменту по оброблюваній поверхні. За даним кутом ми можемо визначити швидкості вертикальних перемі-

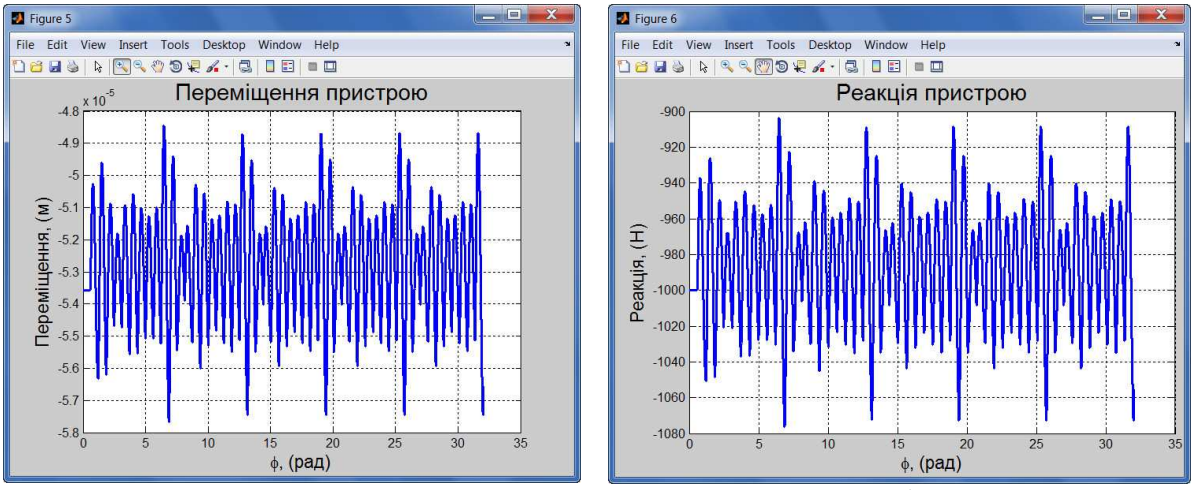
щень точки, яка є початком гладкої робочої частини інструменту та точкою на обробленій поверхні у зоні контакту інструмента з деталлю (рис. 3, *б*).



а *б*

в *г*

Рис. 3. Вертикальні переміщення пристрою та інструменту (а, б), горизонтальні переміщення пристрою та стола верстату (в) та швидкість горизонтальних переміщень (г) при фрикційному зміцненні плоских поверхонь



а *б*

Рис. 4. Переміщення (а) та реакція (б) пристрою при фрикційному зміцненні плоских поверхонь інструментом з перервною робочою поверхнею

Характер зміни швидкості вертикальних переміщень оброблюваної поверхні показує про складні динамічні процеси, які виникають у поверхневих шарах при фрикційному зміцненні з використанням інструмента з поперечними пазами на його робочій частині. Вказані переміщення будуть впливати на якісні характеристики обробленої поверхні, а також на формування зміцненого шару.

Висновки. Розроблена комп'ютерна програма дослідження динамічної моделі процесів, які проходять при фрикційному зміцненні плоских поверхонь деталей машин інструментом з перервною робочою частиною, дозволяє оцінити вертикальні та горизонтальні переміщення, їх швидкості, фазовий кут удару інструменту і деталі, пристрою та стола верстата, а також реакції пристрою та стола верстата. При цьому отримуємо графічні залежності вказаних параметрів процесу зміцнення.

Отримані результати динамічних процесів при фрикційному зміцненні дозволяють оптимізувати режими зміцнення, виходячи з якісних параметрів обробленої поверхні.

Список використаних джерел

1. Бабей Ю. И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю. И. Бабей, Б. И. Бутаков, В. Г. Сысоев. – К.: Наукова думка, 1995. – 253 с.

2. Гурей І. В. Формування нанокристалічних структур у поверхневих шарах сталевих деталей при фрикційному зміцненні / І. В. Гурей // Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов международной научно-технической конференции: в 4-х т. Т. 1. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – С. 276-279.

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

УДК 674.047

П.В. Білей, д-р техн. наук
Б.І. Приставський, аспірант
НЛТУ України, м. Львів, Україна

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБНИЧИХ УСТАНОВОК ДЛЯ СУШІННЯ ПОДРІБНЕНОЇ ДЕРЕВИНИ ТА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ

Розглянуто ефективність використання обладнання для сушіння подрібненої деревини, його технічні характеристики, переваги та недоліки. Описано методику визначення вологості подрібненої сировини.

Ключові слова: *конвективні сушарки, агент сушіння, подрібнена деревина, вологість, температура, обладнання.*

Рассмотрена эффективность использования оборудования для сушения измельченной древесины, его технические характеристики, преимущества и недостатки. Описана методика определения влажности измельченного сырья.

Ключевые слова: *конвективные сушилки, агент сушения, измельченная древесина, влажность, температура, оборудование.*

Efficiency of the use of equipment is considered for drying of the ground up wood, him technical descriptions, advantages and failings. The method of determination of humidity of the ground up raw material is described.

Key words: *konvektivni dryers, agent of drying, ground up wood, humidity, temperature, equipment.*

Технологія виробництва плит, пелетів та паливних брикетів вимагає, щоб подрібнена деревина мала низьку вологість від 2 до 10 %, залежно від призначення, виду матеріалу і фракції. Початкова вологість сировини для виготовлення подрібненої деревини може мати значення 10...20 % для сухих відходів деревообробних та 80…120 % для сирих відходів. Таким чином, сушіння подрібненої деревини є обов'язковим технологічним процесом, на який витрачається значна кількість теплової енергії.

Конвективні сушарки з пневмомеханічним переміщенням матеріалу, як правило, працюють з використанням агента сушіння топкових газів. Конструктивно їх оформлюють як нерухомі або рухомі (обертовий рух) барабани. В деревообробній промисловості використовують три види барабанів: рухомий одноходовий, рухомий трьохходовий та нерухомий з сопловим дуттям. Найчастіше використовують одноходовий рухомий барабан (сушарки "Прогрес"), як найбільш простий за виконанням та достатній за продуктивністю. Але недоліками цих сушарок є те, що здійснюється додаткове подрібнення стружки з утворенням пилу, який налипає на лопатках і часто загоряється при попаданні іскор. У цих сушарках теплообмін між матеріалом і агентом сушіння відбувається, в основному, за рахунок конвекції (до 75 %). Решта тепла передається за рахунок контакту подрібненої деревини з нагрітими поверхнями та тепловим випромінюванням від нагрітих поверхонь [1-3].

Цей сушильний комплекс (рис. 1) використовується для сушіння подрібненої деревної сировини (тирси, щепи), яка використовується для виробництва пелетів та брикетів. Як агент сушіння, використовуються топкові гази.

Характеристики сировини для виготовлення брикетів та пелетів при експериментальному випробуванні барабанної установки (барабан однопрохідний – діаметр 1600 мм, довжина 8000 мм, утеплений):

$W_п$ – початкова вологість матеріалу, $W_п$ = 55,3...88,2 %;

$W_к$ – кінцева вологість матеріалу, $W_к$ = 6,0...12,1 %;

$t_{вхід}$ – температура на вході в сушильний барабан, $t_{вхід}$ = 350...730 ^{0}C;

$t_{вихід}$ – температура на виході з сушильного барабану, $t_{вихід}$= 80...88 ^{0}C.

Рис. 1. Сушильна установка барабанного типу.

У цьому агрегаті температуру агента сушіння на виході не можна підвищувати у зв'язку з обмеженням у температурних режимах витяжного вентилятора до 90 ^{0}С. Як показали дослідження, потрібно керувати вихідною температурою в межах 76...85 ^{0}С, тоді вихідний продукт буде мати вологість 6...12 %, що повністю задовольняє, вимогам для формування брикетів та пелетів. На вході в сушильний барабан може бути і до 700 ^{0}С залежно від початкової вологості матеріалу. Недоліком такого сушіння є те, що брикети і пелети можуть набувати бурого кольору з домішками частинок сажі, що відповідає вимогам II або III сорту. На експорт найдорожче оцінюються пелети та паливні брикети білого кольору. В цьому випадку може застосуватись установка для тонкої очистки димових газів.

Конвективні сушарки з пневматичним переміщенням матеріалу приймають за принципом сушіння подрібненої деревини у зваженому стані, при якому забезпечується інтенсивний теплообмін матеріалу з середовищем. Агентом сушіння в пневматичних сушарках є топкові гази. Використовують два типи сушарок: труба-сушарка, аерофонтанна сушарка. Найчастіше використовують аерофонтанні сушарки. У зв'язку з розширенням діаметра конуса швидкість злету подрібненої деревини зменшується, і вона опускається до низу, де попадає на зустрічний струмінь нагрітого агента сушіння. Так відбувається сушіння до тих пір, поки гравітаційні сили перевищують силу дуття агента сушіння, і подрібнена деревина подається в наступну лійкоподібну конструкцію, де проходить подальший етап сушіння. У таких сушарках відбувається самовільна диференціація подрібненої деревини за величиною фракції: більш дрібна фракція скоріше висушується і скоріше переміщається до наступного конуса, а потім і до циклона. Такі сушарки добре працюють при однорідній фракції подрібненої деревини. Недоліком цих сушарок є те, що в різний період процесу сушіння не регулюються параметри сушильного середовища. В різні періоди процесу сушіння, залежно від розміру фракції та початкової вологості матеріалу, потрібно витрачати різну кількість теплової енергії, що в цих сушарках реалізувати неможливо.

Сушіння подрібненої деревини має такі особливості. Процес сушіння можна чітко розділити на два періоди: коли виділяється вільна волога (до середньої вологості 30 %) та коли випаровується зв'язана волога. Подрібнена деревина характеризується розвинутою поверхнею випаровування вологи і тому в початковий період можна давати високу температуру сушильного середовища до tc = 300...500 ^{0}С, що не завдає шкоди матеріа-

лу (його температура досягає тільки точки кипіння води, тобто 100 ^{0}C). Потім температуру агента сушіння потрібно різко знизити до 180 ^{0}C, бо поріг займання подрібненої деревини знаходиться в межах 200...250 ^{0}C. Тому процес сушіння подрібненої деревини слід розділяти на дві частини: коли випаровується вільна волога (від початкової вологи деревини до W = 30 %) та коли випаровується зв'язана волога (від 30 % до кінцевої вологи W = 2...6 %).

Такий спосіб сушіння можна реалізувати на сушильній установці, принципова схема якої зображена на рисунку 2.

Рис. 2. Аерофонтанна сушильна установка.

Цей агрегат дає можливість використовувати нижчу температуру (t_c = 260...450 ^{0}C) топкових газів, ніж при сушінні барабанною сушильною камерою. В проведених експериментальних дослідженнях було показано, що температура на виході із труби-сушарки повинна знаходитися в межах 115-125 ^{0}C, тоді продукт на виході буде мати вологість 7-12 %, що повністю задовольняє умовам виготовлення паливних брикетів і пелетів.

Характеристика сировини для виготовлення брикетів та пелетів при експериментальному випробуванні двоконтурної аерофонтанної сушарки: в дослідженні використана подрібнена деревини з початковою вологістю $W_п$ = 50...80 % і кінцевою вологістю $W_к$ = 9...12 %.

Температура агента сушіння на вході в сушарку $t_{вхід}$ = 260...450 ^{0}C, на виході $t_{вихід}$ = 115...125 ^{0}C.

Вологість подрібненої деревини визначається, як правило, ваговим способом. Невеликий об'єм сирої подрібненої деревини (біля 1000 см^3) зважується на лабораторній електронній вазі з точністю до 0,1 г і висушується до абсолютно сухого стану (коли маса об’єму стає постійною) і знову зважується, а далі за допомогою формули визначається початкова вологість стружки (подрібненої деревини)

$$W_n = \frac{M_n - M_0}{M_0} 100\%, \qquad (1)$$

де M_n – маса вологої стружки, г;

M_0 – маса стружки в абсолютно сухому стані, г.

Початкова вологість подрібненої деревини визначається перед її подачею до сушильного барабану. Кінцева вологість висушеної подрібненої деревини визначається

аналогічним методом. Проба відбирається з бункера сухої стружки, встановленого після циклону.

$$W_k = \frac{M_k - M_0}{M_0} 100\%, \quad (2)$$

де M_k – маса висушеної подрібненої деревини, г;

M_0 – маса подрібненої деревини досушеної до абсолютно сухого стану, г.

Тривалість сушіння – проходження матеріалу по сушарці – визначається за формулою

$$\tau = \frac{0,2L_б}{\bar{h}\left[ztg\psi + \frac{0,0514}{\bar{\delta}} (\rho V)^{1,7} \right] n^{0,7}}, \quad (3)$$

де $L_б$ – довжина робочої частини сушильного барабану, м;

$\bar{h}$ – середня висота падіння частинок матеріалу, м;

z – число лопаток у кожному секторі барабана;

ψ – кут нахилу барабана;

$\bar{\delta}$ – середній розмір частинок, мм;

ρV – середня вагова швидкість, кг/(м^2 с).

Продуктивність барабанної сушарки за годину роботи можна визначити за формулою

$$П = 60V_б / \tau, \quad (4)$$

де $V_б$ – об'єм сушильного барабана, м^3.

Сумарна кількість теплоти, яка витрачається на процес сушіння подрібненої деревини, визначається з умов теплового балансу за рівнянням

$$Q = \alpha_v V_б \bar{\Delta t}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

де α_v – об'ємний коефіцієнт тепловіддачі, який характеризує кількість тепла, переданого до матеріалу, віднесене до одиниці об'єму сушарки, Вт/(м^3 ^{0}С);

$\bar{\Delta t}$ – середня різниця температур між газом (агентом обробки) і матеріалом, ^{0}С.

$$\bar{\Delta t} = \frac{t_1 - 30}{2.3 \lg \frac{t_1 - 20}{10}}. \quad (6)$$

Вираз (6) показує, що температура матеріалу до сушіння прийнято $t_м$ = 20 ^{0}С, а в кінці процесу сушіння температура матеріалу є нижчою тільки на 10 ^{0}С від температури середовища (де t_1 – це температура середовища на вході в сушарку).

Об'ємний коефіцієнт тепловіддачі можна визначити за виразом

$$\alpha_v = \frac{A\beta(\rho V)^{0.6}}{B + C_n}, \text{ Вт/(м}^3{}^0\text{С)}, \quad (7)$$

де A, B, C – константи, які визначають характеристику висушуваного матеріалу;

β – коефіцієнт об'ємного заповнення барабана стружкою;

ρV – вагова швидкість руху агента обробки, кг/(м^2 с);

n – число обертів барабана сушарки.

Сумарна кількість теплоти, яка йде на процес сушіння з кількості теплоти на початкове нагрівання матеріалу ($Q_{нагр}$), на випаровування вологи з деревини ($Q_{вип}$) та втрати через огородження сушильної установки ($Q_{ог}$). Отже,

$$Q = Q_{наг} + Q_{вип} + Q_{ог}. \quad (8)$$

Таким чином, використання вищої теплової здатності палива дає великий енергетичний та економічний ефект. Однак є певні застереження – паливні пелети і брикети, що йдуть на експорт, мають бути білого кольору, тому тут потрібно встановлювати додаткове обладнання для тонкої очистки димових газів від сажі. На внутрішній ринок пелети і паливні брикети допускаються жовтуватого та бурого кольору, що свідчить про наявність там сажі (яка до речі є також додатковим вуглецевим компонентом палива). Отже, пелети і паливні брикети, що йдуть на внутрішній ринок, мають більшу теплотворну здатність.

Список використаних джерел

1. Стернин Д. М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит / Д. М. Стернин. – М.: Лесная промышленость, 1977. – 383 с.
2. Білей П. В. Сушіння та захист деревини: підручник / П. В. Білей, В. М. Павлюст. – Львів: Кольорове небо, 2008. – 312 с.
3. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П. С. Серговский. – М.: Лесная промышленость, 1987. – 360 с.

УДК 621.91:678.5

А.П. Тарасюк, д-р техн. наук
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНИЗОТРОПНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Целью исследования является установление силовых и энергетических закономерностей процесса резания волокнистых полимерных композитов и их влияние на выходные параметры процесса обработки, а также подготовка исходных данных для моделирования контактного взаимодействия режущего инструмента с волокнистым полимерным композитом.

Ключевые слова: *резание, полимерные композиты, режущий инструмент, поверхностный слой, прочностные свойства.*

Метою дослідження є встановлення силових і енергетичних закономірностей процесу різання волокнистих полімерних композитів та їх вплив на вихідні параметри процесу обробки, а також підготовка початкових даних для моделювання контактної взаємодії різального інструменту з волокнистим полімерним композитом.

Ключові слова: *різання, полімерні композити, різальний інструмент, поверхневий шар, прочністні властивості.*

A research aim are establishment of power and power conformities to law of process of cutting of fibred polymeric compos and their influence on the data-outs of process of treatment, and also preparation of basic data for the design of pin co-operation of tailpiece with a fibred polymeric compo.

Key words: *cutting, polymer composites, cutting tools, surface layer, the strength properties.*

Постановка проблемы. Для оценки силовых и энергетических характеристик процесса резания, правильного понимания физической природы процесса резания и влияния его параметров на разрушение композитов и формирование поверхностного слоя, необходимо проанализировать влияние этих условий на прочностные свойства волокнистых полимерных композитов (ВПК).

Анализ последних исследований и публикаций. Исследователями, занимающимися созданием композитов выявлены изменения упругих и прочностных свойств композитов при изменении направления и скорости их деформации, температуры, влажности и ряда других показателей [1-4]. Однако до сих пор исследователи процесса резания композитов эти изменения не учитывали, что подтверждается проведённым обзором литературных источников.

Постановка задач исследования:

- установить влияние условий резания на упругие и прочностные свойства композитов, а также силовые и энергетические характеристики процесса резания;
- найти оптимальные динамические характеристики процесса резания;
- установить влияние энергетических характеристик процесса резания на его выходные параметры.

Изложение основного материала исследования. Для анизотропных композитов такие понятия, как прочность, жёсткость, ударная вязкость, теряют смысл, если они указываются в отрыве от направления действия нагрузки, поэтому все проведённые нами результаты даются с указанием направления силового воздействия относительно осей армирующих волокон.

Поскольку условия резания влияют на упругие и прочностные свойства композитов непосредственно через величину приложенной механической нагрузки, температуру, направление и скорость приложенной нагрузки, именно эти параметры и использовались в качестве варьируемых. Исследовали три волокнистых полимерных композита: стеклопластик, стеклоорганопластик и органопластик. Формы образов, методы крепления и нагружения на "растяжение – сжатие" принимались в соответствии с ГОСТ 25.601-80; ASTM D 3039-76 (растяжение) и ГОСТ 25.602-80; ASTM D 3410-75.

Формы образов, методы крепления и нагружения при испытаниях на изгиб и удар принимались в соответствии с JSOR 179, JISK 6911, ASTM D 256.

На рисунках 1-6 показаны графики изменения модуля упругости первого рода в зависимости от направления растяжения или сжатия для различных композиционных материалов.

Учитывая, что исследуемые нами композитные материалы являются ортотропными (ортогонально изотропными) можно с достаточной степенью точности принять, что модуль упругости второго рода G представляет собой модуль упругости $E_{45}{}^{o}$, соответствующий направлению 45°, поэтому экспериментальное определение модуля упругости второго рода нами не проводилось.

Полученные экспериментальные данные проверили расчетом с использованием правила смесей [5; 6] (расчет производили для направлений действия вектора силы 0 и 90^{0} с использованием формулы 1 и 2). Расхождение между экспериментальными и расчетными данными составило не более 12÷15 %

$$E_{0^0} = \frac{Ef \cdot Em}{En \cdot Vf + Ef\left(1 - Vf\right)}; \tag{1}$$

$$E_{90^0} = \alpha \cdot Ef \cdot Vf + Em(1 - Vf), \tag{2}$$

где Ef и Em – модули упругости первого рода волокна и матрицы; Vf – объёмное содержание волокна в композите; α – коэффициент при ортогональном расположении волокон равен 0,5.

При макромеханическом подходе к проблеме прочности армированных композиционных материалов, как и при анализе упругих деформативных характеристик, армированный композиционный материал (КМ) рассматривается в качестве анизотропного тела с определённой симметрией структуры.

Анизотропия прочности КМ выражается не только в зависимости прочности и ориентации нагрузки, но и в различии пределов прочности при растяжении и сжатии по каждому направлению; а так же в зависимости от пределов прочности на сдвиг и от знака касательных напряжений [6; 7]. Например, под действием касательных напряжений разного знака в композите, армированном параллельными волокнами, возникают неэквивалентные с физической точки зрения состояния. В одном случае волокна испытывают сжатие, а матрица – растяжение, а во втором наоборот. Поскольку пределы прочности матрицы и волокон обычно существенно отличаются, прочность ВПК при сжатии и растяжении также разная, что объясняется различием в механизмах разрушения [6].

В работе экспериментально устанавливали пределы прочности на растяжение и сжатие в разных направлениях, контрольные расчёты проводили вдоль главных осей с использованием правила смесей. Ниже приводятся экспериментальные результаты зна-

чения пределов прочности для разных направлений приложения нагрузки в стеклопластике, органопластике, стеклоорганопластике (рис.1-3).

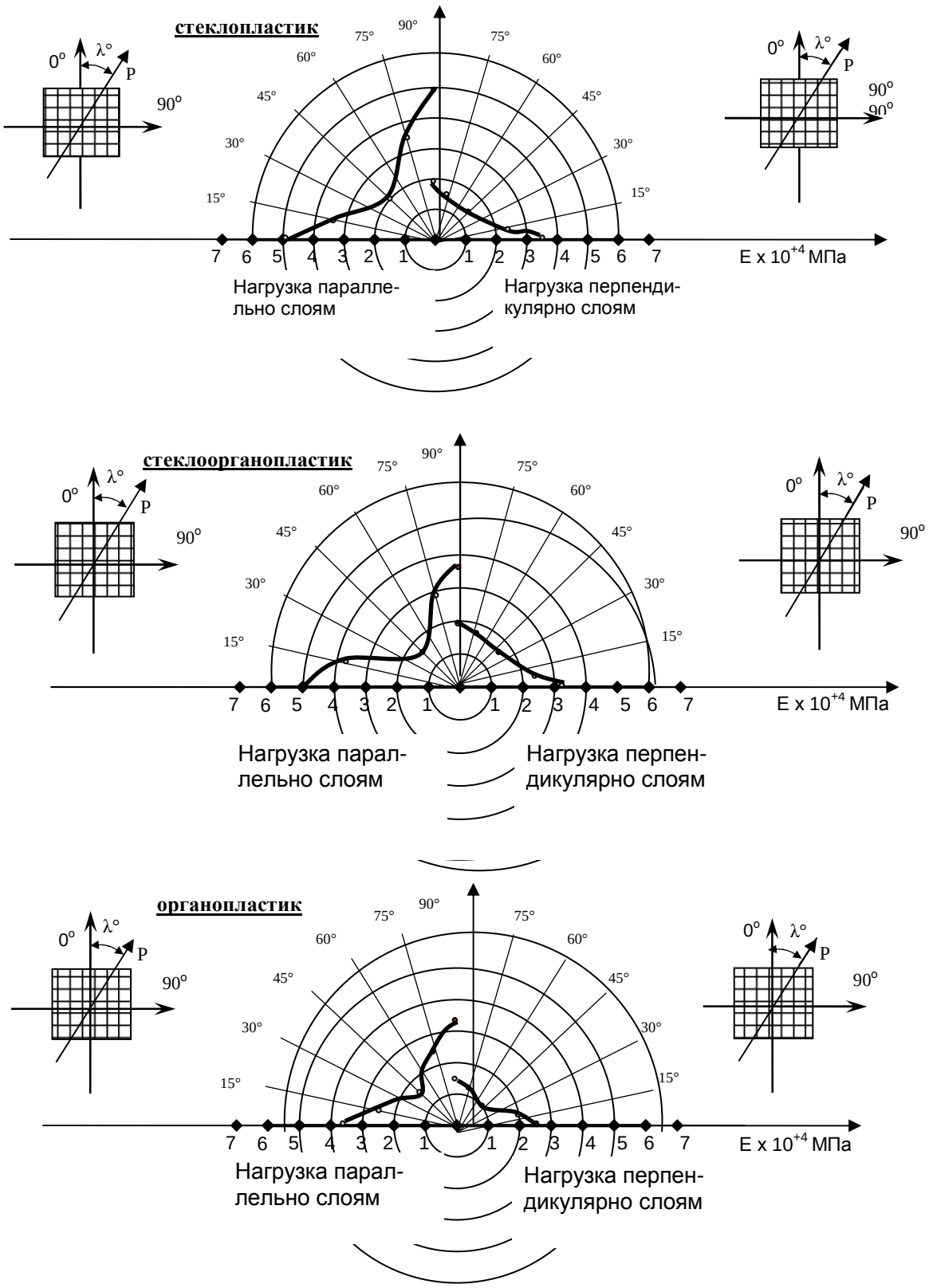


Рис. 1. Графики изменения модуля упругости первого рода в зависимости от направления растяжения

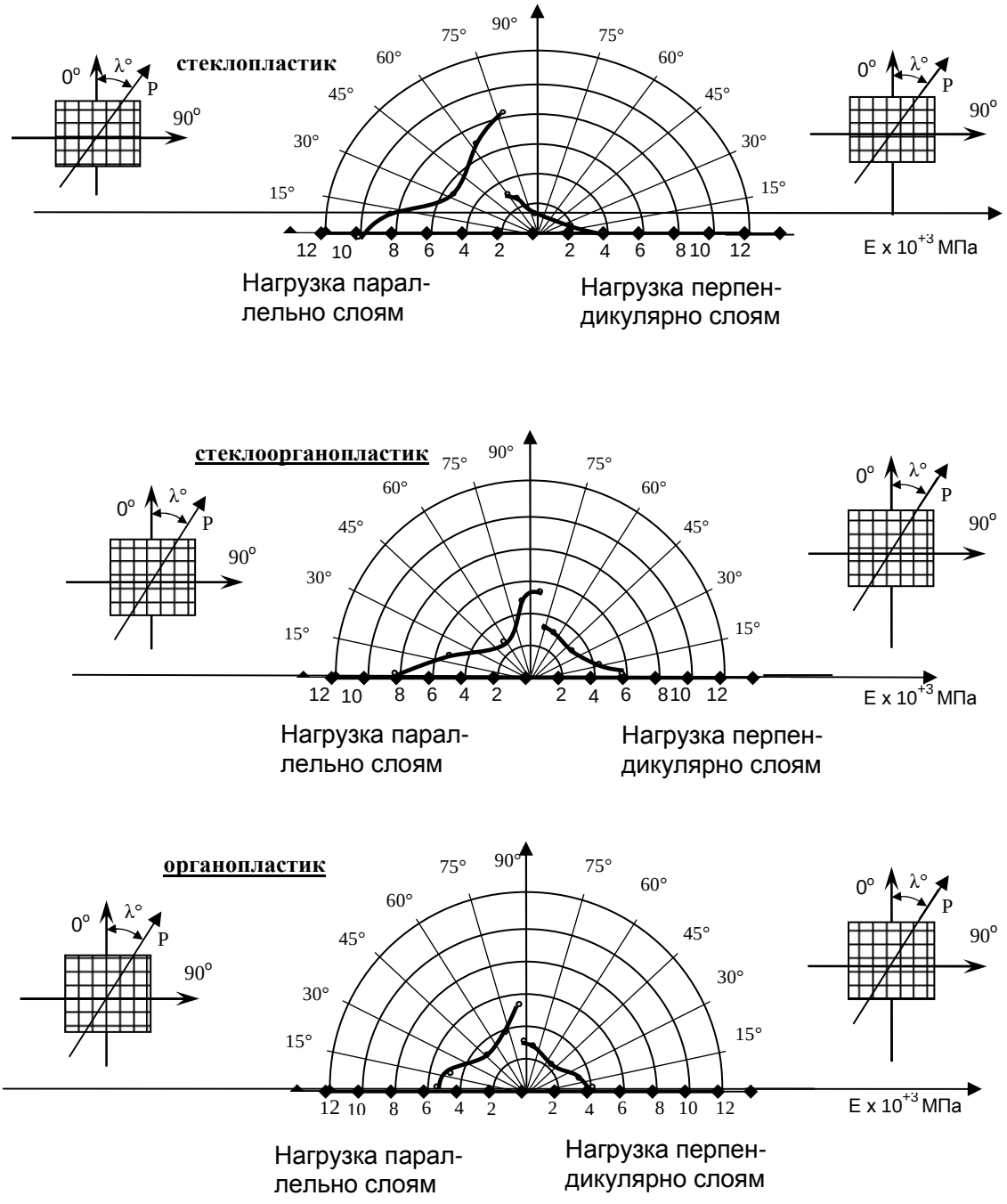


Рис. 2. Графики изменения модуля упругости первого рода в зависимости от направления сжатия

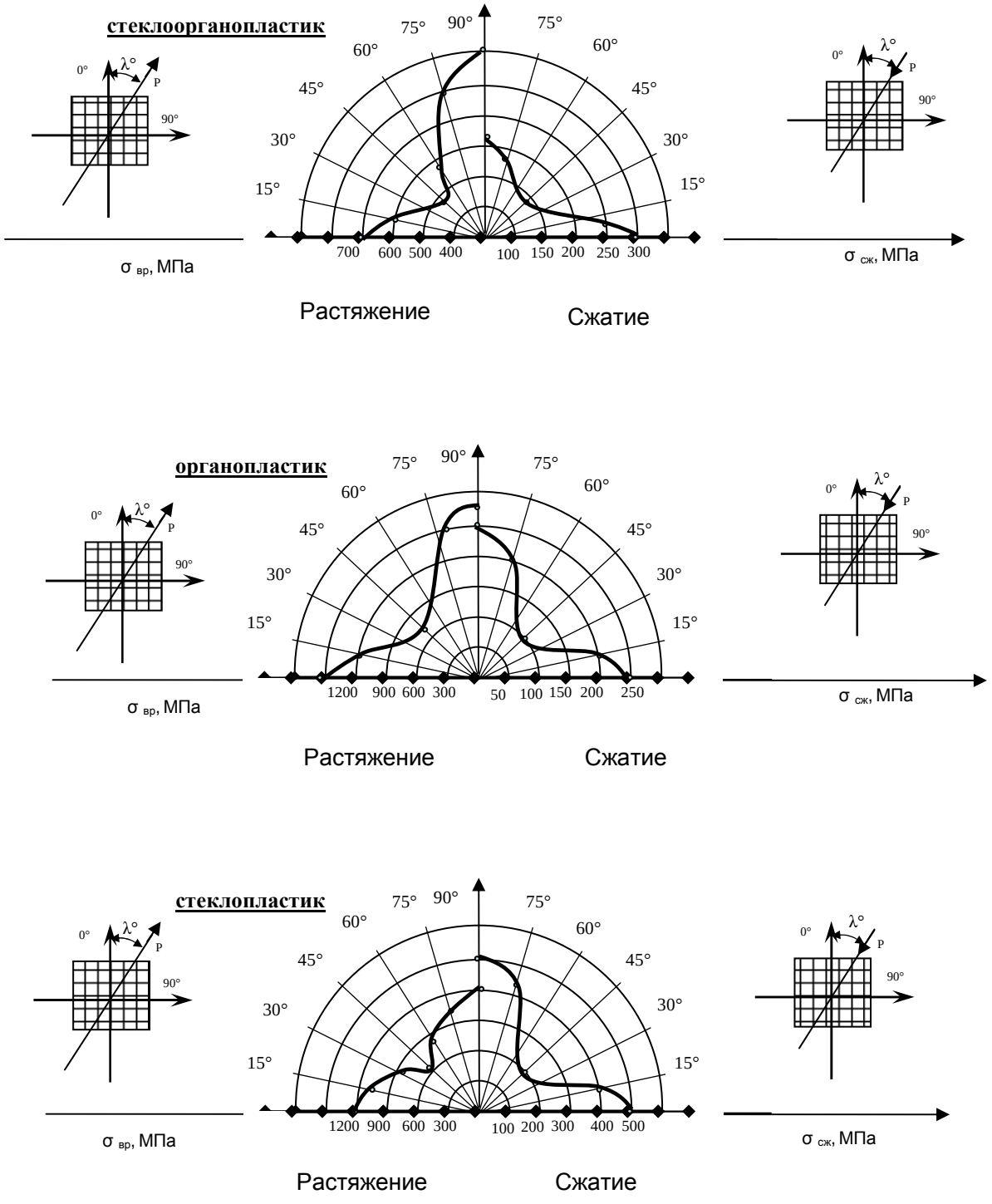


Рис. 3. Графики изменения прочности композитов в зависимости от направления приложенной нагрузки

Проведенные исследования влияния направления приложенной нагрузки на упругие и прочностные свойства композита позволили установить, что максимальных значений прочность и жёсткость достигает в направлении главных осей, поэтому при выборе схемы обработки это необходимо учитывать. Кроме того, очевидно приобретает существенное значение в обеспечении эффективности механической обработки волокнистых композитов

выбор направления вектора движения лезвия режущего инструмента относительно условных осей армирующих волокон (главных осей композита), таким образом, чтобы минимизировать разрушения по поверхности раздела структурных компонентов.

Известно [8; 9], что такие характеристики, как деформация и разрушение материала зависят от того, каким образом изменяется нагрузка во времени. Исследования [10] показывают, что характеристики композитов изменяются при динамическом приложении нагрузки. С увеличением скорости приложения нагрузки, скорость деформации возрастает, что сопровождается изменением предела прочности [6]. Вязкоупругость материала так же меняется, следовательно диаграмма напряжения – деформация при динамических воздействиях будут отличаться от диаграмм, которые имеют место при статическом нагружении.

На рисунке 4 приведены результаты экспериментального исследования, полученного на слоистых пластинах из стеклопластика. По оси ординат отложен предел прочности при растяжении δ_B, а по оси абсцисс величина ε, представляющая собой отношение интервала времени, протекающего с момента нагружения до разрушения, к деформации, возникающей при разрушении. Это отношение можно рассматривать как величину, обратную средней скорости деформации. При малых значениях величины C, скорость деформации является высокой, т. е. нагрузки носят ударный характер. Большие значения C соответствуют малым скоростям деформации и статическому приложению нагрузки. С возрастанием С величина δ_B – уменьшается.

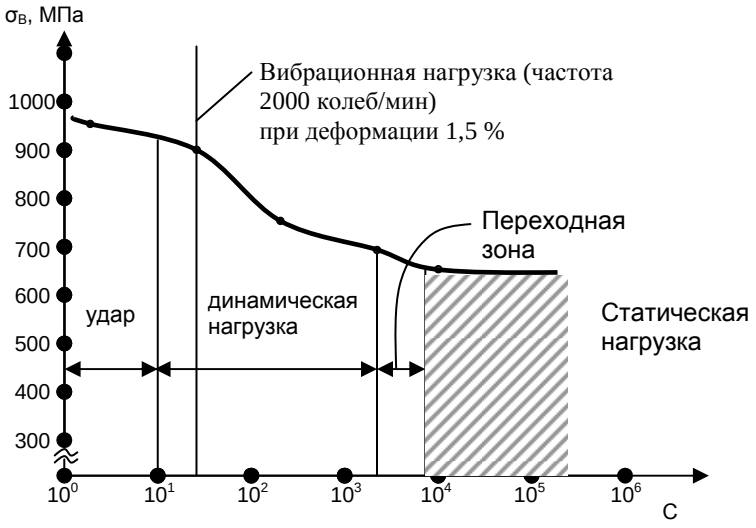


Рис. 4. Зависимость разрушающего напряжения от скорости приложенной нагрузки

Скорость приложения нагрузки начинает отчётливо проявляться, когда значение C оказывается меньше $2 \cdot 10^3 \frac{мс}{ед.деф.}$, что соответствует динамической нагрузке, вибрационной усталости и т. д.

Исследования, проведённые при различных скоростях деформации, показали, что скорость деформации оказывает довольно существенное влияние на модуль упругости первого рода – Е и практически не оказывает влияния на модуль упругости второго рода (рис. 5). Это обстоятельство говорит о том, что при различных скоростях деформации поведение (разрушение или не разрушение) границы раздела структурных компонентов композита различно.

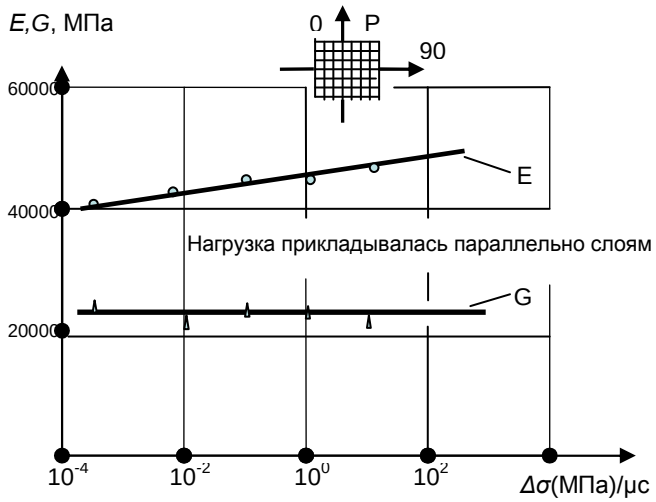


Рис. 5. Зависимость модулей упругости от скорости изменения нагрузки (стеклопластик)

Для удобства рассмотрения результатов исследования по влиянию скорости приложения нагрузки на прочность композитов, по оси абсцисс откладывали непосредственно скорость деформирования *V*, м/с (рис. 6).

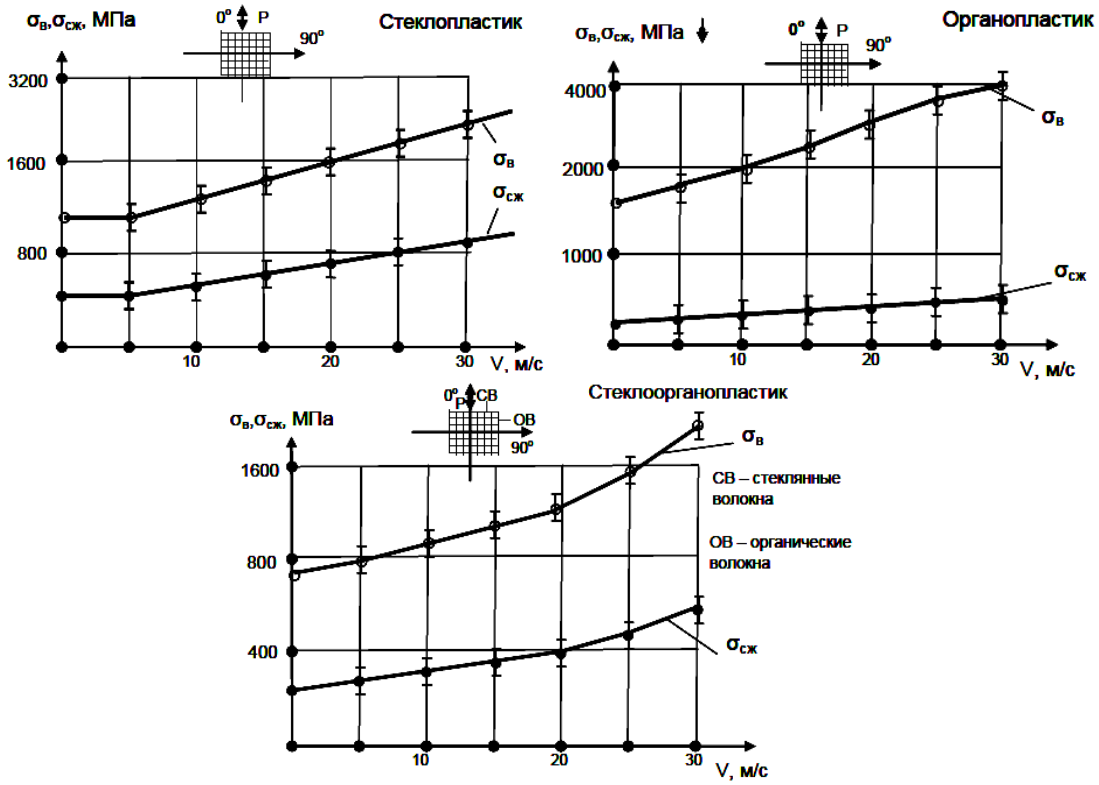


Рис. 6. Зависимость прочности композита от скорости деформации

При исследовании поведения композита при разрушении можно выделить два этапа:

1) процесс, протекающий до образования повреждений и разрушения;

2) процесс, связанный с развитием повреждений и протекающий до полного разрушения.

Первый этап характеризуется упругим поведением образца. На втором этапе происходит быстрое развитие трещины, которое сопровождается падением нагрузки. На рисунке 7 показан процесс разрушения стеклопластика и его схематическое представле-

ние. Результаты, представленные на рисунках 7-8, получены экспериментально с применением стандартной методики, описанной в [11].

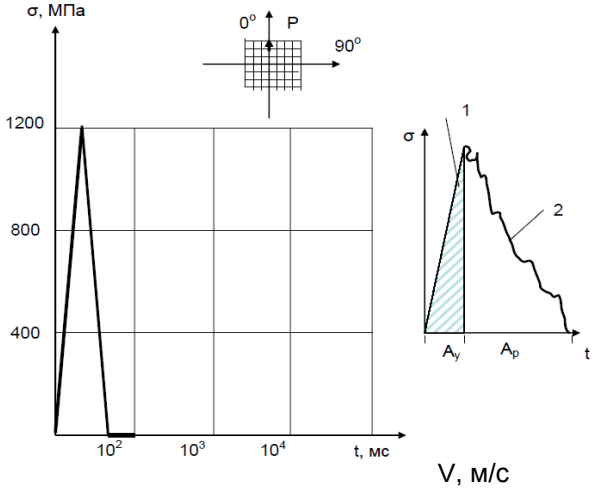


Рис. 7. Изменение во времени нагрузки при разрушении стеклопластика (V = 10 м/с): 1 – область образования трещин, 2 – область распространения трещин. Заштрихованная область соответствует упругому этапу разрушения

На этом этапе затрачивается работа *Ay*. Совершаемую после этого работу обозначим через *Ap*. Отношение этих работ даёт возможность определить степень хрупкости разрушения:

$$ID = Ay / Ap. \tag{3}$$

Суммарная работа затрачиваемая на разрушение:

$$A = Ay + Ap = \int FVdt. \tag{4}$$

Таким образом, с уменьшением величины работы *Ap*, разрушение приближается к абсолютно хрупкому.

На рисунке 8 представлены результаты исследования по влияние скорости деформирования на степень хрупкости разрушения стеклопластика.

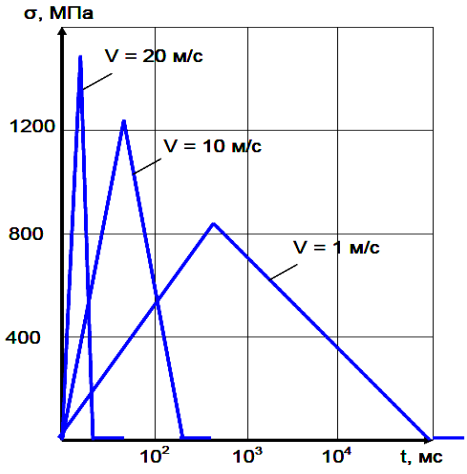


Рис. 8. Изменение во времени нагрузки при разрушении стеклопластика.

Анализ графиков показывает, что с увеличением скорости деформирования уменьшаются общие энергозатраты на разрушение (уменьшается площадь треугольников) и повышается хрупкость разрушения (увеличивается соотношение работ *Ay*/*Ap*).

Для подтверждения вышеизложенного были проведены исследования по установлению влияния скорости деформирования на ударную вязкость композитов. Результаты исследования показаны на рисунке 9.

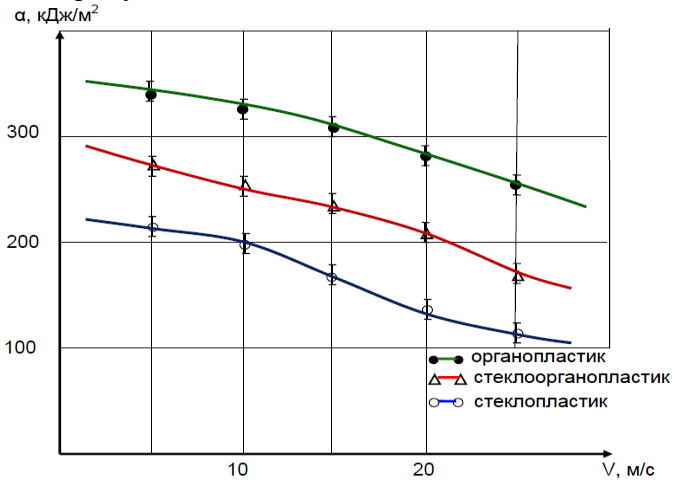


Рис. 9. Влияние скорости деформирования композита на ударную вязкость (нагружение параллельно слоям, для стеклоорганопластика вдоль органических волокон)

С увеличением скорости деформирования динамическая ударная вязкость повышается для всех представителей полимерных композитов, которые подвергались испытаниям.

Выводы по данному исследованию. Установлено, что с увеличением скорости деформирования и снижением температуры в зоне разрушения снижается ударная вязкость композита и энергия разрушения (энергозатраты на разрушение) и повышается хрупкость разрушения за счёт увеличения отношения работы упругой деформации к работе распространения трещин.

Список использованных источников

1. Берлин А. А. Основы адгезии полимеров / А. А. Берлин, В. Е. Басин. – М.: Химия, 1969. – 320 с.
2. Буланов И. М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов / И. М. Буланов, В. В. Воробей. – М.: МГТУ им. И. Э. Баумана, 1998. – 516 с.
3. Барамбойм Н. К. Механохимия высокомолекулярных соединений / Н. К. Барамбойм. – М.: Химия, 1978. – 384 с.
4. Армарего Д. Обработка металлов резанием / Д. Армарего, Р. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 280 с.
5. Бартенёв Г. М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Г. М. Бартенёв. – М.: Химия, 1984. – 280 с.
6. Фудзии Т. Механика разрушения композиционных материалов: пер. с яп. / Т. Фудзии, М. Дзако. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
7. Кобояши А. Явление разрушения при резании / А. Кобояши // Разрушение твердых полимеров. – М.: Машиностроение, 1971. – С. 386-405.
8. Браутман Л. Композиционные материалы / Л. Браутман, Р. Крок. – М.: Мир, 1978. – Т. 5. – 320 с.
9. Майборода В. П. Скоростное деформирование конструкционных материалов / В. П. Майборода, А. С. Кравчук, Н. Н. Хомин. – М.: Машиностроение, 1986. – 264 с.
10. Физико-химия и механика ориентированных стеклопластиков / под ред. Г. А. Андреевской. – М.: Наука, 1967. – 263 с.
11. Тарасюк А. П. Расширение функциональных возможностей волокнистых полимерных композитов за счет разработки эффективных процессов механической обработки: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / А. П. Тарасюк. – Х., 2011. – 567 с.

УДК 674.494.051.532.1

П.И. Чередниченко, д-р техн. наук
С.П. Корниенко, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ЖИДКОЙ ПЛЕНКИ НА ВРАЩАЮЩЕМСЯ ДИСКЕ

В статье приведены результаты теоретического исследования процесса образования пленки замасливателя на поверхности вращающегося диска, частично погруженного в замасливатель. Показано, что толщина пленки замасливателя, захватываемая диском зависит как от физических параметров замасливателя, так и от окружной скорости диска и глубины его погружения в замасливатель.

Ключевые слова: *замасливающий диск, замасливатель, жидкая пленка, нить, окружная скорость, глубина погружения, толщина пленки.*

У статті наведені результати теоретичного дослідження процесу утворення плівки замаслювача на поверхні диска, що обертається, який частково занурений у замаслювач. Показано, що товщина плівки замаслювача, яка захоплюється диском, залежить як від фізичних параметрів замаслювача, так і від кругової швидкості диска і глибини його занурення у замаслювач.

Ключові слова*: диск, що замаслює, замаслювач, рідка плівка, нитка, кругова швидкість, глибина занурення, товщина плівки.*

Theoretical experimental results of the lubricant film formation process on the rotating disk surface partially immersed into lubricant are given the article. It is shown that the lubricant film thickness on the disk surface depends on lubricant physical parameters, disk rotation speed and dept of disk immersion into lubricant.

Key words: *lubricant disk, lubricator, liquid film, filament, speed of rotation, dept of immersion, film thickness.*

Актуальность проблемы. В настоящее время производство химических нитей и волокон относится к числу наиболее прогрессивных и быстро развивающихся отраслей химической промышленности. На свойства химических нитей оказывают влияние многочисленные, преимущественно взаимосвязанные факторы, и, как правило, улучшение свойств нити может быть получено в результате усовершенствования технологии и оборудования на всех стадиях производства [1]. Одним из таких является участок нанесения на нить замасливателя при формовании. На качество замасливания химических нитей существенное влияние оказывает как технологический режим проведения процесса, так и способ нанесения замасливателя, зависящий от конструкции устройств для их нанесения. В связи с этим теоретические и экспериментальные исследования, направленные на усовершенствование технологических режимов замасливания и создание новых конструкций замасливающих устройств и систем, обеспечивающих повышение качества выпускаемых нитей, представляет большой практический интерес и является актуальной научной задачей.

Постановка задачи. В настоящее время дисковый способ нанесения различных отделочных жидкостей на движущиеся нити наиболее распространенный в производстве химических нитей и волокон. Количество наносимой на нити жидкости, а также точность и равномерность ее нанесения существенно зависят от толщины и равномерности пленки на рабочей поверхности диска. Следовательно, для правильного ведения процесса замасливания, а также для расчета и проектирования дисковых устройств важно знать математические зависимости для определения толщины пленки жидкости на рабочей поверхности диска.

Основная часть. Как известно [2], движущееся в жидкой среде твердое тело увлекает за собой прилегающие частицы жидкости вследствие прилипания последних к поверхности тела. При движении диска в жидкости на погруженной части его поверхности образуется пограничный слой, который развивается от нулевой толщины при входе поверхности диска в жидкость до максимального значения при выходе поверхности диска в воздушную среду. Толщина пограничного слоя является величиной переменной, возрастающей в направлении вращения диска.

При выводе теоретических зависимостей для определения толщины жидкой пленки в основном используются уравнения Навье-Стокса и уравнение неразрывности пото-

ка [2]. Движение пленки замасливателя на поверхности диска можно описать уравнениями Навье-Стокса для пограничного слоя и уравнением неразрывности, которые в данном случае имеют вид:

$$\frac{\upsilon_\varphi^2}{r}+\frac{k_2}{\rho}-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial P}{\partial r}=0; \tag{1}$$

$$\upsilon_r\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial r}+\frac{\upsilon_\varphi}{r}\cdot\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial\varphi}+\frac{\upsilon_r\upsilon_\varphi}{r}=\frac{k_\varphi}{\rho}-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial P}{\partial\varphi}+\frac{1}{r}\cdot\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\tau_{r\varphi}\right); \tag{2}$$

$$\frac{\partial\upsilon_r}{\partial r}+\frac{\upsilon_r}{r}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial\varphi}=0, \tag{3}$$

где r, φ – соответственно, радиальная и окружная координаты цилиндрической системы координат; υ_r, υ_φ – составляющие скорости в направлении этих координат; P – давление; ρ – плотность жидкости; $\tau_{r\varphi}$ – касательное напряжение; K_r, K_φ – массовые силы.

Касательное напряжение

$$\tau_{r\varphi}=\mu\cdot r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\upsilon_\varphi}{r}\right), \tag{4}$$

а массовые силы

$$k_\varphi=-\rho\cdot g\sin\varphi;\ \ k_r=\rho\cdot g\cos\varphi, \tag{5}$$

где μ – коэффициент динамической вязкости жидкости; g – ускорение свободного падения.

Преобразуя данные уравнения и используя новую (криволинейную) систему координат, а также учитывая малость толщины пленки по сравнению с радиусом диска, уравнения (1) и (2) можно представить в упрощенном виде:

$$\frac{\partial\upsilon_y\upsilon_x}{\partial y}+\frac{\partial\upsilon_x^2}{\partial x}=-g\sin\left(\varphi_0+\frac{x}{R_0}\right)-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y}; \tag{6}$$

$$\frac{\upsilon_x^2}{R_0}+g\cos\left(\varphi_0+\frac{x}{R_0}\right)-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial P}{\partial y}=0, \tag{7}$$

а уравнение неразрывности

$$\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}+\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}=0, \tag{8}$$

где y – координата, направленная по нормали к поверхности пленки жидкости, $y=r-R_0$; R_0 – радиус диска; x – координата вдоль дуги меридиана поверхности жидкой пленки, $x=(\varphi-\varphi_0)R_0$; φ_0 – угол погружения диска в жидкость.

Уравнение для касательного напряжения (4) представим в виде:

$$\tau_{yx}=\mu\frac{\partial\upsilon_x}{\partial y}. \tag{9}$$

Пренебрегая инерционными членами и решая полученные уравнения с граничными условиями, приведенными в работе [3], после неоднократного интегрирования, находим выражение для определения окружной скорости диска υ_x:

$$\upsilon_x = \upsilon_0 + \left\{\frac{\sigma}{\mu}\frac{d^3h}{dx^3} + \left[\frac{\sigma}{\mu R_0^2} + \frac{g}{\nu}\cos\left(\varphi_0 + \frac{x}{R_0}\right)\right]\frac{dh}{dx} - \frac{g}{\nu}\sin\left(\varphi_0 + \frac{x}{R_0}\right)\right\}\left(h - \frac{y}{2}\right)y - \\ -\frac{1}{6}\left(3h^2y - 3hy^2 + y^3\right)\frac{g}{\nu R_0}\sin\left(\varphi_0 + \frac{x}{R_0}\right), \quad (10)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости; h – толщина пленки жидкости (текущее значение); ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Откуда после интегрирования получаем дифференциальное уравнение, определяющее зависимость толщины пленки от координаты вдоль течения пленки x:

$$\frac{\sigma}{\mu}\cdot\frac{d^3h}{dx^3} + \frac{g}{\nu}\left[\frac{\sigma}{\rho\cdot g\cdot R_0^2} + \cos(\varphi_0 + \frac{x}{R_0})\right]\frac{dh}{dx} - \frac{g}{\nu}(\frac{3}{8}\frac{h}{R_0} + 1)\sin(\varphi_0 + \frac{x}{R_0}) = \frac{3(j - \upsilon_\partial h)}{h^3}, \quad (11)$$

где υ_∂ – окружная скорость диска; j – плотность потока жидкости (поток, приходящийся на единицу толщины диска), увлекаемой вращающимся диском.

На границе диск - поверхность жидкости, образуется мениск, в области которого $\frac{dh}{dx}$ достигает максимума, поэтому уравнение (11) описывает толщину пленки вдали от мениска, где выполняется условие [3]

$$\frac{dh}{dx} << 1. \quad (12)$$

Анализ дифференциального уравнения (11) в предположении, что

$$\frac{\sigma}{\rho\cdot g\cdot R_0^2} << 1, \quad (13)$$

показывает, что некоторыми членами уравнения, ввиду их малости, можно пренебречь. Вводя безразмерные переменные, получим уравнение (11) в безразмерном виде:

$$\frac{d^3\eta}{d\xi^3} - \frac{gj^2}{3\nu\upsilon_0^3}\sin(\varphi_0 + \frac{x}{R_0}) = \frac{(1-\eta)}{\eta^3}, \quad (14)$$

где η и ξ – безразмерные переменные,

$$\eta = \frac{\upsilon_\partial h}{j},\ \xi = \left(\frac{3\mu}{\sigma}\right)^{1/3}\frac{\upsilon_\partial^{3/4}}{j}.$$

Учитывая граничные условия, изложенные в работе [3], при медленном вращении диска толщина пленки в области мениска может быть описана уравнением для статического мениска, которое можно представить для диска, погруженного в жидкость с неограниченной поверхностью, в виде [3]:

$$\frac{\frac{d^2h}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dh}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} = \sqrt{\frac{2\rho g}{\sigma}(1 + \cos\Psi)}, \quad (15)$$

где Ψ – угол наклона к горизонту касательной плоскости в любой точке поверхности пленки в области мениска.

Для того, чтобы решение уравнения статического мениска (15) переходило в решение уравнения для увлекаемой диском пленки (14), в области перехода принимается

требование непрерывности второй производной [3]. Поскольку в этой области $\psi = \varphi_0$, а $\frac{dh}{dx} \to 0$, то для статического мениска выполняется условие

$$\left.\frac{d^2h}{dx^2}\right|_{x=x_0} = \sqrt{\frac{2\rho \cdot g}{\sigma}(1+\cos\varphi_0)}. \qquad (16)$$

Перейдя к безразмерным переменным, получим

$$\left.\frac{d^2\eta}{d\xi^2}\right|_{\xi=\xi_0} = \frac{j}{\upsilon_\partial^{5/3}}\left(\frac{\sigma}{3\mu}\right)\left(\frac{2\rho \cdot g}{\sigma}\right)^{1/2}\sqrt{1+\cos\varphi_0}. \qquad (17)$$

Решение уравнения (14) с граничными условиями, приведенными в работе [3] приводит к следующему значению второй производной $\left.\frac{d^2\eta}{d\xi^2}\right|_{\xi=\xi_0} = 0,63$.

Подставляя найденное значение в уравнение (17) и, исходя из условий (11), получаем уравнение для толщина пленки вдали от мениска:

$$h = \frac{j}{\upsilon_\partial} = \frac{0,655}{\cos\frac{\varphi_0}{2}}\upsilon_\partial^{2/3}\left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^{1/6}\left(\frac{\mu}{\rho \cdot g}\right)^{1/2}. \qquad (18)$$

Обозначая $A = \frac{0,655}{\cos\frac{\varphi_0}{2}}\left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^{1/6}\left(\frac{\mu}{\rho \cdot g}\right)^{1/2}$, получим $h_0 = A\upsilon_\partial^{2/3}$.

Анализируя условия [3] с учетом полученного результата (18), устанавливаем, что оно в решаемой задаче будет выполнятся, если

$$\frac{0,143}{\cos^2\frac{\varphi_0}{2}}\left(\frac{\mu \cdot \upsilon_\partial}{\sigma}\right)^{1/3} << 1. \qquad (19)$$

Заметим, что для выполнения условия (19), необходимо, чтобы значение угла погружения диска φ_0 не приближалось к π, что всегда выполняется при нанесении замасливающей эмульсии на нити при формовании.

Анализ полученных зависимостей показывает, что толщина пленки замасливателя, захватываемого диском, зависит как от физических параметров замасливателя, так и от окружной скорости диска и глубины его погружения в замасливатель. При постоянном составе и неизмененных физических параметрах замасливателя, толщина пленки будет полностью зависеть от окружной скорости диска, при использовании эмульсии тепрэм-6 и глубины погружения диска в эмульсию $15 \cdot 10^{-3}$ м зависимость для толщины пленки имеет вид

$$h_0 = 0,253 \cdot 10^{-3}\upsilon_\partial^{2/3}.$$

Изменение угла погружения диска φ_0 в замасливатель в существующих пределах от 14° до 46° на толщину пленки влияет незначительно. Зависимости изменения толщины пленки на поверхности диска от окружной скорости диска приведены на рисунке.

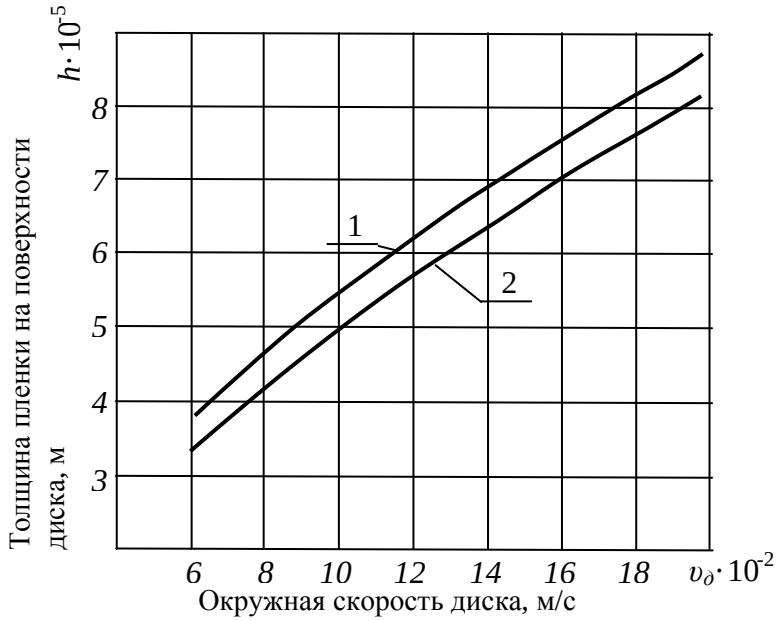


Рис. 1. Зависимости толщины плёнки от окружной скорости диска и глубины его погружения в замасливатель:

1 – угол погружения диска в замасливатель $\varphi_0 = 46^\circ$;

2 – угол погружения диска в замасливатель $\varphi_0 = 14^\circ$.

Выводы. Следовательно, полученная математическая зависимость (18) может быть использована для определения толщины пленки замасливателя на поверхности замасливающего диска, частично погруженного в замасливатель.

Список использованных источников

1. Смирнов Л. С. Текстурированные нити / Л. С. Смирнов, В. Н. Шавлюк. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 232 с.

2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.

3. Чередниченко П. И. Розработка технологического процесса и оборудования для замасливания химических нитей: дис. д-ра техн. наук: 05.19.03, 05.02.13 / П. И. Чередниченко. – М., 1989. – 568 с.

УДК 691.6:621.791:666.1.037.42

Л.Я. Березін, канд. техн. наук
І.О. Прибитько, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СИТАЛИ, СКЛО В БУДІВНИЦТВІ І МАШИНОБУДУВАННІ ТА СПОСОБИ ЇХ З'ЄДНАННЯ

Представлені результати аналізу та досліджень процесів з'єднання ситалів, скла в будівництві та машинобудуванні з метою отримання нероз'ємних з'єднань з мінімальними залишковими напруженнями.

Ключові слова: *ситали, скло, будівництво, машинобудування, зварювання.*

Представлены результаты анализа и исследований процессов соединения ситаллов, стекла в строительстве и машиностроении с целью получения неразъёмных соединений с минимальными остаточными напряжениями.

Ключевые слова: *ситаллы, стекло, строительство, машиностроение, сварка.*

Presents the results of the analysis and research of the processes of joining sitalles, glass in construction and mechanical engineering with a view to obtaining permanent joints with minimal residual tension.

Key words: *sitalles, glass, construction, mechanical engineering, welding.*

Постановка проблеми. Скло та ситали (склокристалічні матеріали) являють собою неорганічні матеріали широкого технічного призначення. На сьогодні відомо багато сфер використання скла і ситалів [1].

Найбільше використання знайшли: кварцове скло (марок КВ, КУ), силікатне скло з домішками бору (у вигляді B_2O_3 – боросилікатне), алюмінію (у вигляді Al_2O_3 – алюмосилікатне), ситали систем $Li_2O – Al_2O_3 – SiO_2$ і $MgO – Al_2O_3 – SiO_2$ з домішками TiO_2 (Ті як каталізатор кристалізації при виробництві силікатного скла). Отримання склокристалічної структури в ситалах дозволило зберегти оптичну прозорість матеріалу і, в той же час, суттєво підвищити міцність, твердість, жаростійкість та інші властивості.

У багатьох випадках постає завдання отримання нероз'ємних вузлів (з'єднання, що не допускають повторної операції складання та демонтажу), які використовуються у великогабаритних конструкціях. Отримання нероз'ємних вузлів зі скла і ситалів здійснюють за рахунок використання: глибокого оптичного контакту, склеювання, паяння, спікання і зварювання.

Глибокий оптичний контакт (ГОК) є одним із самих досконалих способів одержання нероз'ємних безклеєвих з'єднань оптичних елементів [2]. Він дозволяє міцно скріпити деталі, зберігаючи якості робочих поверхонь. ГОК заснований на силах молекулярного зчеплення поверхонь, що контактують, сполучною ланкою між якими служить плівка двоокису кремнію, що наноситься на одну або обидві поверхні. Зміни, що відбуваються в плівці кремнезему, приводять до взаємодії поверхонь, що контактують, і утворенню монолітного з'єднання, при якому границя між поверхнями, що контактують, зникає. Цей метод використовують при одержанні складних оптичних вузлів з декількох оптичних деталей.

Незважаючи на переваги, ГОК застосовується порівняно рідко, так як важко підбирати в пари деталі з поверхнями, що збігаються до $N \leq 0,5$ (допустимі відхилення поверхні плоскої деталі від площинності не більш $N = 0,2 – 0,5$), особливо на площах великого розміру. Складно також домогтися необхідної чистоти в повітрі і на робочому місці. Здійснення методу на практиці пов'язано з великими матеріальними витратами.

Сьогодні існує достатньо клеїв (на основі епоксидних і поліморфних смол) та технологій їх застосування, але треба зауважити, що поява деформацій у склеєних вузлах неминуча. Це обумовлено зміною об'єму і властивостей речовини, що клеїть, у процесі склеювання і при подальших термообробках, різними фізико-механічними характеристиками матеріалів деталей, що склеюються, і самого клею, зовнішніми навантаженнями, що прикладаються до склеєного вузла. Застосування для з'єднання деталей оптич-

них приладів клеїв не тільки знижує їхню властивість, а і властивості самого клею з часом при зберіганні за рахунок його «старіння».

Паяні (легкоплавкими та неметалічними припоями) з'єднання надійніші і твердіші клейових. У той же час слід зазначити, що якість паяного з'єднання визначається міцністю зв'язку припою з матеріалами основи. Ступінь надійності і довговічності спаю визначається насамперед значеннями напружень в області робочих температур. Однак різниця в температурних коефіцієнтах лінійного розширення (ТКЛР) матеріалів, що паяються, в інтервалі між температурою паяння і зоною робочих температур звичайно досить значна: напруження під час паяння і під час експлуатації можуть мати різні знаки.

Найбільших значень напруження досягають під час паяння різнорідних матеріалів. При виготовленні паяних конструкцій доводиться з'єднувати матеріали з різними фізико-механічними властивостями. Різниця в ТКЛР матеріалів деталей, що з'єднуються, веде до утворення в паяному шві внутрішніх температурних напружень. Чим більша різниця в ТКЛР, тим більші залишкові напруження виникають в з'єднанні після паяння. На рисунку 1 показано розподіл напружень у ситалових і кварцових пластинах спаяних зразків [3].

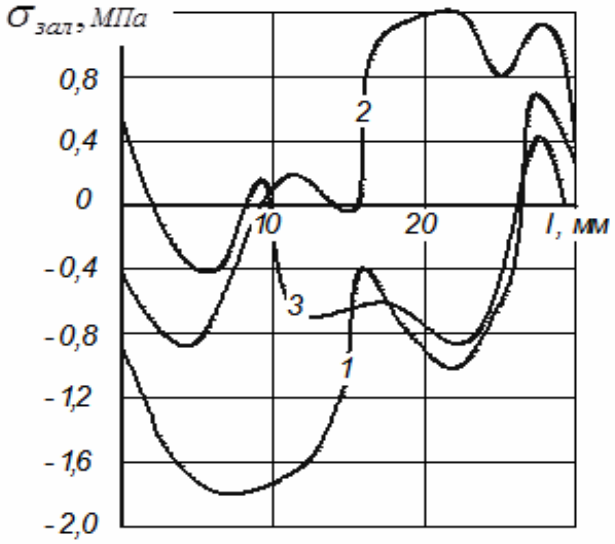


Рис. 1. Розподіл напружень уздовж паяного шва: 1 – у ситаловій пластині; 2 – у кварцовій пластині з'єднання ситал – кварц; 3 – у ситаловій пластині з'єднання ситал – ситал

Криві 1 і 2 отримані у вузлі, який було спаяно з кварцової і ситалової пластин, крива 3 – із двох ситалових пластин. Усі пластини мали розміри 30х20х12 мм і спаювалися припоєм зі свинцю з застосуванням пасти, що містить титан. Вимірювання напружень проводилося при кімнатній температурі (процес паяння – при 620 °С). Напруження, що виникають у спаяних зразках, розподіляються уздовж шва нерівномірно, постійно змінюються за величиною, а іноді і за знаком. Хоча по ТКЛР кварц (КУ-1) і ситал (СО-115М) відрізняються один від іншого незначно, з'єднання паянням приводить до вигину зразка: ситалова пластина в зоні паяння має напруження стиску, кварцова – розтягнення. Напруження досить великі, значно перевищують ті, що виникають при склеюванні в аналогічних умовах. Очевидно, тут дається в знаки більш широкий діапазон температурних змін і велика твердість матеріалу припою у порівнянні з клеєм.

У деяких випадках при склеюванні скляних виробів виникає місцеве (локальне) накопичення значних залишкових напружень у вигляді «вусів», що веде під час експлуатації таких вузлів до їх руйнування.

Зараз накопичено достатній експериментальний матеріал по вивченню механічних характеристик клейових та паяних з'єднань крихких матеріалів, таких якими є скло і си-

тали [4]. У цілому з'єднання, отримані за допомогою склеювання та паяння, мають необхідні експлуатаційні характеристики, але іноді вони не працездатні в режимах великих статичних і динамічних навантажень, вібрацій і високих температур та їх перепаду.

В останні десятиріччя ведуться спроби отримання працездатних вузлів зі скла і ситалів з використанням зварювання. Отримані позитивні результати зварювання скляних трубопроводів діаметром до 100 мм і товщиною стінки до 7 мм [4]. Найбільш відомі позитивні результати, отримані при виготовленні вузлів різних приладів з використанням дифузійного зварювання у вакуумі [5; 6], але і в цьому випадку є проблемою виникнення значних внутрішніх напружень у зоні зварного шва і відносно невелика міцність зварного з'єднання.

Мета та завдання роботи. Розробка процесу зварювання вузлів зі скла та ситалів, який би дозволяв суттєво зменшити внутрішні напруження в зоні зварного шва та підвищити міцність зварних з'єднань.

Виклад основного матеріалу досліджень. У ході дослідження використовувались: кварцове скло марки КВ-1, ситал СО-115М, алюміній марки А 999, хімічний склад та властивості яких наведено в таблицях 1-5.

Приклади вузлів, що зварювалися, наведені на рисунку 2.

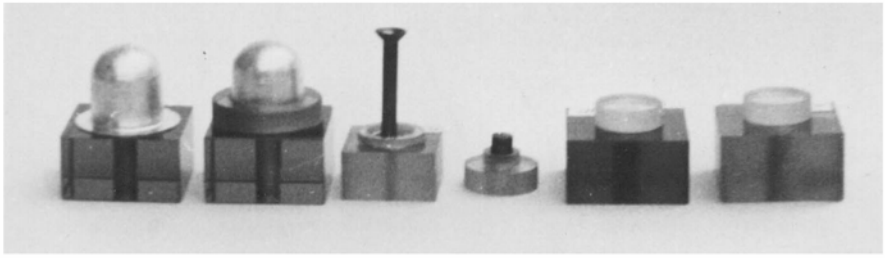


Рис. 2. Приклади зварних вузлів

Алюміній марки А 999 – алюміній особливо чистий. Хімічний склад його 99,9 % алюмінію.

Таблиця 1

Властивості алюмінію марки А 999

Властивість	**Значення**
Питома вага, г/см^3	2,7
Температура плавлення, К	933,46
Температура кипіння, К	2793
Середній ТКЛР в інтервалі 293-773 К, $\alpha \times 10^{-6}$, 1/К	27,7
Теплопровідність при 473 К, Вт/м·К	239
Питома теплоємність при 293 К, Дж/г·К	0,8974
Модуль пружності, ГПа	71
Границя текучості, кг/мм^2	500
Твердість, НВ	110

Таблиця 2

Хімічний склад кварцового скла марки КВ-1

Вміст, ваг. %	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	Fe_2O_3	CuO	TiO_2
	основа	$3{,}5\cdot10^{-3}$	$7\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-3}$	$7\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$	$7\cdot10^{-4}$

Таблиця 3

Основні фізико-хімічні властивості кварцового скла марки КВ-1

Властивість	**Значення**
ТКЛР $\times 10^{-7}$, 1/К	4 – 5,8
Модуль пружності, кг/мм^2	7360
Коефіцієнт Пуассона	0,17
Питома вага, г/см^3	2,21
Межа міцності на стиск, кг/мм^2	58,8
Межа міцності на розтяг, кг/мм^2	5,89

Таблиця 4

Хімічний склад ситалу СО-115 М

Вміст, ваг. %	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	LiO_2	KO_2	Fe_2O_3	As_2O_3	Sb_2O_3
	~67	20,9	~4	~4	3	0,1	0,5	0,5

Таблиця 5

Основні фізико-хімічні властивості ситалу СО-115 М

Властивість	**Значення**
ТКЛР $\times 10^{-7}$, 1/К	2,5 – 6,0
Модуль пружності, кг/мм^2	8600
Коефіцієнт Пуассона	0,27
Питома вага, г/см^3	2,5
Межа міцності на стиск, кг/мм^2	67
Межа міцності на розтяг, кг/мм^2	10
Температура кристалізації, К	1083

У процесі досліджень проводилося зварювання вузлів кварцове скло – ситал, ситал – ситал, ситал – алюміній. При отриманні вузлів кварцове скло – ситал, ситал – ситал використовували прошарок з алюмінію (1-2 мкм), який до зварювання наносили на одну з поверхонь, що зварюються, резистивним напилюванням на установці ВУ-1А. Під час зварювання вузлів кварцове скло – ситал напилювання проводили на поверхню кварцового скла.

Перед напилюванням зразки піддавали іонному очищенню при Т = 423 К у вакуумі $4 \cdot 10^{-3}$ Па протягом 10-12 хв. Для напилювання використовували режим:

- вакуум не нижче $4 \cdot 10^{-3}$ Па;
- температура зразка 423 ± 10 К;
- струм випарника 500 – 530 А;
- час напилювання 30 – 40 с.

Під час зварювання ситалу з алюмінієм товщина алюмінію до зварювання *h* знаходилася в межах 0,25-3 мм, а після зварювання $h_П$ у межах 0,20-1,3 мм (рис. 4). Величини $h_П$ і *h* визначались шляхом прямих замірів за допомогою індикаторної стійки з індикатором годинникового типу з ціною поділок 1 мкм.

Поляризаційно-оптичні обстеження вузлів проводилися на приборі ПКС-250.

Міцність з'єднань ($\sigma_{від}$) визначалась під час випробувань на відрив як середнє арифметичне значення з п'яти дослідів. Механічні випробування проводили за схемою, що наведена на рисунку 3, на спеціально виготовленій установці, яка оснащена пристосуванням, що дозволяє усувати можливі перекоси зварених зразків під час випробувань та визначати зусилля руйнування з точністю до 3,92 Н за допомогою силовимірника у вигляді динамометричної скоби ДС-02 з індикатором годинникового типу ИЧ-10.

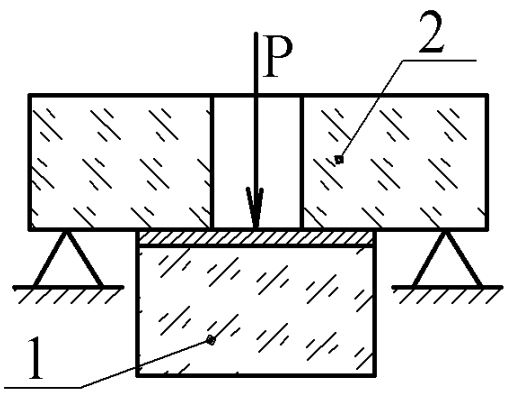


Рис. 3. Принципова схема механічних випробувань на відрив:
1 – ситал; 2 – скло (або ситал) з напиленим шаром алюмінію

Механічна обробка поверхні ситалу та кварцового скла для всіх видів досліджень включала операції шліфування та полірування. Шліфування проводили водними суспензіями карбіду кремнію зернистістю М 40, М 28, М 10 на сталевому диску, а полірування – суспензією оксидів заліза на смоляному полірувальнику. Мікрошорсткість поверхні зразків із ситалу та кварцового скла під зварювання складала $R_a \leq 0{,}02$ мкм. Після механічної обробки зразки піддавали хімічній комбінованій очистці за варіантом:

- очистка органічним розчинником – ацетон технічний;
- сушка;
- очистка хімічним розчином $Na_2PO_4 \cdot 12H_2O$[50]+КОН[10]+Na_2CO_3[20]+рідке скло;
- промивання гарячою водою;
- промивання холодною водою;
- очистка хімічним розчином $K_2Cr_2O_7$[99]+H_2SO_4; густина 1,84; 100 см^3;
- промивання гарячою водою;
- промивання холодною водою;
- сушка.

Безпосередньо перед зварюванням зразки із ситалу і кварцового скла обробляли технічним ацетоном.

Зварювання проводили в атмосфері повітря з використанням радіаційного джерела нагріву. Електрична напруга на матеріали, що зварюються, подавалась за допомогою регулятора напруги високовольтного джерела живлення УПУ-1М.

Зміна величини міцності зварного з'єднання $\sigma_{від}$ і товщини алюмінію після зварювання $h_П$ від її початкової товщини h під час його зварювання з ситалом наведено на рисунку 4.

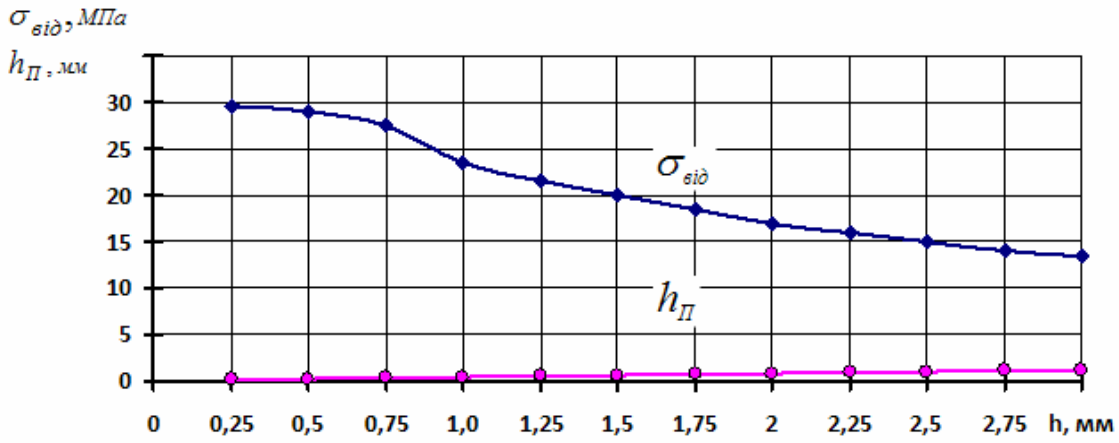


Рис. 4. Зміна міцності зварного з'єднання $\sigma_{від}$ і товщини прокладки після зварювання $h_П$ від початкової товщини алюмінію h

Величина залишкових напружень у проведених дослідженнях не перевищувала 1,45 МПа. Розподіл напружень у зоні з'єднання рівномірній. У місцях, де як правило з'являються локальні зони з підвищеною величиною напружень («вуса») під час паяння, склеювання і дифузійного зварювання, в нашому випадку були відсутні. В той же час аналогічні з'єднання, які одержані методом дифузійного зварювання у вакуумі, вже при товщині алюмінію 0,5 мм мають напруження стиску в зоні з'єднання більше 14 МПа, а при товщині алюмінію 1мм і більше руйнуються ще в процесі зварювання.

Зміна величини залишкових напружень $\sigma_{зал}$ від початкової товщини прокладки *h* наведено на рисунку 5.

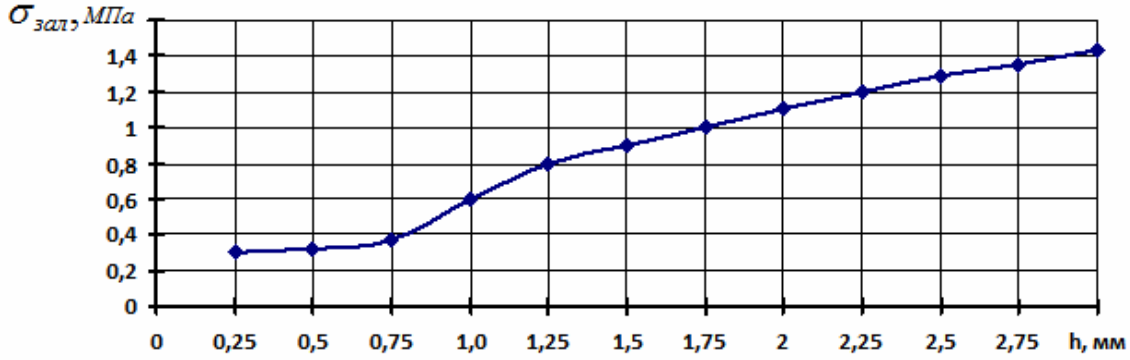


Рис. 5. Зміна величини залишкових напружень $\sigma_{зал}$ від початкової товщини алюмінію h

Для кращого сприймання отриманих результатів наведена таблиця 6.

Таблиця 6

Співвідношення товщини алюмінію до та після зварювання

h, мм	29,7	29,0	27,5	23,5	21,5	20,0	18,5	17,0	16,0	15,0	14,0	13,5
$h_П$, мм	0,2	0,27	0,35	0,45	0,5	0,6	0,72	0,79	0,89	1,0	1,12	1,23

Зменшення товщини алюмінію є результатом дії зовнішнього тиску, що використовувався при зварюванні, та дії електростатичної взаємодії зарядів, що накопичуються в процесі зварювання на поверхнях, що зварюються, за рахунок поляризації діелектрика [7].

Використання компенсаційного кільця дозволяє на 30 % зменшити залишкові напруження в зоні з'єднання (рис. 6).

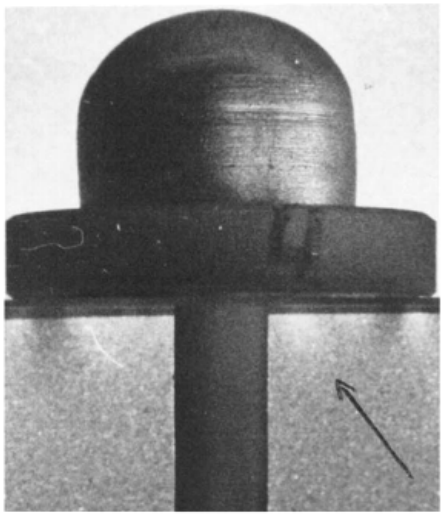


Рис. 6. Вузол алюміній – ситал з використанням компенсаційного кільця з ситалу

Залишкові напруження у вузлах ситал – алюміній – ситал і ситал – алюміній – кварцове скло, що були отриманні з використанням напиленого на одну з поверхонь діелектриків шару алюмінію товщиною 1-2 мкм, не перевищували 0,5 МПА.

Оптимальні режими зварювання вузлів, що розглядалися, наведені в [7].

Для зварних вузлів проводились такі випробування:

1. Повторні нагріви до 473-723 К.
2. Термоудари в камері тепла та холоду типу МС-71 по п’ять циклів тривалістю 1 година кожний. Температура змінювалась у межах 213-363 К.
3. Механічні діяння на вібростенді ВЕДС-400 та механічні удари на ударному стенді СТТ-500.
4. Поляризаційно-оптичні обстеження вузлів на приборі ПКС-250.
5. Перевірка на вакуумщільність на гелієвому шукачі течії ПТИ-10.

Випробування показали такі результати:

1. Всі зварені вузли витримали випробування на повторні удари, термоудари, механічні діяння.
2. Залишкові напруження в зоні зварного з’єднання не перевищували:

– для вузлів ситал – алюміній величини 1,45 МПа;

– для вузлів ситал – алюміній – ситал, ситал – алюміній – кварцове скло величини 0,5 МПа.

3. Всі зварені вузли після повторних нагрівів, термоударів і механічних діянь залишилися герметичними.

Висновки:

1. Процес зварювання в зовнішніх електричних полях високої напруги дозволяє отримувати працездатні зварні з’єднання вузлів кварцове скло – ситал, ситал – ситал, ситал – алюміній з мінімальними залишковими напруженнями, які менші ніж в аналогічних випадках під час паяння, склеювання, спікання та інших способах зварювання.

2. Процес зварювання в зовнішніх електричних полях високої напруги дозволяє отримувати зварні з’єднання ситалу з алюмінієм товщиною до 3 мм при величині залишкових напружень менше 1,45 МПа.

3. Використання компенсаційного кільця у вузлах ситал – алюміній дозволяє зменшити величину залишкових напружень до 30 %.

4. Процес зварювання в зовнішніх електричних полях високої напруги дозволяє отримувати зварні з’єднання ситалу з ситалом і кварцовим склом через прошарок алюмінію 1-2 мкм при величині залишкових напружень менше 0,5 МПа.

Список використаних джерел

1. Бережной А. И. Ситалы и фотоситали / А. И. Бережной; под ред. д-ра техн. наук Н. А. Торопова. – М.: Машиностроение, 1966. – 348 с.
2. Морозов И. А. Особенности соединения оптических элементов методом ГОКа / И. А. Морозов, Э. Н. Морозов, И. И. Юркевич. – Минск: Ин-т физики АН БССР, 1978. – 210 с.
3. Борисова В. Г. Вакуумплотные термостойкие спаи оптических элементов со стеклянными оболочками приборов / В. Г. Борисова, Е. Н. Покровский, В. Г. Цупкин // ОМП. – 1974. – № 9. – С. 36-39.
4. Конструкционная прочность стекол и ситаллов / Г. С. Писаренко, К. К. Амельянович, Ю. И. Козуб и др. – К.: Наук. думка, 1979. – 284 с.
5. Бачин В. А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами / В. А. Бачин. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.: ил.
6. Диффузионная сварка материалов: справочник / под ред. Н. Ф. Казакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
7. Березін Л. Я. Напрямки використання зовнішніх електричних полів для отримання нероз'ємних з'єднань різнорідних матеріалів / Л. Я. Березін // Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки». – Чернігів, 2011. – № 4 (53). – С. 94-103.

УДК 667.633.26

Г.І. Голодюк, канд. техн. наук
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ ТА АТМОСФЕРОСТІЙКОСТІ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ

У статті наведено результати досліджень адгезійної міцності та атмосферостійкості лакофарбових покриттів на основі алкідних смол. Наведено методику та умови проведення досліджень контролю якості лакофарбових покриттів на основі алкідних смол. У результаті досліджень зразків лакофарбових покриттів, випробуваних прискореним методом, що імітує змінний клімат і сонячну радіацію, було визначено, що покриття чудово тримається на деревинній підкладці, зберігається цілісність покриття.

Ключові слова: *атмосферостійкість, адгезія, алкідні смоли, лакофарбові покриття, якість, блиск.*

В статье приведено результаты исследований атмосферостойкости адгезийной прочности и лакокрасочных покрытий на основе алкидных смол. Приведено методику и условия проведения исследований контроля качества лакокрасочных покрытий на основе алкидных смол. В результате исследований образцов лакокрасочных покрытий, испытанных ускоренным методом, что имитирует переменный климат и солнечную радиацию, было определено, что покрытие прекрасно держится на древесинной подкладке, хранится целостность покрытия.

Ключевые слова: *атмосферостойкость, адгезия, алкидные смолы, лакокрасочные покрытия, качество, блеск.*

In the article the results of researches of atmosferoustoychyvosty of lakokrasochnykh are resulted on the basis of alkyd resins. A method and terms of conducting of researches of control of quality of lakokrasochnykh coverages is resulted on the basis of alkyd resins. As a result of researches of standards of lakokrasochnykh coverages of tested by a speed-up method, that imitates a variable climate and sun radiation, it was certain that coverage perfectly reposed on the wood lining, integrity of coverage is kept.

Key words: *alkydnykh resins, lakokrasochnykh coverages, quality, brilliance.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Лакофарбові покриття забезпечують захист від дій зовнішнього середовища і покращують декоративні властивості деревних підкладок. Вплив повітря, сонячної радіації, вологи і різних температур більшою мірою впливає на ступінь стійкості лакофарбових покриттів.

Нові сучасні фарбувальні композиції на основі алкідних смол і лакофарбові покриття, зокрема, на основі алкідних смол, мають значно кращі показники експлуатаційних властивостей, характеризуються хорошою стійкістю до перепадів температури і сонячної радіації.

Аналіз основних досліджень. Перші роботи по визначенню атмосферостійкості лакофарбових покриттів відносяться до організації кліматичних операцій і проведення досліджень покриттів у природних умовах.

Дослідження атмосферостійкості ЛФП у природних умовах різних кліматичних зон вперше були проведені С.В. Якубовичем. Перші дослідження процесів старіння ЛФП під впливом випромінювання ксеноновими лампами вітчизняного виробництва провів М.Г. Фейман. У подальшому були вивчені процеси старіння ряду ЛФП під впливом різних джерел світла, в тому числі ксенонових ламп, які застосовуються в апаратах штучних погод.

Аналіз результатів наукових джерел свідчить про можливість застосування прискореного методу у визначенні впливу повітря, сонячної радіації, вологи і різних температур на ступінь стійкості лакофарбових покриттів.

Цілі статті полягають у вивченні змін споживчих властивостей нових видів лакофарбових покриттів у процесі експлуатації при перепаді температури і сонячної радіації.

Об'єкти досліджень. Об'єктом дослідження є фарбувальна композиція і лакофарбові покриття на основі алкідних смол.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих нових результатів. Захисно-декоративні властивості лакофарбових покриттів значною мірою залежать від їх адгезії до деревної підкладки. Адгезію лакофарбового покриття визначали методом гратчастих надрізів, за стандартною методикою та оцінювали за чотирьохбальною шкалою. Результати випробувань лакофарбових покриттів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Адгезійні показники лакофарбових покриттів до деревної підкладки

Лакофарбове покриття	Адгезія, бал
Фарбувальна композиція – лак Контрацид 3010 Д	1
Фарбувальна композиція – ґрунт FPU52, лак OPU77G	1
Фарбувальна композиція – лак OPU77G	1
Фарбувальна композиція – ґрунт FPU52	1
Фарбувальна композиція – лак НЦ-218	1
Фарбувальна композиція – лак ПФ-231	1
Фарбувальна композиція – алкідно-уретановий лак	1
Фарбувальна композиція – акра лак	1
Фарбувальна композиція – лак Symbol Akwacel	1
Фарбувальна композиція – лак № 5	1
Фарбувальна композиція – лак № 9	1

У результаті проведених випробувань лакофарбових покриттів на адгезійну міцність відшаровування лакової плівки з одержаних ґраток не спостерігалося. Отже, одержані лакофарбові покриття мають хорошу адгезію до деревної підкладки, що задовольняє експлуатаційні показники.

Лакофарбові покриття забезпечують захист від дій агресивних чинників зовнішнього середовища і покращують декоративні властивості деревних підкладок. Вплив оксигену повітря, сонячної радіації, вологи і різних температур значною мірою впливає на ступінь стійкості лакофарбових покриттів.

Для оцінки ступеню зміни експлуатаційних властивостей у процесі прискореного старіння застосовували метод випробувань, який полягає у циклічній дії на покриття температури першого циклу сушіння 40 ± 2 °С і температури другого циклу –50 ± 2 °С, при відносній вологості повітря 60 ± 3 %, сонячної радіації, що включає УФ, а також ІЧ-випромінювання. Випробування зразків проводили у кліматичній камері впродовж 10 циклів (240 год), кожен цикл складає 24 год. Огляд покриттів проводили 4 рази після 1, 3, 5 і 10 циклів.

Методична сітка проведення експериментів із випробування зразків прискореним методом наведена у таблиці 2.

Таблиця 2

Методична сітка проведення експерименту

Досліджувана залежність	Постійні чинники		Змінні чинники		Вихідний параметр	Кількість спостережень	
	найменування	значення	найменування	значення		в одному досліді	загальне
1. Вплив температури, УФ- і ІЧ-випромінювання на лакофарбове покриття на деревині, утворене фарбувальним складом на основі алкідних смол і лаком (ПФ-231, НЦ-218, алкідно-уретановим, контрацид 3010 Д, грунт FPU52 і лак OPU 77G, акра лаком, лаком Symbol Akwacel)	Відносна вологість повітря, %	60±3	Температура, °С	40 – 50	Колір покриття, ступінь розтріскування покриття, наявність відшаровування покриття від деревної підкладки, блиск покриття	5	40

Результати огляду покриттів у процесі і після випробувань зведені у таблиці 3 (у таблицю занесені середні значення п’яти вимірювань з кожного зразка).

Таблиця 3

Результати огляду покриттів після випробувань прискореним методом

Фарбувальна система покриття	Оцінка зміни кольору за еталоном, бали			Оцінка блиску, % у чисельнику – блиск у знаменнику – втрата блиску				Оцінка цілостності покриття (розтріскування), бали			
	після випробувань тривалістю, год										
	24	72	120	240	24	72	120	240	24	72	120	240
Фарбувальна композиція – лак Контрацид 3010Д	1			26,09 0	26,07 0,08	22,28 14,60	22,27 14,64	1			
Фарбувальна композиція – ґрунт FPU52, лак OPU77G	1			28,58 0	28,56 0,06	27,42 4,05	26,40 7,62	1			
Фарбувальна композиція – лак OPU77G	1			19,68 0	19,58 0,50	19,35 1,67	19,33 1,77	1			
Фарбувальна композиція – ґрунт FPU52	1			27,67 0	27,62 0,18	27,10 2,05	26,33 4,84	1			
Фарбувальна композиція – НЦ-218	1			34,92 0	32,62 6,59	31,35 10,22	30,88 11,57	1			
Фарбувальна композиція – ПФ-231	1			46,99 0	45,75 2,64	43,96 6,45	42,66 9,21	1			
Фарбувальна композиція – алкідно-уретановий лак	1			24,84 0	24,83 0,04	24,03 3,26	21,02 15,38	1			
Фарбувальна композиція – акра лак	1			21,73 0	21,68 0,23	21,63 0,46	21,35 1,74	1			
Фарбувальна композиція – Symbol Akwacel	1			22,35 0	22,05 1,34	15,12 32,34	14,47 35,25	1			
Фарбувальна композиція – лак № 5	1			27,67 0	27,62 0,18	27,10 2,05	26,33 4,84	1			
Фарбувальна композиція – лак № 9	1			21,73 0	21,68 0,23	21,63 0,46	21,35 1,74	1			

Висновки. Проведеними випробуваннями лакофарбових покриттів встановлено, що адгезія становить 1 бал, тому їх можна рекомендувати для фарбування деревини листяних порід. Випробування зразків з різними лаковими покриттями показали, що всі випробувані покриття володіють практично стабільною адгезійною міцністю з деревною підкладкою.

У результаті огляду зразків лакофарбових покриттів випробуваних прискореним методом (240 годин), що імітує змінний клімат і сонячну радіацію, можна зробити висновок, що покриття добре тримається на деревній підкладці та зберігає цілісність. Колір покриття на основі алкідної фарбувальної композиції не змінюється, розтріскування і відшаровування покриття не спостерігається. Для більшості покриттів зміна блиску склала менше 20 %, що є у межах допустимого. Отже, одержані лакофарбові покриття мають хорошу стійкість до зміни температур і сонячної радіації.

Список використаних джерел

1. Карякина М. И. Физико-химические основы формирования и старения покрытий / М. И. Карякина. – М.: Химия, 1980. – 216 с.

2. РТМ 35-61. Покрытия лакокрасочные. Основные методы ускоренных условий климатических испытаний. – М.; Л.: Стандартгиз, 1962.

3. Голодюк Г. І. Визначення адгезії лакофарбових покриттів на основі алкідних смол / Г. І. Голодюк // Проблеми підвищення якості товарів народного споживання України та Білорусії: матеріали Міжнародного наукового семінару. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛНТУ, 2010. – С. 49-50.

4. Голодюк Г. І. Дослідження фізико-механічних властивостей алкідних плівок / Г. І. Голодюк // Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи: матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених, 20-21 жовтня 2010 року. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – С. 41-42.

УДК 677.027.625.133

О.Б. Хребтань, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПЕЦІАЛЬНОЇ ОБРОБКИ НА СТІЙКІСТЬ ПОФАРБУВАННЯ ПАЛЬТОВИХ ВОВНЯНИХ ТКАНИН ДО ДІЇ ШТУЧНОГО ОПРОМІНЮВАННЯ

Досліджено вплив спеціальної обробки вовняних пальтових тканин на зміну їх пофарбування після штучного опромінювання. Встановлено, що спеціальна обробка не змінює колірних характеристик пальтових тканин після штучного опромінювання. Тканини зі спеціальною обробкою виявили високу стійкість пофарбування до дії штучного опромінювання. Запропоновано подальше використання спеціальної обробки пальтових тканин з метою покращення їх ергономічних властивостей та надійності.

Ключові слова: *пальтові вовняні тканини, спеціальні обробки, стійкість пофарбування, штучне опромінювання.*

Исследовано влияние специальной отделки пальтовых шерстяных тканей на изменение их окраски после искусственного облучения. Установлено, что специальная отделка не изменяет колористических характеристик пальтовых тканей после искусственного облучения. Ткани со специальной отделкой проявили высокую стойкость крашения к действию искусственного облучения. Рекомендовано дальнейшее использование специальной отделки пальтовых шерстяных тканей с целью улучшения их эргономических свойств и надежности.

Ключевые слова: *пальтовые шерстяные ткани, специальные отделки, стойкость крашения, искусственное облучение.*

The influence of special finishing of woolen coat fabrics on change of their coloring after artificial lighting. It was discovered that special finishing does not change coloristic values of coat fabrics after artificial lighting. Fabrics with special finishing showed high persistenceof coloring to influence of artificial lighting. It is recommended to continue using of special finishing of coat woolen fabrics to improve their ergonomical values and reliability.

Key words: *coat woolen fabrics, special finishing, coloring persistence, artificial lighting.*

Постановка проблеми. Важливі показники зносостійкості тканин для верхнього одягу – показники стійкості пофарбування цих тканин до дії фізико-хімічних чинників: тертя, хімічного чищення, дії поту, мила, дистильованої води, опромінювання і т. д. [1; 2].

Для більшості одягових тканин характерне зниження спочатку естетичних, а потім фізичних властивостей [2]. До основних фізико-хімічних чинників зношування пальтових тканин належать: дія світла, світлопогоди, забруднення, хімічного чищення, волого-теплового оброблення.

Надійність пальтових вовняних тканин характеризується стійкістю дослідних тканин до дії фізико-хімічних чинників, які характеризуються показниками:

- *фізичними*: стійкістю пофарбування до дії сухого та мокрого тертя; вологотеплового оброблення; штучного опромінювання;

- *хімічними*: стійкістю пофарбування до дії поту, мила, дистильованої води, органічних розчинників.

Під час проведення опитування споживачів, які купували пальтові вовняні тканини виробництва ПрАТ «КСК «ЧЕКСІЛ» для пошиття верхнього одягу, було з'ясовано, що всі категорії опитуваних назвали одним з найважливіших показників якості пальтових тканин – збереження їх зовнішнього вигляду протягом періоду експлуатації. Тому дуже істотним було дослідження впливу спеціальної комплексної та стандартної обробок на зміну зовнішнього вигляду пальтових тканин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемою стійкості пофарбування текстильних матеріалів до дії світла займалися видатні вітчизняні науковці: Ф.І. Садов, І.Я. Калонтаров, Г.Є. Кричевський, Ю.А. Єршов. Великий внесок у дослідження цієї проблеми здійснили зарубіжні науковці: Ч. Джайлс, Г. Еджертон, К. Мак-Ларен, В. Селвін, Х. Ван-Бік та ін.

Сьогодні, на жаль, проблемі стійкості пофарбування текстильних матеріалів і, зокрема, пальтових тканин, до дії світла та погоди приділяється мало уваги з боку науковців та представників виробничих текстильних підприємств. Проблема ж є досить актуальною і потребує подальшого дослідження тому, що практично всі текстильні матеріали під час експлуатації підлягають дії світла, атмосферних опадів, а це значною мірою визначає життєздатність текстильного матеріалу.

Мета статті. Метою статті було дослідження впливу штучного опромінювання на стійкість пофарбування пальтових вовняних тканин із спеціальною обробкою, стандартною обробкою підприємства та без обробки. Адже збереження колірних характеристик тканин для верхнього одягу протягом терміну експлуатації – найважливіший показник їх якості та конкурентоспроможності.

Виклад основного матеріалу. Обраний нами для досліджень асортимент – це пальтові тканини для зимового одягу. Оскільки період носки виробів з таких тканин припадає на осінньо-зимовий сезон, коли вплив сонячної радіації мінімальний, то нами було вирішено перевірити стійкість пофарбування дослідних пальтових вовняних тканин до штучного опромінювання в лабораторних умовах.

Досліджувалися пальтові вовняні тканини без обробки, із стандартною обробкою підприємства-виробника (ПрАТ «КСК»ЧЕКСІЛ») та зі спеціальною комплексною обробкою.

Для проведення експерименту використовували стандартні методики, регламентовані ГОСТ 9733.3 – 83 [3]. Дослідження проводили на приборі Xenotest – 150. Для обробки результатів досліджень використовували спеціальну методику Xenotest.

Сутність методики Xenotest полягає в тому, що поверхня дослідних тканин підлягає тривалому впливу променів ксенонової лампи. Сама лампа – це джерело світла високого тиску, в якому дуговий розряд відбувається в атмосфері ксенону Xe – інертного газу. Зразки були розміщені в замкненій кабіні, де випромінювання здійснювалося ксеноновою лампою потужністю 1500 Вт. Саме це джерело світла давало спектр випромінювання, близький до сонячного.

Температура середовища та поверхні досліджуваних зразків тканин реєструється і регулюється у кабіні: температура середовища – 30 ^{0}С, температура «чорної панелі» – 60 ^{0}С. Інтенсивність опромінювання в кабіні складає 180000 лк.

У зв'язку з тим, що у кабіні зразки тканин відчували підсилену дію світла, процеси фотодеструкції проходили швидше, ніж у природних умовах. Під час випробування пофарбування пальтових вовняних тканин до дії штучного світла, скорочення часу

складало 1 : 10, тобто 24 години опромінювання у приборі Xenotest – 150 відповідало десяти дням природного опромінювання (відповідно країнам центральної Європи).

Тканини розміщували в кабіні разом з комплектом еталонів (брали зі шкали Синіх еталонів). Зразки витримували при цілодобово працюючий лампі до моменту, коли зміна пофарбування еталона № 7 не починала відповідати 4 балам за шкалою Синіх еталонів.

Оцінку стійкості пофарбування тканин до дії штучного опромінення встановлювали за номером еталона, який мав аналогічну зміну у пофарбуванні за візуальною різницею між опроміненим та неопроміненим зразками. На зразках оцінювали тільки ті ділянки, які вицвітали до контрастів, що оцінювалися в 3-4 бала за шкалою Сірих еталонів.

Результати дослідження зміни пофарбування дослідних тканин після штучного опромінення представлені в таблиці.

Таблиця

Стійкість пофарбування пальтових вовняних тканин до дії світла в умовах штучного опромінення

Зразки тканин з різними обробками		Оцінювання стійкості пофарбування зразків після штучного опромінення, бали	Колірна відмінність між зразками після перевірки на спектрофотометрі, одиниці Δ Е	Стан пофарбування поверхні зразка після штучного опромінення
1	2	3	4	5
1	б/о	6–7*	0,75	Тканина посвітлішала, з'явився глибокий сірий відтінок
	ст/о	7	0,72	Колір яскравий, чистий
	сп/о	7	0,71	Колір яскравий, чистий
2	б/о	6	1,0	Тканина не мала різких змін пофарбування, малопомітні відтінки зеленого кольору
	ст/о	6–7	0,99	Малопомітне посвітління, колір став чітким яскравим
	сп/о	7	0,97	Відхилення кольору тканини від еталона немає
3	б/о	4–5	2,1	Значне пожовтіння, поява кремового відтінку, втрата яскравості
	ст/о	6–7	0,68	Посвітління, чистий блакитно-сірий колір
	сп/о	7	0,65	Відхилення кольору тканини від еталона немає
4	б/о	5	1,87	На тканині був добре помітний червоний відтінок, відбулося загальне посвітління зразка
	ст/о	6	0,98	Незначне посвітління, колір чистий
	сп/о	6–7	0,87	Заглиблення кольору, насичений, яскравий
5	б/о	5–6	1,12	Відбулася зміна пофарбування внаслідок посвітління, з'явився зелений відтінок
	ст/о	6	0,65	З'явився незначний, малопомітний червонуватий відтінок
	сп/о	6–7	0,58	Колір чистий, малопомітне посвітління
6	б/о	6	1,0	Чистий, рівномірний без відтінків колір
	ст/о	6–7	1,0	Посвітління, колір став чистішим
	сп/о	7	0,59	Зміни кольору не було, відтінків немає

Продовження табл.

1	2	3	4	5
7	б/о	5	2,0	Пофарбування стало тьмяним, різко проявився блакитно-зелений відтінок
	ст/о	6	1,10	Заглиблення чорного тла, бежевий колір став світлішим, чистішим
	сп/о	6–7	1,0	Чистий колір, без відтінків

Примітка: за ГОСТ 9733.3-83, розділ 4, п. 4.1, оцінка 6 – 7(4-5; 5-6) – це проміжна оцінка, яка виставляється в разі, якщо за загальним виглядом дослідне пофарбування після опромінення не збігається з жодним із еталонів. Оцінюється таке пофарбування як більш стійке ніж попереднє, але менш стійке, ніж подальше за еталоном, тобто проміжним значенням.

За результатами проведених досліджень установили, що тканини зі спеціальною обробкою після опромінення мали високий показник стійкості пофарбування, у зразків 1, 2, 3, 6 – оцінка 7 балів, зразки 4, 5, 7 – 6-7 балів (при стандартному нормативі для цих тканин – 6 балів). У тканин із спеціальною обробкою не відбулося помітних змін пофарбування після дії штучного світла: колір залишився чистим, яскравим, відтінків кольору не спостерігалося, не було і приглушення кольору.

Перевірка стійкості пофарбування на спектрофотометрі показала, що у зразків із спеціальною обробкою не було відхилення пофарбування порівняно з еталонами, значення показника Δ Е було у межах від 0,58 до 1,0 одиниць.

Зразки зі стандартною обробкою також показали високий ступінь стійкості пофарбування до дії штучного опромінення. Найкращий результат був у зразка 1-7 балів. Високі результати показали зразки 2, 3, 6 – 6-7 балів. Зразки 4, 5 отримали оцінку 6 балів – у межах вимог стандарту. На відміну від зразків із спеціальною обробкою, зразки зі стандартною обробкою відрізнялися появою незначного посвітління, з’явилася більша контрастність кольору. За оцінкою на спектрофотометрі показник Δ Е був у межах від 0,65 до 1,10 одиниць.

Найнижчі результати стійкості пофарбування до дії штучного світла спостерігалися у тканин без обробки. Так, зразок 3 мав оцінку 4-5 балів – найнижчу серед усіх зразків; зразки 4 і 7 були оцінені в 5 балів; зразок 5 мав оцінку 5-6 балів. Також у зразків без обробки спостерігалося значне посвітління пофарбування, насиченість кольору характеризувалася як тьмяніша, колір став невиразним. За оцінкою на спектрофотометрі показник Δ Е був у межах від 1,12 до 2,1 одиниць. Ці результати свідчили про появу помітного колірного контрасту у пофарбуванні зразків та значне відхилення від кольору еталонів.

Висновки

1. Встановлено, що у пальтових вовняних тканин зі спеціальною комплексною обробкою покращилися показники надійності, які характеризуються, зокрема, стійкістю пофарбування цих тканин до дії фізичного чинника – штучного опромінювання.

2. За результатами проведених досліджень установили, що тканини із спеціальною обробкою після опромінення мали високий показник стійкості пофарбування, у більшості зразків – оцінка 7 балів, зразки 4, 5, 7 – 6-7 балів (при стандартному нормативі для цих тканин – 6 балів).

3. У тканин із спеціальною обробкою не відбулося помітних змін пофарбування після дії штучного світла: колір залишився чистим, яскравим, відтінків кольору не спостерігалося, не було і приглушення кольору.

4. Найнижчі результати стійкості пофарбування до дії штучного світла спостерігалися у тканин без обробки.

5. Отже, результати досліджень виявили ефективність використання спеціальної комплексної обробки щодо збереження зовнішнього вигляду, зокрема, пофарбування пальтових вовняних тканин після штучного опромінювання.

6. Проблема стійкості пофарбування текстильних матеріалів для верхнього одягу є досить актуальною і потребує подальшого дослідження тому, що практично всі текстильні матеріали під час експлуатації підлягають дії світла, атмосферних опадів, а це значною мірою визначає життєздатність текстильного матеріалу.

Список використаних джерел

1. Ефимова Г. В. Влияние светопогоды на шерстяные ткани / Г. В. Ефимова, И. С. Галык, Б. Д. Семак // Текстильная промышленность. – 1991. – № 2. – С. 23-25.

2. Колонтаров И. Я. Устойчивость окрасок текстильных материалов к физико-химическим воздействиям / И. Я. Колонтаров. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 200 с.

3. Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к свету в условиях искусственного освещения (ксеноновая лампа): ГОСТ 9733.3-83. – Введ. 1986-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 4 с.

УДК 621.9.01

В.В. Цыганов, канд. техн. наук
Запорожский национальный технический университет, г.Запорожье, Украина

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАНУЛЬНОГО АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА ТРИБОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Рассмотрена возможность повышения эффективности обработки гранульным абразивным материалом путем создания условий по увеличению содержания свободных макрорадикалов в трибосопряжении «абразивная гранула – обрабатываемый металл» и их воздействию на поверхностный слой заготовки. Отмечена перспективность добавки различных веществ при радикальной суспензионной полимеризации связующего гранул на основе метилметакрилата для возможности регулирования степени полимеризации, размера получаемых молекул полимера и количества свободных макрорадикалов в зоне резания.

Ключевые слова: *гранульный материал, поверхностный слой, шлифование, макрорадикалы.*

Розглянута можливість підвищення ефективності обробки гранульним абразивним матеріалом шляхом створення умов по збільшенню змісту вільних макрорадикалів в трибоспряженні «абразивна гранула – оброблюваний метал» і їх дії на поверхневий шар заготовки. Відмічена перспективність добавки різних речовин під час радикальної суспензійної полімеризації зв'язувальної речовини гранул на основі метилметакрилату для можливості регулювання ступеня полімеризації, розміру отриманих молекул полімеру і кількості вільних макрорадикалів у зоні різання.

Ключові слова: *гранульний матеріал, поверхневий шар, шліфування, макрорадикали.*

Possibility of increase of efficiency of treatment granule abrasive material is considered by conditioning on the increase of maintenance of free macroradicals in tribojoints a «abrasive granule is the processed metal» and to their affecting superficial layer of purveyance. Perspective of addition of different matters is marked during radical suspensoids polymerization connective granules on the basis of Polymethylenoxide for possibility of adjusting of degree of polymerization, size of the got molecules of polymer and amount of free macroradicals in the zone of cutting.

Key words: *granule material, superficial layer, polishing, macroradicals.*

Постановка задачи. В настоящее время перспективным направлением расширения технологических возможностей абразивной обработки является применение инструментов различных видов и характеристик из гранульного абразивного материала. Разновидности гранульного материала определяются технологией изготовления и химико-физическими свойствами составляющих материалов. При этом в качестве связки гранульного материала могут выступать как термореактивные, так и термопластичные полимеры. Учитывая, что в процессе обработки происходит трение полимерной связки гранул и обрабатываемого металла, явления, происходящие при их контактном взаимодействии, оказывают неизбежное влияние на характер разрушения обрабатываемой поверхности. Возникает необходимость оценки связи физико-химических свойств гранул и производительности резания, качества обработанной поверхности.

Как показали предварительно проведенные исследования, обработка лентами из гранульного абразивного материала на основе термопластичного связующего из полиметилметакрилата наиболее целесообразна при чистовом шлифовании и полировании всухую нержавеющей стали. На это указывает более стабильная производительность резания, низкая шероховатость в сравнении с серийными лентами и получение крупнофрагментных вторичных структур обработанного поверхностного слоя, необходимых для высокой зеркальной отражаемости. Особенно рекомендуется шлифование гранульным материалом в случае завершения обработки для получения деталей повышенной износостойкости [1].

Адсорбция полимеров на поверхности металла определяет особенности структуры граничного слоя, характер упаковки макромолекул в граничных слоях, а отсюда – молекулярную подвижность цепей и их релаксационные и другие свойства. В процессе обработки обеспечивается повышенное разрушение металлов в результате взаимодействия с обрабатываемой поверхностью свободных макрорадикалов, которые образуются в результате термомеханического разрушения полимера – его деструкции. Механически деструктируемые полимеры активируют разрушение частиц металла так же, как и низкомолекулярные поверхностно-активные вещества [2].

Одним из основных направлений повышения эффективности шлифования гранульным абразивным материалом может выступать увеличение содержания свободных макрорадикалов в зане контакта трибосопряжения «абразивная гранула – обрабатываемый металл». При этом существуют различные способы обеспечения увеличенного содержания свободных макрорадикалов.

Прежде всего, количество свободных макрорадикалов определяется свойствами полимера – его энергией активации деструкции, т. е. чем ниже энергия активации деструкции полимера, тем выше степень разрушения металла. Так, феноло-формальдегидная смола обладает трехмерной структурой, поэтому энергия активации деструкции у нее выше, чем, например, у полиэтилена – полимера линейной структуры и, тем более, у полиметилметакрилата (ПММА). Энергия активации полиэтилена 60-70 ккал/моль, ПММА – 27 ккал/моль.

Поэтому в качестве связки гранульного абразивного материала наиболее целесообразно применение ПММА. Он один из немногих распространенных полимеров, который полностью распадается до мономера. У других полимеров выход мономера варьируется от нуля до значительной доли в общем выходе летучих продуктов. Получение абразивных гранул со связующим ПММА возможно в результате синтеза в процессе радикальной полимеризации. Использование в качестве термопластичного связывающего вещества гранул полиакрилата позволяет не только обеспечить наличие свободных макрорадикалов на обработанной поверхности, но и изменять жесткость связывающего вещества в зависимости от степени полимеризации, обусловленной условиями полимеризации, что расширяет технологические возможности гранульного материала [3].

Методика исследований. Влияние свободных макрорадикалов на эффективность обработки гранульным абразивным материалом наиболее наглядно проявляется при сравнении показателей шлифования опытными и серийными лентами в среде серно-хлорированной водоэмульсионной СОЖ. Испытывали опытные шлифовальные ленты размером 65х1900 мм на тканевой водостойкой основе с использованием гранульного абразивного материала диаметром 400 мкм с покрытием абразивными зернами 14А8П, полученного методом радикальной суспензионной полимеризации метилметакрилата. Сравнительную оценку показателей шлифования опытными лентами и серийными лентами 14А8П производили при обработке плоских образцов нержавеющей стали 10Х14АГ15 с подачей в зону резания 5 % водоэмульсионной СОЖ на основе серно-

хлорированного эмульсола «ШП» (содержание присадок хлора – 7,0 %, серы – 0,8 %) на переоборудованном под ленточное шлифование плоскошлифовальном станке 3Г71М. Прижатие ленты к поверхности заготовки при шлифовании осуществляли через контактный вал диаметром 163 мм с резиновым покрытием без нарезки толщиной 6 мм, твердостью 70 ед. по Шору. Производительность обработки определяли в пересчете на длину заготовки 1000 мм. Режимы шлифования: V = 22,7 м/с; P_y = 7 Н/см; S = 10 м/мин.

Для определения степени влияния гранульного абразивного материала на эффективность резания необходимо решение комплексной задачи с оценкой состояния обработанного поверхностного слоя. Известно, что существует корреляция между однородностью структурного состояния поверхностного слоя и его обрабатываемостью, шероховатостью обработанной поверхности. Предварительно проведенные исследования показывают, что низкая шероховатость нержавеющей стали может быть получена при ленточном шлифовании путем изменения условий обработки таким образом, чтобы возникали вторичные структуры обработанного поверхностного слоя с высокой однородностью прочностных свойств на возможно малых интервалах [4]. Изменяя величину и прочность получаемых фрагментов поверхностного слоя можно регулировать приработку деталей в условиях фрикционно-контактного взаимодействия.

В данной работе для оценки структурного состояния поверхностного слоя обработанных образцов применяли один из наиболее информативных методов - трибоспектральный (деформационно-спектральный). Метод основан на определении статистических связей между сопротивлением локальных микрообъемов материала контактному деформированию при сканировании поверхности алмазным индентором. При микромеханических испытаниях сила трения алмазного индентора модулируется с частотой расположения фрагментов определенной прочности, характеризуется амплитудно-частотными характеристиками вследствие изменения прочности на границе и внутри локальных областей. По изменению силы трения и нормальной нагрузки рассчитывается комплекс статистических деформационно-спектральных характеристик, отражающих состояние поверхностного слоя [5].

Образцы сканировали и обрабатывали по специально разработанным программам на трибометре типа ПИТ-ЦВМ производства НАУ. Нагрузка на индентор составляла 3,5 Н, скорость сканирования 26,5 мкм/с.

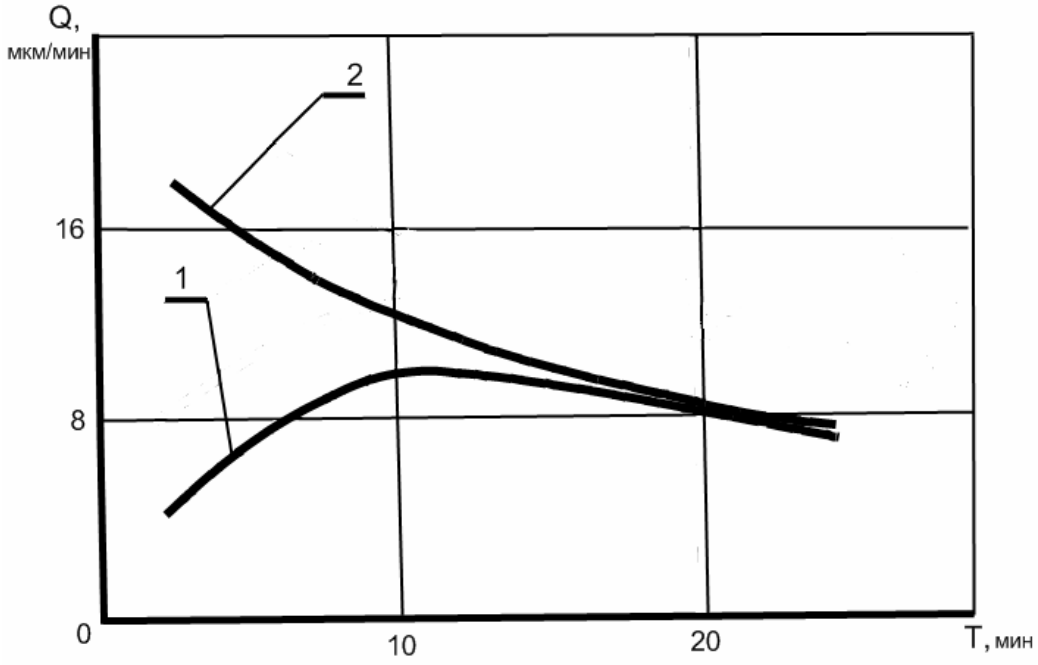
Результаты и их обсуждение. Как следует из приведенных на рисунке 1 зависимостей, шлифование серийными лентами характеризуется быстрым падением режущей способности за первые минуты эксплуатации. Отличительной особенностью обработки лентами с гранульным абразивным материалом является увеличение производительности резания в течение первых 10 минут шлифования (рис. 1, *а*). Происходит это, вероятно, в результате увеличения числа режущих зерен по мере износа сферической поверхности гранул. В последующем число режущих зерен стабилизируется и наблюдается постепенное падение режущей способности лент в течение машинного времени шлифования. При этом характер кривой изменения шероховатости поверхности обработанной опытными и обычными лентами подобен (рис. 1, *б*).

Однако отмечено увеличение шероховатости обработанной поверхности после шлифования опытными лентами в сравнении с обработкой серийными лентами в среднем на 30 % (рис.1, *б*). Так как величина шероховатости обработанной поверхности при определенных условиях может служить мерой оценки изменения режущей способности абразивного инструмента, более низкое значение полученной при этом производительности шлифования может быть результатом совместного воздействия свободных макрорадикалов и поверхностно-активных веществ СОЖ. При аналогичных условиях обработка без подачи СОЖ в зону резания характеризуется снижением и производительности шлифо-

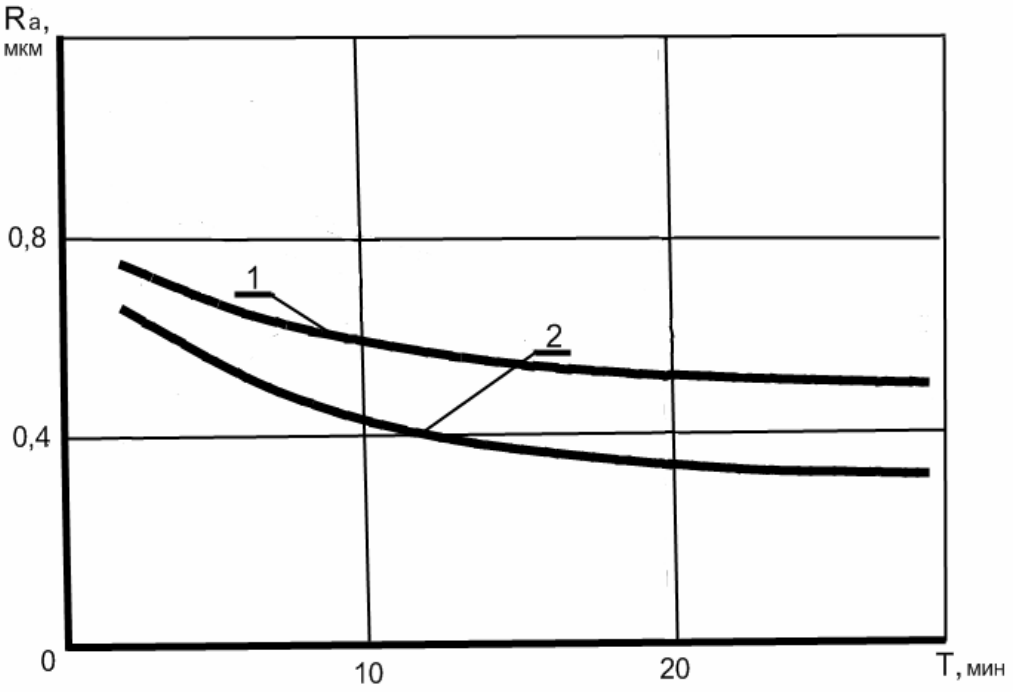
вания опытными лентами в сравнении с серийными лентами, и шероховатости обработанной поверхности [1].

Представленные на рисунке 2 графики спектральной плотности S тангенциальной составляющей силы контактного деформирования при сканировании образцов после обработки опытными и серийными лентами указывают на резкое отличие прочностных и деформационных свойств полученных поверхностных слоев и, соответственно, на существенное отличие в контактном взаимодействии шлифовальных лент и обрабатываемого металла. Так, обработка лентами с гранульным абразивным материалом после 10 минут (кривая 1) и 30 минут (кривая 3) обеспечивает равнопрочный поверхностный слой с низкой прочностью фрагментов (спектральная плотность не более $0{,}03x10^{-3}$ $Н^2$/Гц). После шлифования лентами 14А8П в течение 10 минут (кривая 2) и 30 минут (кривая 4) получен неоднородный поверхностный слой с наличием фрагментов различной величины и прочности (спектральная плотность составляет от $0{,}05x10^{-3}$ $Н^2$/Гц до $0{,}48x10^{-3}$ $Н^2$/Гц).

Таким образом, можно предположить, что получение после шлифования опытными лентами однородного равнопрочного поверхностного слоя образцов без наличия фрагментов высокой прочности является результатом воздействия в зоне контакта свободных макрорадикалов, образующихся в результате деструкции полимера гранул. Подобный поверхностный слой характеризуется хорошей обрабатываемостью. Учитывая, что при шлифовании всухую не наблюдается подобного эффекта, влияние свободных макрорадикалов на состояние обработанного поверхностного слоя существенно зависит от химического состава среды, в которой находится трибосопряжение «абразивная гранула – обрабатываемый металл». Для определения оптимальных условий шлифования, позволяющих проявить в наибольшей степени влияние макрорадикалов на эффективность резания, требуется проведение дополнительных исследований. При этом необходимо обеспечение в зоне контакта максимального количества свободных макрорадикалов.



а



б

Рис. 1. Изменение производительности шлифования (а) и шероховатости обработанной поверхности (б) в течение машинного времени обработки: 1– лента с гранульным абразивным материалом; 2– лента серийная

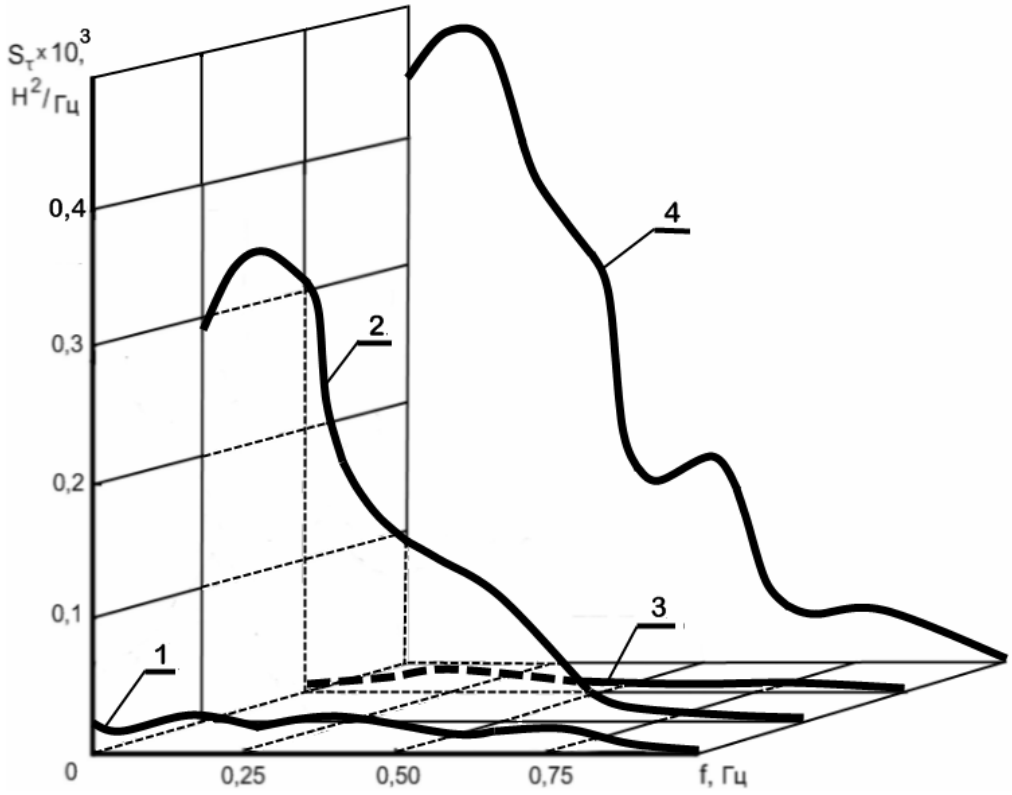


Рис. 2. Кривые изменения спектральной плотности сил контактного деформирования при сканировании образцов, обработанных опытными и серийными лентами с различным машинным временем шлифования: 1 – гранульная лента $T_{маш}$ = 10 мин; 2 – серийная лента $T_{маш}$ = 10 мин; 3 – гранульная лента $T_{маш}$ = 30 мин; 4 – серийная лента $T_{маш}$ = 30 мин

В связи со сложностью физико-механических явлений, протекающих при контактном взаимодействии гранульного абразивного материала и обрабатываемой поверхности, образование свободных макрорадикалов в результате деструкции полимера может проходить по различным механизмам. Изменяя условия резания при обработке гранульным абразивным материалом, возможно активизировать и инициировать эти механизмы.

Наибольшее значение приобретает механическая деструкция, протекающая при трении полимерной связки и металла. Механическая деструкция начинается, когда механические напряжения превышают энергии связей атомов в полимере. Механодеструкция, как разрыв макромолекулы в поле механических сил, сопровождается значительным изменением всего комплекса физико-химических свойств полимера – уменьшением молекулярной массы, появлением новых функциональных групп, изменением растворимости, возникновением системы пространственных связей и т. д.

При механической деструкции (особенно в случае приложения больших нагрузок) происходит изменение структуры и свойств полимеров, связанное с разрывом макромолекул. Такой разрыв в присутствии кислорода воздуха способствует возникновению свободных радикалов, которые инициируют цепной процесс окислительной деструкции. Это вызывает еще более глубокие изменения и разрушения полимеров.

Кроме того, при нагревании полимеров протекает термическая деструкция, которая в значительной степени зависит от их химического строения. Этот процесс идет по радикальному механизму и сопровождается разрывом связей, а также снижением молекулярной массы полимера. Термическая деструкция ускоряется в присутствии соединений, легко распадающихся на свободные радикалы. При повышенной температуре скорость деструкции возрастает.

Необходимо учитывать, что полимеризация характерна для соединений с кратными связями, число и характер которых в молекуле мономера могут быть различными. Деполимеризация характеризуется разрывами связей полимера с возникновением пары распадающихся радикалов. Соответственно количество макрорадикалов при деструкции полимера зависит от числа молекул, т.е. от их молекулярной массы.

Таким образом, для увеличения количества макрорадикалов в зоне контакта трибосопряжения «абразивная гранула – обрабатываемый металл» в результате деструкции полимера необходимо проведение полимеризации гранул с обеспечением максимального числа молекул, снижения их молекулярной массы.

Полимеризация всегда сопровождается понижением степени насыщенности реагирующих веществ, уменьшением общего числа молекул и увеличением их средней молекулярной массы. Подбором подходящих условий полимеризации можно изменять среднюю молекулярную массу и связанные с ней свойства полимеров. Так, при радикальной полимеризации повышение температуры реакции или содержания инициатора увеличивает число растущих радикалов. Так как скорость реакции цепи имеет первый порядок по концентрации растущих радикалов, а скорость реакции обрыва – второй порядок, то средняя молекулярная масса понижается при повышении скорости полимеризации. Снижение концентрации мономера также приводит к получению полимеров с небольшой молекулярной массой, но при этом скорость полимеризации тоже снижается.

Таким образом, снижение молекулярной массы полимера изменением условий полимеризации не всегда целесообразно вследствие возможности протекания побочных реакций при высоких температурах и высоких концентрациях инициаторов. Более перспективным направлением снижения молекулярной массы является добавление регуляторов – веществ, через которые легко осуществляется передача цепи. Уже при малых концентрациях эти вещества сильно снижают среднюю молекулярную массу. Скорость полимеризации при этом существенно не увеличивается.

Используя последние достижения исследований в области синтеза высокомолекулярных соединений, в качестве регуляторов могут быть рекомендованы различные материалы. В последние годы активно развивается новая концепция контролируемых процессов – псевдоживая радикальная полимеризация. Важнейшей особенностью её является чередование периодов роста, обрыва и реинициирования полимерных цепей за счет незначительных количеств активных добавок особого типа (стабильных радикалов и их источников, соединений металлов переменой валентности и др.), способных к обратимому взаимодействию с ведущими цепь активными радикалами. При этом открываются возможности проведения синтеза полимеров с регулируемой полидисперсностью, т. е. в целом моделирования макромолекулярного дизайна синтезируемых материалов.

Для регулирования роста полимерной цепи виниловых мономеров (к которым относится рекомендованный выше метилметакрилат) в условиях контролируемой полимеризации могут использоваться бинарные инифертеры в виде органических окситриазенов и металлосодержащие мономеры. Образование стабильных радикалов происходит при введении этих добавок в количествах, соизмеримых с концентрацией инициатора полимеризации. Становится возможным проведение процесса без автоускорения и получение полимера с равномерно нарастающей молекулярной массой, невысокими значениями коэффициента полидисперсности при температурах ниже 100 ^{o}C. Установлено, что за счет варьирования условий проведения контролируемой полимеризации с участием предложенных соединений (температура, концентрация добавки, инициатор) возможно получать полимеры в широком диапазоне молекулярных масс. В частности, при полимеризации метилметакрилата получено изменение молекулярной массы до трех раз [6].

Кроме того, для регулирования строения и молекулярно-массовых характеристик ПММА при контролируемом синтезе, протекающем в условиях обратимой передачи цепи, могут использоваться низко- и высокомолекулярные дитиобензоаты и тритиокарбонаты. Даже при самой низкой концентрации ($1x10^{-3}$ моль/л) какого-либо из этих агентов полимеризации достигается снижение молекулярной массы полимера в два-три раза [7].

Увеличению скорости полимеризации метилметакрилата и снижению молекулярного веса полимера способствует и добавки окисей металлов. Например, наличие TiO_2 и Cu_2O при концентрации 9 гр/л воды приводит к увеличению скорости полимеризации соответственно в 1,5 и 3,5 раза. Среднее значение молекулярного веса снижается постепенно при введении TiO_2 и резко уменьшается при введении Cu_2O [8].

Более перспективным передатчиком цепи при радикальной полимеризации метакрилата могут выступать кремнийорганические гидриды. Введение активных гидридов позволяет проводить полимеризацию без автоускорения до глубокой конверсии при умеренных температурах (60 ^{o}C), и без существенного снижения скорости процесса полимеризации, синтезировать полимеры заданной молекулярной массы и снижать степень полидисперсности полимера до величин, соответствующих предыдущим материалам. При этом отмечено снижение плотности ПММА с 1,19 до 1,17 г/см^3 при увеличении концентрации передатчика до 2 мас.%. Уменьшение плотности полимеров обусловлено снижением плотности упаковки макромолекул и возрастанием доли свободного объема в ПММА, т. е. модифицированные полимеры имеют более рыхлую структуру по сравнению с немодифицированными. Кроме того, установлено увеличение скорости термодеструкции этих полимеров с уменьшением их молекулярной массы [9].

Возможность изменения свойств полимера в процессе псевдоживой радикальной полимеризации: плотности, температуры стеклования, микроструктуры, термостабильности, прочности открывает дополнительные перспективы повышения эффективности гранульного абразивного материала.

В частности, получение более рыхлой структуры полимера способствует при резании уменьшению площади контакта полимерной связки гранул и металла, увеличению удельной нагрузки на макромолекулу и степени ее механодеструкции. Соответственно, увеличение механодеструкции и термодеструкции приведет к увеличению содержания свободных макрорадикалов в зоне контакта абразивной гранулы и обрабатываемого материала.

Придание полимерным материалам ряда целевых, в т. ч. уникальных свойств отмечается и в случае применения сульфоксидов и сульфоксидных комплексов солей металлов в качестве регулирующих и функциональных добавок в процессах радикальной полимеризации виниловых мономеров. Присутствие сульфоксидов в полимеризационных системах при концентрациях $10^{-3} \div 10^{-2}$ моль/л отражается на молекулярных массах синтезированного ПММА. Установлено, что сульфоксидные комплексы с явно выраженным переносом заряда являются сильными ингибиторами полимеризации, а без переноса заряда – слабыми передатчиками цепи. При этом обнаружено внедрение серосодержащих фрагментов сульфоксида в полимер, а средняя степень полимеризации снижается в среднем в 1,3 раза [10].

Выводы. Таким образом, повышение эффективности обработки гранульным абразивным материалом может осуществляться путем создания условий по увеличению содержания свободных макрорадикалов в трибосопряжении «абразивная гранула – обрабатываемый металл» и их воздействию на поверхностный слой заготовки. Анализ изменения производительности шлифования абразивными гранульными лентами в среде СОЖ, шероховатости обработанной поверхности и состояния поверхностного слоя нержавеющей стали позволяет отметить перспективность этого направления.

Добавка различных веществ при радикальной суспензионной полимеризации связующего гранул из метилметакрилата дает возможность регулировать степень полимеризации и величину получаемых молекул полимера. Наряду с варьированием режимами полимеризации и условиями в зоне трения абразивной гранулы и обрабатываемого металла в процессе шлифования, это открывает дополнительные возможности в обеспечении зоны контакта свободными макрорадикалами при деструкции полимера. Оптимальный регулятор полимеризации должен определяться в ходе эксплуатационных испытаний гранульного абразивного материала с учетом конкретных условий шлифования.

Перспективным направлением применения регуляторов полимеризации является не только их влияние на кинетические параметры синтеза и молекулярно-массовые характеристики макромолекул, но и изменение при этом структуры и физико-механических свойств полимера и, соответственно, абразивной гранулы, что расширяет технологические возможности гранульного материала. Кроме того, целесообразно проведение дополнительных исследований по адсорбции макромолекул на обрабатываемой поверхности, способности свободных радикалов активизировать и инициировать химические процессы в зоне обработки и, в частности, степени окисления обрабатываемого металла.

Список использованных источников

1. Цыганов В. В. Влияние макрорадикалов на эффективность шлифования лентами из гранулированного абразивного материала / В. В. Цыганов // Вісник двигунобудування. – 2012. – № 1 – С. 186-191.

2. Гороховский Г. А. Поверхностная активация полимеров и ее влияние на износ металлов / Г. А. Гороховский // Применение материалов на основе пластмасс для опор скольжения и уплотнений в машинах: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1968. – С. 30-33.

3. Цыганов В. В. Трибодиагностика эффективности обработки металлов резанием на примере использования гранульного абразивного материала / В. В. Цыганов // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 4, ч. 1. – С. 63-66.

4. Запорожец В. В. Однородность состояния поверхностного слоя нержавеющей стали после ленточной абразивной обработки / В. В. Запорожец, В. В. Цыганов // Проблемы трения и изнашивания: науч.-техн. сб. – 1987. – Вып. 32. – С. 43-47.

5. Запорожец В. В. Динамические характеристики прочности поверхностных слоев и их оценка / В. В. Запорожец // Трение и износ. – 1980. – Т. 1, № 4. – С. 602-609.

6. Семенычева Л. Л. Контролируемый синтез полимеров на основе виниловых мономеров в присутствии добавок, образующих стабильные радикалы непосредственно в полимеризующейся массе: автореф. дис. д-ра хим. наук / Л. Л. Семенычева; [Нижнегор. гос. ун-т]. – Нижнегорск, 2008. – 40 с.

7. Черникова Е. В. Псевдоживая радикальная гомо- и сополимеризация по механизму обратимой передачи цепи: автореф. дис. д-ра хим. наук / Е. В. Черникова; [Моск. гос. ун-т]. – М., 2010. – 47 с.

8. Moustafa A.B., Ghanem N.A., ABD-El-Hakim A.A. Polymerization of Methyl Methacrylate in water in Presence of the Metal Oxides TiO_2 and Cu_2O //Journal of applied polymer science. – 1976. – Vol. 20. – P. 2643-2652.

9. Булгакова С. А. Радикальная (со)полимеризация виниловых мономеров в присутствии кремнийорганических гидридов и свойства (со)полимеров: автореф. дис. д-ра хим. наук / С. А. Булгакова; [Нижнегор. гос. ун-т]. – Нижнегорск, 2008. – 44 с.

10. Баталов Э. М. Радикальная полимеризация виниловых мономеров в присутствии сульфоксидов и их комплексов с солями металлов: автореф. дис. д-ра хим. наук / Э. М. Баталов; [Инс-т орг. химии УНЦ РАН]. – Уфа, 2008. – 47 с.

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 004.021:621.01.001.2

С.Г. Бондаренко, канд. техн. наук
О.О. Борисов, асистент
О.М. Чередніков, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ АВТОМОБІЛЬНИХ КАРДАННИХ ПЕРЕДАЧ

Розглянуто розрахунок розмірних ланцюгів з векторними похибками, наведено результати зменшення плаваючого дисбалансу за рахунок усунення ланок зазорів у шарнірах карданних передач шляхом зачеканення підшипників.
Ключові слова: *розмірні ланцюги, ланки зазори.*

Рассмотрено расчет размерных цепей с векторными погрешностями, приведены результаты уменьшения плавающего дисбаланса за счет устранения звеньев зазоров в шарнирах карданных передач путем зачеканки подшипников.
Ключевые слова: *размерные цепи, звенья зазоры.*

The calculation of size chains with vectorial errors is considered, results over of diminishing of floating disbalance are brought due to the removal of links of gaps in the hinges of cardan transmissions by calking of bearing.
Key words: *size chains, links gaps.*

Вступ. Продукція автомобілебудування характеризується частою зміною моделей, виробів, що викликає необхідність постійного проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, удосконалення технологічних процесів, розробки нових матеріалів.

Одним з основних вузлів автомобілів є карданна передача. Вироби, що поставляються в умовах жорсткої конкуренції на внутрішній і, особливо, на зовнішній ринок, повинні мати новий рівень властивостей і відповідати всезростаючим вимогам потенційних користувачів до функціональних характеристик, зокрема відповідати міжнародним стандартам серії ISO-9000. Забезпечення такого рівня виробів пов'язане з нетрадиційними конструкторськими та технологічними рішеннями, реалізація яких не завжди можлива на основі використання традиційних технологій, обладнання та оснащення загального призначення.

Довговічність карданних передач зазвичай у 1,5-2,0 рази менше довговічності основних агрегатів, при цьому 67,95 % усіх відмов карданної передачі припадає на хрестовину з підшипниками.

Таким чином, проблема якості карданної передачі з поліпшеними показниками якості є актуальною, і для її розв'язання необхідно удосконалювати її конструкцію та процес виготовлення.

Постановка завдання. Підвищення силового навантаження на карданні передачі та частоти їх обертання вимагає розробки нових конструктивних та технологічних рішень, направлених на підвищення строку служби карданної передачі і, зокрема, карданного шарніра – одного з основних вузлів карданної передачі, що визначає її довговічність.

Дисбаланс – одне з найнебезпечніших явищ, що діє на всі обертові деталі, в тому числі і карданні передачі. Дисбаланс – векторна величина, що дорівнює добутку незрівноваженої маси на її ексцентриситет. Вектор дисбалансу перпендикулярний вісі обертання тіла, проходить через центр незрівноваженої маси та обертається разом з ним. Для усунення дисбалансу обертове тіло зрівноважують додатковою (корегуючою) масою. У карданній передачі додатковою масою виступають пластини, приварювані у чітко визначеному місці, яке визначається в процесі балансування.

«Плаваючий» дисбаланс – векторна величина, що дорівнює добутку незрівноваженої маси на її ексцентриситет, який постійно змінює своє значення за рахунок постійного переміщення центра ваги відносно вісі обертання внаслідок наявності зазорів з'єднань.

Методи та рішення. В цьому випадку відбалансувати вал неможливо. Зменшити дисбаланс можна лише шляхом зменшення зазорів з'єднань.

Визначення чинників, які призводять до виникнення «плаваючого» дисбалансу, виконуємо на основі розмірного аналізу конструкції. Для цього розглянемо розмірний ланцюг, що забезпечує плавність обертання вала. Ланками цього розмірного ланцюга (рис. 1) є:

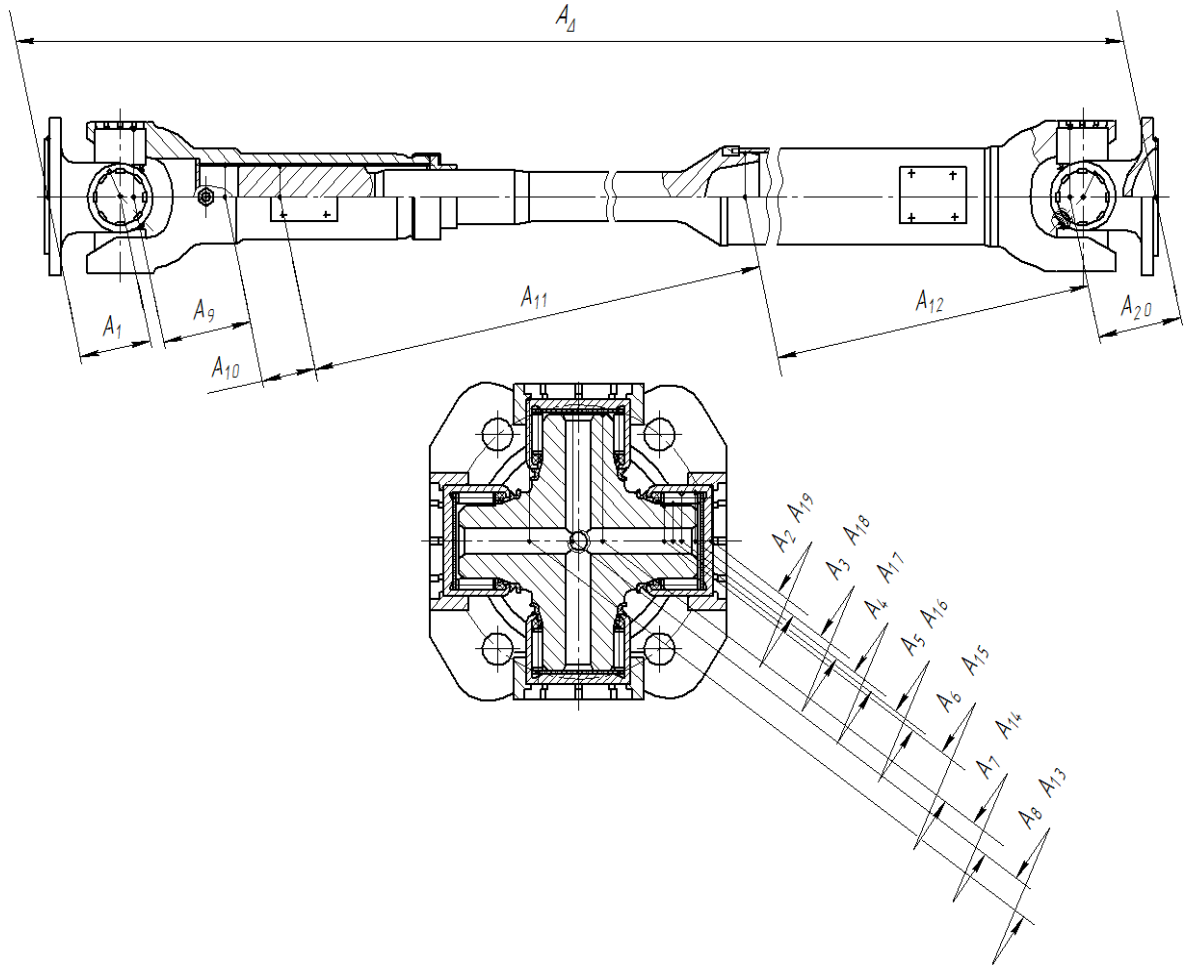


Рис. 1. Розмірний ланцюг, що визначає «плаваючий» дисбаланс у карданній передачі

A_1, A_{20} – концентричність розташування отвору фланця відносно бази;

A_2, A_{19} – концентричність розташування корпуса підшипника в отворі фланця;

A_3, A_{18} – концентричність розташування отвору корпуса підшипника відносно його зовнішньої поверхні;

A_4, A_{17} – концентричність розташування роликів підшипника;

A_5, A_{16} – радіальний зазор у шарнірі;

A_6, A_{15} – концентричність розташування цапфи хрестовини;

A_7, A_{14} – осьовий зазор шарніра;

A_8 – A_{12} – концентричність розташування елементів вилки 6: канавки під стопорні кільця, каплі зачеканки;

A_9 – симетричність розташування шліців вилки відносно отворів під хрестовину;

A_{10} – зазор у вузлі телескопіювання;

A_{11} – концентричність шліців і проточки вала;

A – симетричність базової проточки й отворів під підшипники вилки;

A_{12} – симетричність розташування корпусу підшипника і шайби.

Отже, ланки A_1, A_2, A_3, A_6, A_8, A_9, A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{15}, A_{17}, A_{18}, A_{19}, A_{20} залежать від точності виготовлення відповідних деталей. До плаваючого дисбалансу будуть призво-

дити: осьовий (ланки A_7, A_{14}) і радіальний (ланки A_5, A_{16}) зазори в шарнірі, а також зазор між шліцьовим з'єднанням у вузлі телескопіювання (ланка A_{10}).

При експлуатації карданного вала діють відцентрова сила (залежно від частоти обертання) і осьова сила, викликана тертям у шліцьовому з'єднанні і кутом зламу в шарнірі. За певних умов ці сили можуть привести до випресування підшипників з отворів вилок, що приведе до руйнування карданного вала й аварії. Тому для безпечної експлуатації карданної передачі необхідно забезпечити надійне закріплення підшипників і мінімальний осьовий зазор у підшипниковому вузлі (0,02...0,04 мм) та симетричність підшипників відносно основних баз фланця і вилки.

Найпоширенішою є фіксація підшипників зовнішнім або внутрішнім стопорними кільцями та зачеканенням, які забезпечують різний осьовий зазор у підшипниках та різну трудомісткість.

Так, при фіксації підшипників зовнішнім стопорним кільцем (варіант 1) корпус підшипника повинен мати кільцеву канавку.

Осьовий зазор A_Δ підшипника залежить від точності шестиланкового розмірного ланцюга А (рис. 2).

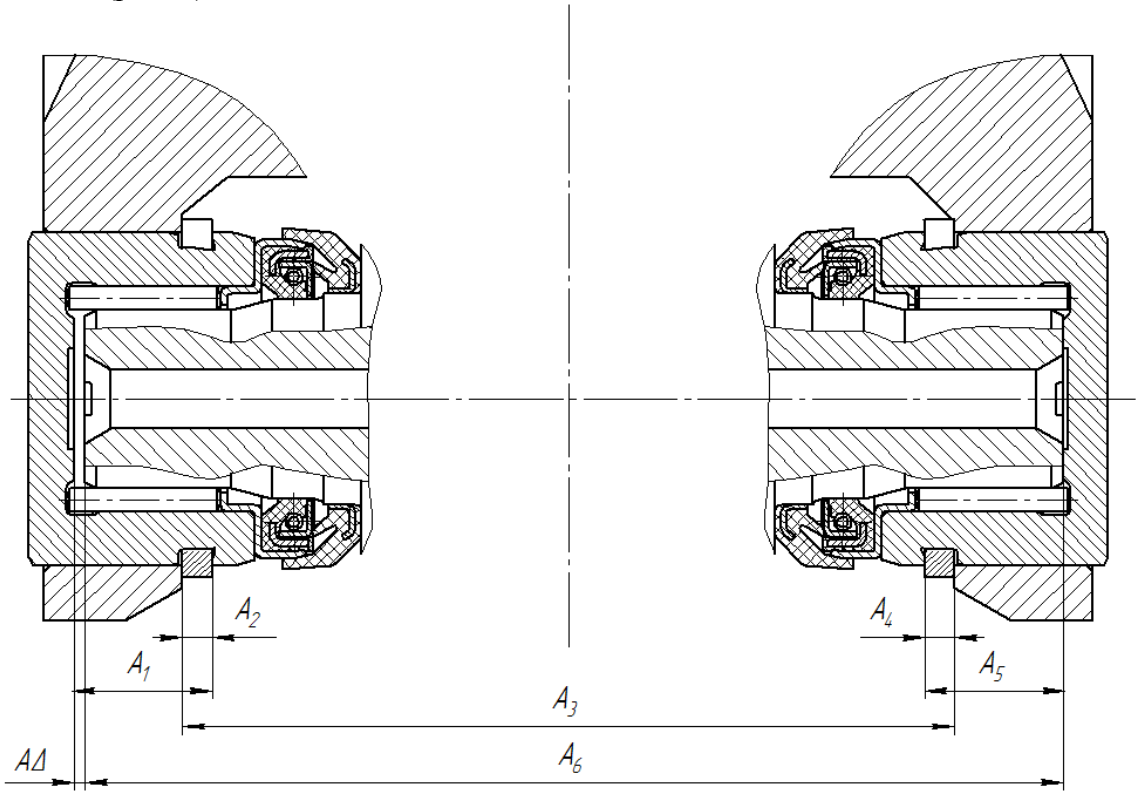


Рис. 2. Розмірний ланцюг, що визначає осьовий зазор у шарнірі за варіантом 1 фіксації

При закріпленні підшипника зовнішнім стопорним кільцем (варіант 2), проточка виконується в отворі вилки (рис. 3), що ослаблює останню, а тому потребує збільшення її розмірів.

Як наслідок, виникають проблеми під час виготовлення деталей та складанні вузлів виробу, виникає необхідність припасувальних робіт, що призводить до збільшення витрат виробництва і зменшення сталості якості виробу в цілому. Крім того, така схема ускладнює забезпечення точності розташування проточок, однак процес складання дещо спрощується.

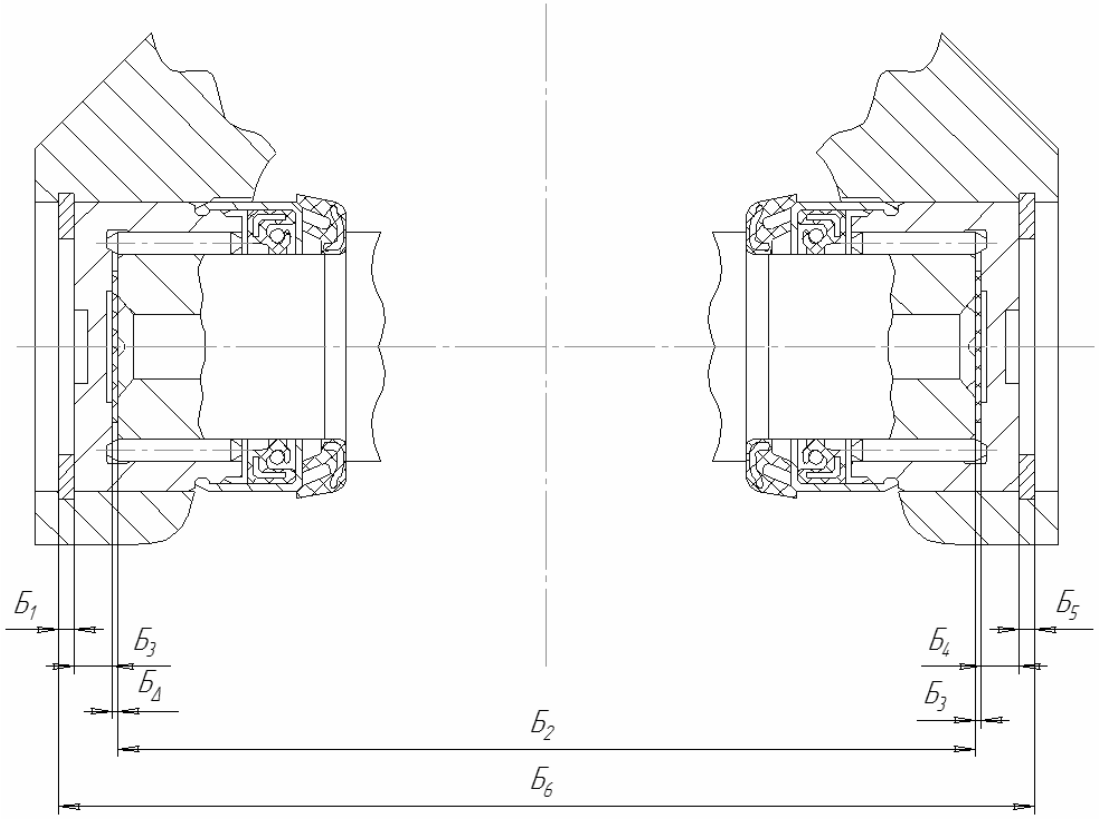


Рис. 3. Схема розмірного ланцюга, що визначає осьовий зазор в шарнірі за варіантом 2 фіксації

При фіксації зачеканкою (рис. 4) підшипник утримується спеціальними шипами у вилці, утвореними в процесі пластичної деформації її матеріалу спеціальним інструментом обмеженого ходу. В результаті зазор у карданному шарнірі мінімально необхідний, складання шарнірів відбувається швидко і легко автоматизується. Недоліком цього способу є неремонтоздатність карданного шарніра, однак використання сучасних мастил, якісне виготовлення, експлуатація при невеликих кутах зламу карданної передачі дозволяє збільшити довговічність шарнірів до величини ресурсу автомобіля, що виключає необхідність їх ремонту.

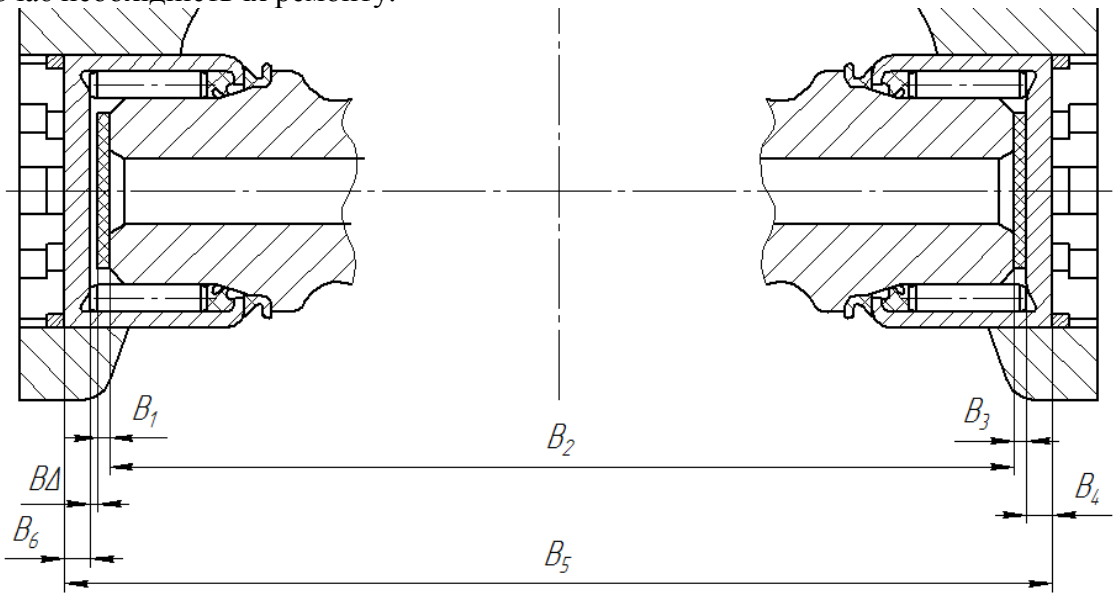


Рис. 4. Схема розмірного ланцюга, що визначає осьовий зазор у шарнірі за варіантом 3 фіксації

Передові світові фірми широко використовують вказаний варіант фіксації підшипників, що зменшує дисбаланс карданних валів і дає можливість використовувати їх при високих частотах обертання.

Розмірний аналіз різних варіантів фіксації підшипників (таблиця 1) показав, що необхідну точність не забезпечує ні перша, ні друга схема фіксації (рис. 5).

Таблиця 1

Результати розрахунків розмірних ланцюгів

Схема фіксації підшипників	Значення зазору, мм
Внутрішнім стопорним кільцем (варіант 1)	$0^{+0,05}_{-0,026}$
Зовнішнім стопорним кільцем (варіант 2)	$0,02^{+0,166}_{-0,031}$
Зачеканенням (варіант 3)	$0^{+0,04}_{+0,01}$

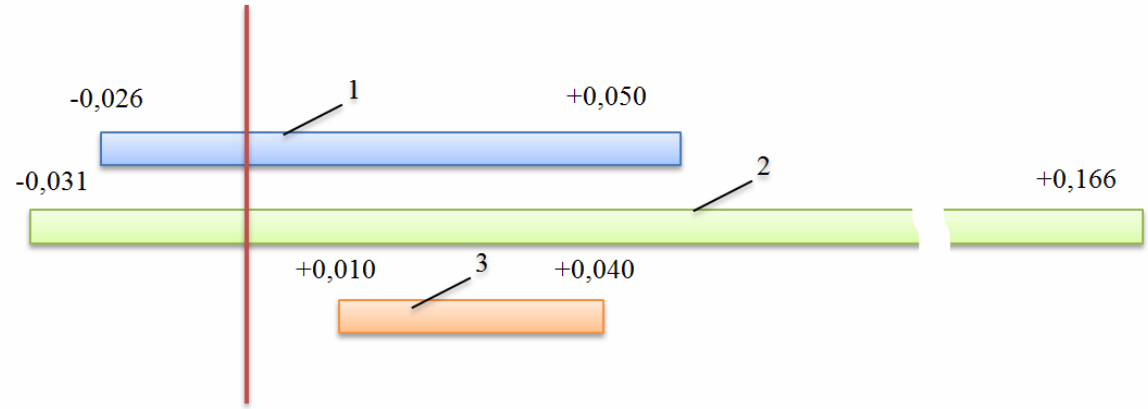


Рис. 5. Схема розташування поля розсіювання значень осьового зазору за першою (1), другою (2) та третьою (3) схемою фіксації підшипників

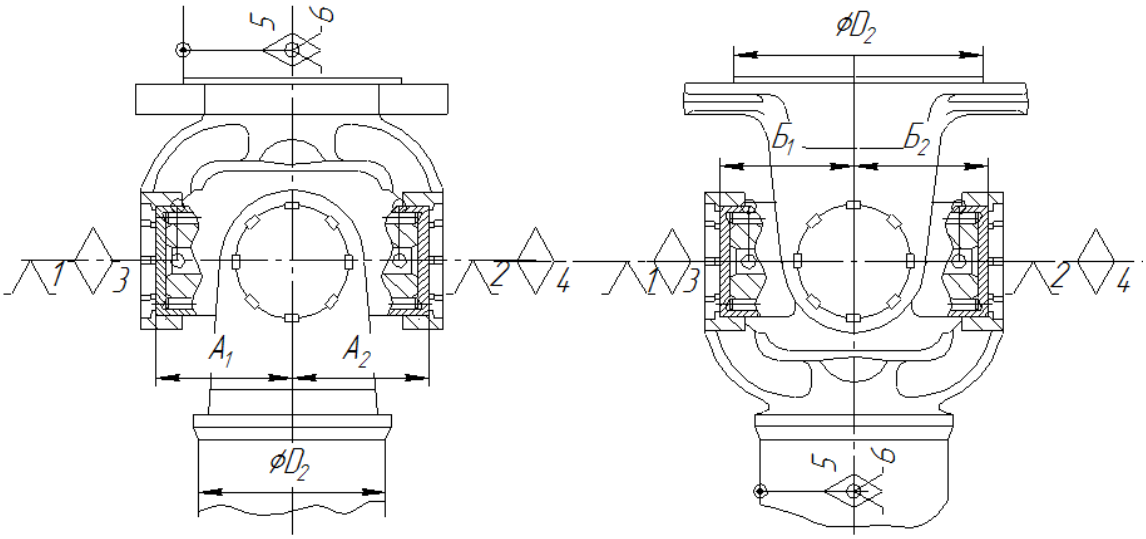
Ці варіанти, під час складання за методом повної взаємозамінності не можуть забезпечити зазор у шарнірі в необхідних межах. Так, за варіантом 1 осьовий зазор менше допустимого ймовірний у понад 50 % виробів, а більший – у 2 % виробів. За варіантом 2 – відповідно у 38 % і понад 50 % виробів.

Крім того, у значної кількості виробів (біля 16 % за варіантом 1 і 38 % за варіантом 2) можливий натяг (відсутність осьового зазору) в підшипниках, що недопустимо, оскільки це різко зменшує ресурс роботи карданної передачі.

Тому виникає необхідність використання селективного складання, що значно ускладнює виготовлення карданного шарніру. В такому випадку, як правило, одне стопорне кільце є постійним, а інше підбирається.

За третьою схемою фіксації підшипників забезпечується регламентований осьовий зазор, однак складання суттєво ускладнюється необхідністю спеціального деформуючого інструменту та пристрою для цієї операції. Тому в Україні ця технологія ще не набула достатнього поширення.

Симетричність торців підшипників відносно основних баз фланця і вилки буде забезпечена базуванням на операції зачеканення підшипників фланця на вісь буртика $ØD_1$, а на операції зачеканення підшипників вилки проміжного валу – на вісь зовнішнього діаметра труби $ØD_2$ (рис. 6).



а б

$C=|A_1-A_2|\leq 0{,}04$мм $C=|Б_1-Б_2|\leq 0{,}4$мм

Рис. 6. Схеми базування шарніра при зачеканенні підшипників фланця (а) і вилки (б)

Концентричність шипів зачеканення відносно вісі отворів вилки на обох операціях забезпечується базуванням на вісь зовнішньої поверхні підшипника, запресованого в цей отвір. Простішим у реалізації буде базування не на вісь, а на зовнішню поверхню стакана підшипника, хоча при цьому можлива похибка базування за відповідними координатними осями.

Висновки

1. Необхідну точність розташування підшипників фіксація не забезпечує, що приводить до суттєвих значень величини «плаваючого» дисбалансу.
2. Мінімальний «плаваючий» дисбаланс забезпечується фіксацією підшипників зачеканенням.
3. Для зменшення радіального зазору необхідно зменшити допуск цапфи хрестовини, а для зменшення зазору в шліцьовому телескопічному з'єднанні – збільшити довжину зачеплення шліців та зменшити допуск зовнішнього діаметра або бічних поверхонь зубців шліцьового з'єднання.
4. Симетричність підшипників відносно вісі обертання вала на операції зачеканення підшипників фланця можна забезпечити базуванням на вісь його центруючого буртика, а при зачеканенні підшипників вилки – на вісь зовнішнього діаметра труби. В якості подвійної напрямної бази на обох операціях слід використовувати загальну вісь зовнішніх поверхонь стаканів підшипника.

Список використаних джерел

1. Размерный анализ конструкций: справочник / С. Г. Бондаренко, О. Н. Чередников, В. П. Губий, Т. Н. Игнатцев; под общ. ред. канд. техн. наук С. Г. Бондаренко. – К.: Техника, 1989. – 150 с.
2. Бондаренко С. Г. Технології механоскладального виробництва: монографія / С. Г. Бондаренко. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2008. – 358 с.
3. Чередніков О. М. Вплив вимірювальних розмірних ланцюгів на точність замикаючої ланки / О. М. Чередніков, О. О. Борисов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2009. – № 40. – С. 73-78.

УДК 621.822.43

І. М. Хоменко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

А.К. Кобринець, аспірант
Національний технічний університет „Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ДИЗЕЛЯ, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ РОБОТИ НА БІОЛОГІЧНОМУ ПАЛИВІ

У роботі наведено фізико-хімічні показники біологічного палива як похідного метилових ефірів ріпакового масла, а також метод теплового розрахунку дизеля, що працює на суміші дизельного й біологічного палив.

***Ключові слова**:тепловий розрахунок дизеля, біодизель, ріпакове масло.*

В работе приведены физико-химические показатели биологического топлива как производного метиловых эфиров рапсового масла, а также метод теплового расчета дизеля, работающего на смеси дизельного и биологического топлив.

***Ключевые слова**: тепловой расчет дизеля, биодизель, рапсовое масло.*

In this paper the physical and chemical properties of biofuels, as the original rapeseed oil methyl esters as well - a method of thermal calculation of a diesel engine that runs on a mixture of diesel and biofuels.

***Key words**: warm calculation of diesel, biodiesel, rapeoil.*

Вступ. Скорочення запасів органічних палив (нафта, газ), проблеми охорони навколишнього середовища, пов’язані зі шкідливими викидами в атмосферу, призвели до того, що все частіше як паливо двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) знаходить застосування біологічне паливо: ріпакове, кокосове, пальмове масло, соняшникова олія, соя, а також відпрацьоване рослинне масло, тваринні жири, риб’ячий жир тощо [1].

В Європі як паливо переважно використовують метиловий ефір ріпакового масла, так зване біодизельне паливо (скорочена назва – біодизель або БД). При врожаї насіння ріпаку біля 30 ц/га можна виробляти до 2000 л біодизеля.

При виробництві та використанні 1 л дизельного палива виділяється 3 кг CO_2, а біодизельного – 0,5 кг. Вартість БД на основі суміші ріпакового масла, як правило, нижче ринкової ціни нафтового дизпалива на 15...20 %. Загалом в Європі 1 л біодизеля на 0,1…0,15 євро дешевше, ніж дизельного палива. В Україні, за різними даними, собівартість 1 л біодизеля становить від 2,2 до 3 грн. [7].

У Німеччині під ріпак виділяється приблизно 1,3 млн. га сільськогосподарських земель, що становить 10 % всіх використовуваних земельних угідь. Україна експортує близько 90 % виробленого ріпаку в країни ЄС. Так, наприклад, у 2008/2009 маркетинговому році Україна експортувала до Європейського Союзу насіння ріпаку в обсязі 2,64 млн тонн на загальну суму $ 1,35 млрд, у тому числі в Нідерланди – 700 тис. тон, в Бельгію – 431тис. тон, у Францію – 386 тис. тон і в Польщу – 237 тис. тон [4].

Біодизель отримують шляхом змішування рідких вуглеводневих палив і похідних ріпакового масла (РМ) – метилових ефірів РМ (МЕРМ). В країнах Західної Європи віддають перевагу метилірованій ріпаковій олії. У США суміш дизельного палива з біодизелем позначається літерою В; число після букви означає процентний вміст біодизелю. В2 – 2 % біодизеля, 98 % дизельного палива. В100 –100 % біодизеля.

Перевагами біопалива на основі ріпакової олії є: екологічна безпека; використання для вирощування ріпаку неугідь; просте поновлення ресурсів ріпаку; нижча порівняно з органічними паливами вартість.

Біодизель характеризується хорошими мастильними властивостями, що продовжує термін життя двигуна. Він піддається практично повному біологічному розпаду: у ґрунті або у воді мікроорганізми за 28 днів переробляють 99 % біодизеля, що дозволяє говорити про мінімізацію забруднення річок та озер. Скорочення викидів CO_2: під час згоряння біодизелю виділяється рівно така ж кількість вуглекислого газу, яку було спожито з атмосфери рослиною, що є вихідною сировиною для виробництва олії, за весь період її життя.

Важливою характеристикою для самозаймання палива в дизелі є цетанове число, яке для мінерального дизпалива становить 42…45 одиниць, для біодизеля – не менше 51. Точка займання для біодизеля перевищує 150 °С, що робить біопальне порівняно безпечною речовиною [6].

Під час роботи двигуна на біодизелі одночасно проводиться змащення його рухомих частин, у результаті якого, як показують випробування, досягається збільшення терміну служби самого двигуна і паливного насосу в середньому на 60 %. Як правило, немає необхідності модернізувати основну конструкцію двигуна.

Проте слід зазначити, що у холодну пору року необхідно підігрівати паливо перед подачею в паливний насос, або застосовувати суміші 20 % біодизеля і 80 % солярки марки В20. Біодизель довго не зберігається (близько 3 місяців): збільшуються витрати палива на 10 %; у деяких випадках необхідно переробляти форсунки двигуна; потребує частішої заміни мастила у двигуні.

Разом з тим, виробництво біопалива розширюється, йде пошук технологій, які покращують його характеристики.

Вплив деяких фізико-хімічних показників біодизеля на параметри дизеля і його еколого-експлуатаційні характеристики розглянуто в роботі [3]. При цьому відзначимо, що підвищені (порівняно з дизельним паливом на 10 % густина і кінематична в'язкість в 1,5 рази) сприяють деякому збільшенню далекобійності паливного факела й діаметра крапель палива, що може привести до потрапляння його на стінки камери згоряння й гільзи циліндра. Занижені значення коефіцієнта стиску біодизеля потребують збільшення дійсного кута випередження впорскування палива і максимального тиску у форсунці. Високе цетанове число біодизеля сприяє скороченню періоду затримки займання і менш «жорсткій» роботі дизеля. Кисень (~ 10 %) у молекулі метилового ефіру дозволяє інтенсифікувати процес згоряння й забезпечити вищу температуру в циліндрі дизеля, що, з одного боку, сприяє підвищенню індикаторного й ефективного ККД двигуна, а з іншого – призводить до деякого збільшення оксиду азоту NOx у відпрацьованих газах. Дещо менша у порівнянні з ДТ частка вуглецю (~ 77 %) у молекулі біодизеля призводить до зменшення його нижчої теплоти згоряння на 13 … 15 % і збільшенню погодинної і питомої витрат палива. Для збереження номінальних параметрів двигуна при переході на біодизель паливо потребує перерегулювання паливної апаратури. Застосування біодизеля дозволяє забезпечити зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами. Для дизельних двигунів з вихровою камерою (передкамерою) і безпосереднім впорскуванням зниження відповідно становить: CO – 10… 12 %, CnHm – 10… 35 %, тверді частинки ріпакового масла (PM) становлять 24…. 36 %, при цьому у вигляді сажі – 50…52 %. Деяке збільшення викидів NOx можна компенсувати низкою заходів: зменшенням дійсного кута випередження впорскування палива, рециркуляцією відпрацьованих газів, а також подачею води на впуску.

Метилоефіри є хімічно активними рідинами. У зв'язку з цим паливні баки, паливопроводи, деякі елементи конструкцій паливних насосів при використанні біодизеля в двигуні повинні мати захисні покриття.

Під час роботи дизельного двигуна на біодизелі відмічається [2], що після 100…200 годин роботи двигуна на поверхнях камери згоряння, поршня спостерігається підвищена кількість вуглецевих нашарувань, соплові отвори розпилювачів форсунок коксуються, що пояснюється значною кількість смолистих включень у ріпаковому маслі, порівняно з дизельним паливом.

Через велику гігроскопічність біодизеля необхідно здійснювати контроль вмісту води в ньому, щоб уникнути небезпеки розвитку мікроорганізмів, утворення перекисів і корозійного впливу на елементи паливної апаратури.

Для нормальної роботи двигуна на біодизелі повинні забезпечуватись вимоги до фізично-хімічних показників, закладені в стандарті ЄС EN 14214.02003.

Хімічний склад біодизеля й дизельного палива дещо відрізняються (таблиця 1); біодизель, як правило, працює в суміші з ДТ, що визиває необхідність внесення коректив в тепловий розрахунок ДВЗ.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники дизельного палива і біодизеля

Показники	**Паливо**	
	ДТ	**БД**
С, %	87,0	76,5
Н, %	12,6	12,4
О, %	0,4	11,1
μі, кг/кмоль	200	288
ρ200, кг/м3	825	882
M_O, кмоль/кг	0,497	0,437
L_O, кг/кг	14,34	12,60
H_U, МДж/кг	42,5	37,2
Хімічна формула	$C_{14.5}H_{25}O_{0.05}$	$C_{18.4}H_{35.3}O_2$

Методи і результати. Деякі особливості теплового розрахунку дизеля при роботі на суміші дизельного пального й біодизеля наведено нижче.

В основу теплового розрахунку покладено метод розрахунку термохімічних показників палив для енергоустановок, який наведено в роботі А.Р. Кульчицького [5]. Суть методу полягає у визначенні масової кількості хімічних елементів у паливі будь-якого хімічного складу, а також отриманні відповідної емпіричної формули палива, яку можна використати для визначення показників при тепловому розрахунку ДВЗ.

Окислення хімічних елементів палива. При теплових розрахунках ДВЗ роблять припущення, що азот до складу палива не входить. Це пояснюється тим, що його вміст у паливі, як правило, не перевищує 0,5 % (за масою). У загальному випадку до складу палива входять: вуглець С, водень Н, кисень О і сірка S (узагальнена формула палива CnHmOrSk).

У результаті повного згоряння вуглецю утворюються діоксид вуглецю CO_2, водню – вода H_2O, сірки – сірчистий ангідрид SO_2 (можливістю переходу SO_2 при зниженні температури до сірчаного ангідриду SO_3, як правило, нехтують). Хімічні реакції при цьому мають такий вигляд.

Реакція повного згоряння вуглецю:

$$C + O_2 = CO_2. \quad (1)$$

Якщо врахувати молекулярну масу елементів, то можна записати:

12 кг C + 32 кг O_2 = 44 кг CO_2.

З останнього виразу знаходимо, що для згорання 1 кг вуглецю потрібно 8/3 кг кисню; при цьому утворюється 11/3 кг вуглекислого газу.

Реакція повного згоряння водню:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O. \quad (2)$$

Якщо врахувати молекулярну масу елементів, то можна записати:

2 кг H_2 + 16 кг O_2 = 18 кг H_2O.

Тобто для згорання 1 кг водню потрібно 8 кг кисню і при цьому утворюється 9 кг води. Інша форма рівняння (2) [5]:

$$H + 0{,}25\ O_2 = 0{,}5\ H_2O. \quad (3)$$

Реакція повного згоряння сірки:

$$S + O_2 = SO_2. \quad (4)$$

Для молекулярних мас елементів:

32 кг S + 32 кг O_2 = 64 кг SO_2.

Тобто для згорання 1 кг сірки потрібно 1 кг кисню. При цьому утворюється 2 кг діоксиду сірки SO_2.

Якщо врахувати, що кисень, який знаходиться в паливі, бере участь у реакціях окислення, то на 1 кг такого палива потрібно:

$$lo = 8/3\ C + 8H + S - O, \text{ кг кисню.} \quad (5)$$

У випадку, якщо в хімічній формулі палива індекси при елементах вуглецю, водню і сірки дані в загальному вигляді (тобто n, m, k), то маємо такі вирази:

$$C \cdot n + n \cdot O_2 = n \cdot CO_2, \quad (6)$$

$$H \cdot m + 0{,}25\ m \cdot O_2 = 0{,}5\ m \cdot H_2O, \quad (7)$$

$$S \cdot k + k \cdot O_2 = k \cdot SO_2. \quad (8)$$

Для палива довільного складу можна записати таку формулу [5]:

$$CnHmOrSk + (n + 0{,}25\ m + k - 0{,}5\ r)\ O_2 = n \cdot CO_2 + 0{,}5\ m \cdot H_2O + k \cdot SO_2. \quad (9)$$

З формули (9) встановлюємо, що для згорання 1 кмоль палива довільного складу CnHmOrSk потрібно кисню (n + 0,25 m + k - 0,5 r) кмоль, при цьому утворюється n кмоль вуглекислого газу, 0,5 m кмоль води і k кмоль діоксиду сірки. Доданок – 0,5 r враховує частину палива, що припадає на кисень, а тому потрібна менша кількість атмосферного кисню для згоряння C, H і S.

Визначення емпіричної формули палива. Розглянемо випадок, коли задані масові долі окремих елементів у паливі.

Визначення індексів емпіричної (не путати з хімічною) формули палива – n, m, r, k проводять у такій послідовності. Ділять масовий вміст Wi відповідного елементу в паливі на молекулярну вагу μi елементу, значення якої беруть з періодичної таблиці елементів Д. І. Менделєєва Отримують значення індексу елементу. Значення індексів прийнято визначати з точністю до десятих часток діленням поточного значення Wi/ μi на його найменше значення. Приклад визначення індексів емпіричної формули палива, елементний склад якого: C = 77 %, H = 13 %, O = 0,5 %, S = 0,5 %, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати визначення індексів емпіричної формули палива

Елемент	Молекулярна вага – μi, кг/кмоль	Масова доля в паливі – Wi	Wi/ μi	Умовне значення, індекс
C	12	0,77	0,0642	41,2
H	1	0,13	0,1300	83,3
O	16	0,05	0,00312	2
S	32	0,05	0,00156	1

Тобто значення індексів: n = 41,2, m = 83,3, r = 2, k = 1.

Емпірична формула палива – $C_{41,2}\,H_{83,3}\,O_2\,S_1$.

Однією з характеристик палива, що визначає його схильність до сажоутворення, є відношення вуглецю до водню (C / H): чим більше значення цього відношення, тим вище схильність до сажоутворення. Для палива емпіричної формули $C_{41,2}\ H_{83,3}\ O_2\ S_1$ відношення C / H становить n / m = 41,2/83,3 = 0,495 моль/моль (у мольних долях) або nμC / mμH = (41,2 · 12) / (83,3 · 1) = 5,94 кг/кг (в масових одиницях).

Біодизельне паливо на основі ріпаку являє собою суміш метилових ефірів жирних кислот (табл. 3). Хімічні формули кислот та їх масовий вміст у суміші в процентах взято з роботи [2]. Для розрахунку молярної ваги за емпіричною формулою прийнято C = 12,0 кг/кмоль, H =1,0 кг/кмоль, O = 16 кг/кмоль.

Таблиця 3

Склад суміші метилових кислот на основі ріпакового масла

Назва кислот	**Хімічна формула**	**Склад, % масовий**	**Молярна вага, кг/кмоль**	**Молярна вага в суміші, кг/кмоль**
Пальмитинова	$C_{16}H_{32}O_2$	4,8	256	12,3
Стеаринова	$C_{18}H_{36}O_2$	1,7	284	4,8
Олеїнова	$C_{18}H_{34}O_2$	43,7	282	123,2
Линолева	$C_{18}H_{32}O_2$	20,9	280	58,5
Линоленова	$C_{18}H_{20}O_2$	8,5	268	22,8
Ейкозенова	$C_{20}H_{38}O_2$	4,8	310	14,9
Ерукова	$C_{22}H_{42}O_2$	15,4	338	52,0
Сума		99,8	–	288,5

Взагалі кількісно та якісно суміші метилових кислот можуть різнитися залежно від способу їх отримання.

Визначимо молярну вагу всіх молекул, що входять до суміші метилових кислот. Для цього кількість атомів кожного елементу в кислоті множимо на долю цієї кислоти в суміші кислот. Наприклад, для кислоти $C_{16}H_{32}O_2$ молярна вага С = 12·16·0,048 = 9,22 кг/кмоль і т. д. Результати розрахунку наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Молярна вага елементів біодизеля

Хімічна формула кислоти	**Склад, % масов.**	**Молярна вага елементу, кг/кмоль**		
		С	**Н**	**О**
$C_{16}H_{32}O_2$	4,8	9,22	1,54	1,54
$C_{18}H_{36}O_2$	1,7	3,67	0,61	0,54
$C_{18}H_{34}O_2$	43,7	94,39	14,86	13,98
$C_{18}H_{32}O_2$	20,9	45,14	6,69	6,69
$C_{18}H_{20}O_2$	8,5	18,36	1,70	2,72
$C_{20}H_{38}O_2$	4,8	11,52	1,82	1,54
$C_{22}H_{42}O_2$	15,4	40,66	6,47	4,93
Сума	99,8	222,96	33,69	31,94

Розділивши молярну вагу кожного елементу на сумарну молярну вагу суміші (табл. 3), отримуємо долю кожного елементу в суміші кислот, а саме:

С = 222,96 / 288,5 = 0,773; Н = 33,69 / 288,5 = 0,117; О = 31,94 / 288,5 = 0,11.

Для ДТ, хімічний склад якого наведено в таблиці 1 (хімічна формула $C_{14,5}H_{25}O_{0,05}$), молярна вага становить 200 кг/кмоль, а вміст елементів у масових одиницях відповідно: С – 174 кг/кмоль; Н – 25,2 кг/кмоль; О – 0,8 кг/кмоль. Для БД (хімічна формула – $C_{18,4}H_{35,3}O_2$) молярна вага становить 288 кг/кмоль, а вміст елементів: С – 220,8 кг/кмоль; Н – 35,3 кг/кмоль; О – 32 кг/кмоль.

Кількість елементів у суміші ДТ і БТ визначаємо за формулою:

$$Ec = E_{ДТ} \cdot K_{ДТ} + E_{БД} \cdot (1 - K_{ДТ}), \quad (10)$$

де Ес, $E_{ДТ}$, $E_{БД}$ – значення мас елементів суміші палив, дизельного палива і біодизеля відповідно;

$K_{ДТ}$ – відносна доля дизельного палива у паливній суміші.

Якщо складові палив, що змішуються, задано в об'ємних одиницях (л), то масову кількість елементів у суміші ДТ і БД рекомендовано визначати за формулою [9; 10]:

$$Ec = (E_{ДТ} \cdot K_{ДТ} \cdot \rho_{ДТ} + E_{БД} \cdot (1 - K_{ДТ}) \cdot \rho_{БД}) / \rho_C, \quad (11)$$

де ρc, $\rho_{ДТ}$, $\rho_{БД}$ – густина суміші палив, дизельного палива і біодизеля відповідно;

$$\rho c = \rho_{ДТ} \cdot K_{ДТ} + \rho_{БД} \cdot (1 - K_{ДТ}). \quad (12)$$

Розглянемо приклад визначення мас елементів суміші 80 % ДТ і 20 % БД згідно з даними, що наведено в таблиці 1.

За формулою (10) знаходимо масову кількість елементів, що входять до суміші палив:

Cc = 174·0,8+ 220,8·(1-0,8) = 183,36, кг/кмоль;

HC = 25,2·0,8+ 35,3·(1-0,8) = 27,22, кг/кмоль;

OC = 0,8·0,8+ 32·(1-0,8) = 7,04, кг/кмоль.

Сумарна молярна вага суміші палив:

$M_C = C_C + H_C + O_C$ = 217,62, кг/кмоль.

Відносні частки елементів у суміші палив:

C = C_C / M_C = 183,36 / 217,62 = 0,842;

H = HC / MC =27,22 / 217,62 = 0,125;

O = OC / MC =7,04 / 217,62 = 0,033.

Якщо суміш ДТ і БД задано в літрах, то отримаємо наступне.

За формулою (11) густина паливної суміші:

$\rho c = \rho_{ДТ} \cdot K_{ДТ} + \rho_{БД} \cdot (1 - K_{ДТ})$ = 825·0,8 + 882·(1-0,8) = 660 + 176,4 = 836,4, кг/м3.

Масова кількість елементів:

Cc = (174·0,8·825 + 220,8·(1-0,8)·882) / 836,4 = 183,87, кг/кмоль;

HC = (25,2·0,8·825 + 35,3·(1-0,8)·882) / 836,4 = 27,33, кг/кмоль;

OC =(0,8·0,8·825 + 32·(1-0,8)·882) / 836,4 = 7,38, кг/кмоль.

Сумарна молярна вага суміші палив:

$M_C = C_C + H_C + O_C$ = 218,58, кг/кмоль.

Відносні частки елементів у суміші палив:

C = C_C / M_C = 183,87 / 218,58 = 0,841;

H = HC / MC =27,33 / 218,58 = 0,125;

O = OC / MC =7,38 / 218,58 = 0,034.

Таблиця 5

Результати визначення індексів емпіричної формули суміші палив

Елемент	**Молекулярна вага – μi, кг/кмоль**	**Масова доля в паливі – Wi**	**Wi/ μi**	**Умовне значення, індекс**
C	12	0,842	0,07016	34
H	1	0,125	0,125	60,5
O	16	0,033	0,002065	1

Значення індексів суміші палив ДТ і БД:

n = 34; m = 60,5; r = 1.

Емпірична формула суміші ДТ і БД: $C_{34}H_{60,5}O_1$

Розрахунок витрати окислювача при згорянні палива. При теплових розрахунках ДВЗ паливо може бути задано або у вигляді індивідуальної речовини CnHmOrSk, або у вигляді часток окремих елементів C, H, S, O.

Якщо склад палива задано елементами C, H, S, O, то розрахунок теоретично необхідної кількості окислювача доцільно вести у такій послідовності.

1. Визначають витрату кисню на одиницю витрати палива за формулою (5).

2. Визначають кількість окислювача (атмосферного повітря) на одиницю витрати палива: lок = lo / kок, кг окисл / кг пал – масова витрата окислювача, де kок – частка кисню в окислювачі. Для повітря kок = 0,232 (вміст кисню в повітрі 23,2 % по масі). l'ок = lок/ρок, $м^3$окисл/кг пал – об'ємна витрата окислювача: ρок = 0,465 Bo/To, кг/$м^3$ (одиниці виміру: Bo, мм рт.ст, To, K).

Наприклад, необхідно визначити кількість кисню (за масою) і повітря (за масою і об'ємом) для спалювання 1 кг палива, елементний склад якого: С = 87 %, Н = 12,6%, О = 0,4 %. Показники стану навколишнього середовища: Во = 740 мм рт.ст і t^o = 20 ^{o}С.

Розрахунок:

– кількість кисню, необхідного для спалювання 1 кг палива:

$l_o = 8/3\ C + 8H + S - O = 8 \cdot 0{,}87/3 + 8 \cdot 0{,}126 + 0 - 0{,}004 = 3{,}324$ кг O_2;

– масова кількість повітря, необхідного для спалювання 1 кг палива:

$l_{ок} = l_o / k_{ок} = 3{,}324 / 0{,}232 = 14{,}33$ кг;

– густина повітря при заданих умовах навколишнього середовища:

$\rho_{ок} = 0{,}465\ Во / То = 0{,}465 \cdot 740 / (20 + 273) = 1{,}174$ кг / м^3;

– об'ємна витрата повітря для спалювання 1 кг палива:

$l'_{ок} = l_{ок} / \rho_{ок} = 14{,}33 / 1{,}174 = 12{,}21$ м^3.

Розрахунок кількості продуктів згоряння палива. Вище було встановлено, що за умови повного згоряння 1 кг елементів палива С, Н, S утворюється відповідно: 11/3 кг CO_2; 9 кг H_2O; 2 кг SO_2.

Наприклад, необхідно визначити масову кількість продуктів згоряння при спалювання 1 кг палива, елементний склад якого: С = 87 %, Н = 12,2 %, О = 0,4 %, S = 0,4 %.

Розрахунок:

– кількість CO_2 $mCO_2 = 11 \cdot C/3 = 11 \cdot 0{,}87/3 = 3{,}19$ кг;

– кількість H_2O $mH_20 = 9H = 9 \cdot 0{,}122 = 1{,}098$ кг;

– кількість SO_2 $mSO_2 = 2 \cdot S = 2 \cdot 0{,}004 = 0{,}008$ кг.

Розрахунок нижчої теплоти згорання палива H_U. Значення нижчої теплоти згоряння згідно з елементарним складом палива у конкретних розрахунках визначаються за формулою Д. І. Менделєєва:

$$H_U = 339{,}1W_C + 1256W_H + 108{,}9W_S – 225{,}9\ W_H – 108{,}9W_O + 225{,}9\ W_{H2O},\ кДж / кг, \quad (13)$$

де значення Wi у формулі дано у відсотках за масою.

Як видно з формули (13), підсумковий тепловий ефект (теплотворність палива) по кожному елементу визначають як добуток суми питомих теплот згоряння або теплопоглинання на процентний вміст відповідного елементу в паливі.

Наприклад, для палива, емпірична формула якого $C_{41,2}\ H_{83,3}\ O_2\ S_1$ і елементний склад:

С = 77 %, Н = 13 %, О = 0,5%, S = 0,5 %, H_20 = 0 %, нижча теплота згоряння становить:

$H_U = 339{,}1 \cdot 77 + 1256 \cdot 13 + 108{,}9 \cdot 0{,}5 – 225{,}9 \cdot 13 – 108{,}9 \cdot 0{,}5 + 225{,}9 \cdot 0 = 39502$, кДж/кг.

Знайдемо за формулою Д. І. Менделєєва значення нижчої теплоти згоряння для суміші 80 % ДТ і 20 % БД, емпірична формула якої $C_{34}H_{60,5}\ O_1$:

$H_U = 339{,}1 \cdot 84{,}2 + 1256 \cdot 12{,}5 + 108{,}9 \cdot 0 – 225{,}9 \cdot 12{,}5 – 108{,}9 \cdot 3{,}3 + 225{,}9 \cdot 0 = 41069{,}1$, кДж /кг.

Порівняльний приклад.

Для дизельного палива (таблиця 1):

$H_U = 339{,}1 \cdot 87 + 1256 \cdot 12{,}6 + 108{,}9 \cdot 0 – 225{,}9 \cdot 12{,}6 – 108{,}9 \cdot 4 + 225{,}9 \cdot 0 = 42045{,}36$, кДж/кг.

Для біодизеля (таблиця 1):

$H_U = 339{,}1 \cdot 76{,}5 + 1256 \cdot 12{,}4 + 108{,}9 \cdot 0 – 225{,}9 \cdot 12{,}4 – 108{,}9 \cdot 11{,}1 + 225{,}9 \cdot 0 = 37505{,}6$, кДж/кг.

Для масової суміші 80 % ДТ і 20 % БД:

$H_U = 42045{,}36 \cdot 0{,}8 + 37505{,}6 \cdot 0{,}2 = 41137{,}3$, кДж /кг.

Для суміші палив за формулою, яку наведено в [3]:

$$H_U = (H_{UДТ} \cdot K_{ДТ} \cdot \rho_{ДТ} + H_{UБД}\ (1 - K_{ДТ}) \cdot \rho_{БД}) / \rho_C. \quad (14)$$

$H_U = (42045{,}36 \cdot 0{,}8 \cdot 825 + 37505{,}6\ (1-0{,}8) \cdot 882) / 836{,}4 = 41087{,}91$, кДж/кг.

Значення нижчої теплоти згоряння, отримані при використанні формули Д.І. Менделєєва згідно з емпіричною формулою і формули (14), відрізняються на 0,046 %.

Отже, при визначенні нижчої теплоти згоряння придатні обидва з розглянутих способів. Проте за відсутності хімічної формули біодизеля, але відомому кількісному і якісному складу жирових кислот, що входять до біодизеля, тепловий розрахунок доцільно вести, отримавши попередньо емпіричну формулу біодизеля.

Розрахунок температури горіння палива. Розрахунок температури в кінці згоряння палива (точка z) для дизеля проводять за формулою:

$$\xi_z \cdot H_{рс} + \left[\left(mc_v'\right)_{t_0}^{t_c} + 8{,}315 \cdot \lambda\right] \cdot (T_c - 273) = \mu \cdot \left(mc_р''\right)_{t_0}^{t_z} \cdot (T_z - 273), \quad (15)$$

де $\left(mc_v'\right)_{t_0}^{t_c} = 20{,}16 + 1{,}74 \cdot 10^{-3} \cdot T_c$, кДж/(кмоль·К) – середня мольна теплоємність заряду (повітря) без урахування впливу залишкових газів;

$\left(mc_р''\right)_{t_0}^{t_z} = (20{,}2 + \frac{0{,}92}{\alpha}) + \left(15{,}5 + \frac{13{,}8}{\alpha}\right) \cdot 10^{-4} \cdot T_z + 8{,}315$, кДж/(кмоль·К) – середня мольна теплоємність продуктів згоряння;

α – коефіцієнт надлишку повітря;

Нрс = (Hu – ΔHu) / $M_1(1+\gamma_г)$, кДж/кмоль роб. сум.;

ΔHu – втрата теплоти в результаті неповного згоряння палива; при коефіцієнті надлишку повітря α ≥ 1 ΔHu= 0;

$M_1=\alpha \cdot L_0$, кмоль зар./кг пал – кількість свіжого заряду (для дизеля);

$\gamma_г$ – коефіцієнт залишкових газів; для дизелів $\gamma_г$ = 0,03…0,006;

$L_0 = \frac{1}{0{,}208} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32}\right)$, кмоль пов./кг пал – теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива;

ξ_z = 0,8…0,95 – коефіцієнт використання теплоти в точці z;

λ – ступінь підвищення тиску при згорянні; орієнтовно значення ступеня підвищення тиску приймають:

для дизелів з нерозділеними камерами згоряння та об'ємним сумішоутворенням λ=1,6…2,5;

для дизелів з нерозділеними камерами згоряння та плівковим сумішоутворенням, передкамерних та вихрекамерних дизелів λ = 1,2…1,8;

T_c , Tz ,К– температура в кінці процесів стиску і згоряння відповідно;

μ = 1.01…1.06 (для дизелів) – дійсний коефіцієнт зміни паливної суміші.

Приклад.

Дано: дизельний двигун, що працює на суміші 80 % ДТ і 20 % БД, нижча теплота згоряння якої H_U = 41069,1, кДж /кг; частки палива: С – 0,842; Н = 0,125; О = 0,033; α = 1,5; ТС = 1000 К; γ г= 0,05; ξ_z = 0,85; λ = 1,6; μ = 1,04.

Розрахунок:

– середня мольна теплоємність заряду (повітря) без урахування впливу залишкових газів:

$\left(mc_v'\right)_{t_0}^{t_c} = 20{,}16 + 1{,}74 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 21{,}9$, кДж/(кмоль·К);

– середня мольна теплоємність продуктів згоряння:

$\left(mc_р''\right)_{t_0}^{t_z} = (20{,}2 + \frac{0{,}92}{1{,}5}) + \left(15{,}5 + \frac{13{,}8}{1{,}5}\right) \cdot 10^{-4} \cdot T_z + 8{,}315 = 29{,}128 + 0{,}00247 \cdot T_z$, кДж/(кмоль·К);

– теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива:

$$L_0 = \frac{1}{0{,}208} \cdot \left(\frac{0{,}842}{12} + \frac{0{,}125}{4} - \frac{0{,}033}{32} \right) = 0{,}483,$$ кмоль пов./кг пал;

– кількість свіжого повітря:

M_1= 1,5·0,483 = 0,724, кмоль зар./кг пал;

– нижча теплота згоряння робочої суміші:

$H_{рс}$ = (41069,1– 0) / 0,724 (1+ 0,05) = 54024,1 кДж/кмоль роб. сум.;

– рівняння згоряння:

0,85·54024,1 + (21,9 + 8,315·1,6) (1000 - 273) = 1,04 ($29{,}128 + 0{,}00247 \cdot T_z$) (T_Z -273).

Звідки:

$71513{,}77 = 0{,}0025688 \cdot T_z^2 + 29{,}59184 \cdot T_z - 8270{,}0218$ або

$0{,}0025688 \cdot T_z^2 + 29{,}59184 \cdot T_z - 79783{,}7918 = 0;$

$T_z = 2254{,}8$, К.

Висновки.

1. Запропоновано метод теплового розрахунку дизеля, що працює на суміші дизельного палива і метилових ефірів ріпакового масла. Суть методу полягає у попередньому визначенні масової кількості хімічних елементів у суміші палив за наявності складу кислот метилових ефірів біопалива та їх емпіричних формул.

2. Для визначення нижчої теплоти згоряння використовується емпірична формула суміші палив і формула Д. І. Менделєєва, що відрізняє запропонований метод від існуючих, при яких нижча теплота згоряння суміші палив визначається через нижчу теплоту згоряння кожного з палив, що змішуються.

Список використаних джерел

1. Васильев И. П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля: монография / И. П. Васильев. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 240 с.

2. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля / В.А. Марков, А. И. Гайворонский, С. Н. Девянин, Е. Г. Пономарев //Автомобильная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 1-3.

3. Режим доступу: apris.org.ua/?page=dynamic &section = 49&article=63.

4. Режим доступу: http://biodiesel.com.ua.

5. Режим доступу: http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/1503/1/1236.pdf.

6. Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki.

7. Режим доступу: http://www.apk-inform.com/ru/ oilprocessing/59029.

8. Семенов В. Г. Анализ показателей работы дизелей на нефтяных и альтернативных топливах растительного происхождения / В. Г. Семенов // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”: збірка наукових праць. –Х.: НТУ „ХПІ”, 2002. – № 3. – С. 177-197.

9. Семенов В. Г. Визначення нижчої теплоти згоряння біодизельного палива за хроматографічними даними / В. Г. Семенов, С. М. Черненко, А. І. Атамась // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського: зб. наук. пр. – Кременчук: КДПУ, 2010. – Вип. 2/2010 (61). Частина 1. – С. 87-91.

10. Семенов В. Г. Показники дизеля під час роботи на біодизельних паливах рослинного та тваринного походження / В. Г. Семенов, І. П. Васильєв, А. І. Атамась // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського: зб. наук. пр. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 2/2009 (55). Частина 1. – С. 78-81.

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.3

М.Г. Болотов, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПАРАМЕТРИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ НАГРІВУ ПРИ ДИФУЗІЙНОМУ ЗВАРЮВАННІ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ

Шляхом застосування статистичних методів математичного планування експерименту проведено дослідження по визначенню основних параметрів керування процесом нагріву при дифузійному зварюванні із застосуванням плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді.

Ключові слова: *дифузійне зварювання, тліючий розряд, параметри керування, плазма.*

Путем применения статистических методов математического планирования эксперимента проведены исследования по определению основных параметров управления процессом нагрева при диффузионной сварке с применением плазмы тлеющего разряда, горящего в полом катоде.

Ключевые слова: *диффузионная сварка, тлеющий разряд, параметры управления, плазма.*

Through the application of statistical methods of mathematical planning of the experiment conducted a study to identify the main parameters of the process control heating by diffusion welding with the use of plasma of a glow discharge, burning through the hollow cathode.

Key words: *diffusion welding, glow discharge, parametrs of control, plasma.*

Вступ. Дифузійне зварювання – спосіб з'єднання деталей із різнорідних матеріалів без розплавлення за рахунок термомеханічного впливу на них протягом деякого проміжку часу.

Технологічні можливості дифузійного зварювання дозволяють широко використовувати цей процес у приладобудуванні та електронній промисловості під час створення металокерамічних вузлів, вакуум-щільних з'єднань із різнорідних матеріалів, напівпровідникових приладів. Також дифузійне зварювання знаходить застосування для виготовлення великогабаритних деталей складної форми, отримання яких способами механічної обробки (тиском, литтям) неможливо або неекономічно.

У зв'язку з різноманітністю форм виробів та сполучень матеріалів, що з'єднуються дифузійним зварюванням, на практиці набули широке застосування різні способи нагріву (радіаційний, індукційний, струмом, що проходить у полі нормального тліючого розряду), які відрізняються один від одного способом введення теплової енергії в зону з'єднання.

Дослідження, проведені в роботах [1; 2; 3; 4] показали високу ефективність застосування як джерела нагріву при дифузійному зварювання тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, який забезпечує високі енергетичні показники процесу та підвищує технологічність дифузійного зварювання в цілому.

Якість з'єднання при дифузійному зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом, крім основних технологічних параметрів (температура, тиск, час витримки), визначається комплексом додаткових параметрів, таких як тиск газового середовища (P), напруга на електродах (U), діаметр катодної порожнини (D_k) тощо.

Залежно від форми, розмірів і матеріалу виробу ці параметри можуть змінюватися у широкому діапазоні значень, що значною мірою ускладнює керування процесом нагріву.

Постановка проблеми. Традиційні методи досліджень пов'язані з експериментами, що вимагають великих витрат, сил і засобів, оскільки є "пасивними" – ґрунтованими на почерговому варіюванні окремих незалежних змінних в умовах, коли інші прагнуть зберегти їх незмінними.

Експерименти при зварюванні в твердій фазі, як правило, багатофакторні і пов'язані з оптимізацією умов проведення технологічних процесів. Тому у зв'язку з відсутністю реальної можливості повною мірою вивчити значну кількість об'єктів такого дослідження, з'являється необхідність у застосуванні статистичних методів планування експерименту.

Температура зони зварювання залежить від багатьох чинників, що значно ускладнює процес нагріву тліючим розрядом з порожнистим катодом, внаслідок чого рішення

цієї задачі вимагає вибору з усієї сукупності параметрів режиму найбільш оптимальних, тобто параметрів, найбільш тісно пов'язаних з температурою. Визначення цих параметрів традиційними способами у цьому випадку ускладнено, тому їх вибір здійснювали за допомогою оцінки коефіцієнтів при відповідних чинниках статичних моделей, побудованих за допомогою методів математичного планування експерименту [5].

Методи та результати. У модель заносилася сукупність параметрів з урахуванням можливості визначення їх кількісної оцінки.

Як параметр оптимізації призначили температуру в зоні нагріву. Варійованими факторами приймали: величину тиску в розрядній камері $P(x_1)$, напругу на електродах $U(x_2)$, величину активного опору в колі розряду $R(x_3)$ і діаметр катодної порожнини D_k (x_4).

Відомості про їх вплив на процес нагріву тліючим розрядом у порожнистому катоді отримували експериментально шляхом виміру температури зони нагріву в процесі її теплонасичення через кожних 60 секунд з моменту запалення розряду і по досягненню граничного теплового стану.

Інтервали варіювання факторів та їх числові значення на верхньому і нижньому рівнях наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів

Рівні та інтервали	Фактори			
	x_1, *Па*	x_2, *В*	x_3, *кОм*	x_4, *мм*
Основний рівень	30	1100	15	50
Інтервали варіювання Δx	10	300	10	10
Верхній рівень ($x_1 = +1$)	40	1400	25	60
Нижній рівень ($x_1 = -1$)	20	800	5	40
Функція відгуку – температура нагріву деталей				

Застосовували повний факторний експеримент, матриця якого має вигляд 2^4 (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця планування експериментів

Номер досліду	Рівні факторів				Параметр оптимізації у, К
	x_1	x_2	x_3	x_4	
1	–	–	–	+	y_1
2	+	–	–	–	y_2
3	–	+	–	–	y_3
4	+	+	+	+	y_4
5	–	–	–	–	y_5
6	+	–	+	–	y_6
7	–	+	+	–	y_7
8	–	+	–	+	y_8
9	+	+	–	–	y_9
10	–	–	+	+	y_{10}
11	–	–	+	–	y_{11}
12	+	+	+	–	y_{12}
13	+	–	–	+	y_{13}
14	+	+	–	+	y_{14}
15	+	–	+	+	y_{15}
16	–	+	+	+	y_{16}

Модель, яка відповідає цій таблиці, матиме вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4. \quad (1)$$

Коефіцієнти при відповідних факторах рівняння розраховувалися за формулою, рекомендованою в роботі [6].

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_{ji} y_i}{N}, \; j = 0,1,.....k; \qquad (2)$$

де $\sum_{i=1}^{N} x_{ji}$ – алгебраїчна сума елементів вектор – стовпця кожного фактора;

i – номер досліду; j – номер фактора; N – число дослідів.

Коефіцієнт b_0 знаходили як середнє арифметичне значення параметра оптимізації, $b_0 = 258,125$; $b_1 = 26,9$; $b_2 = 79,4$; $b_3 = -73,125$; $b_4 = -23,125$.

Оскільки коефіцієнти при незалежних змінних вказують на силу впливу фактора, тобто чим більше чисельна величина коефіцієнта, тим сильніше фактор впливатиме на параметр оптимізації, то можна зробити висновок, що найбільш впливовим параметром є напруга на електродах. Зі збільшенням значення цього фактора параметр оптимізації (температура в зоні зварювання) збільшується.

Найбільш негативно на процес нагріву тліючим розрядом у порожнистому катоді впливає активний опір у колі розряду, оскільки зі збільшенням цього параметра температура зменшується, про що свідчить від'ємне значення цього коефіцієнта.

Наочно вплив кожного з факторів, що варіюються, на параметр оптимізації демонструють графіки, що наведені на рисунку 1.

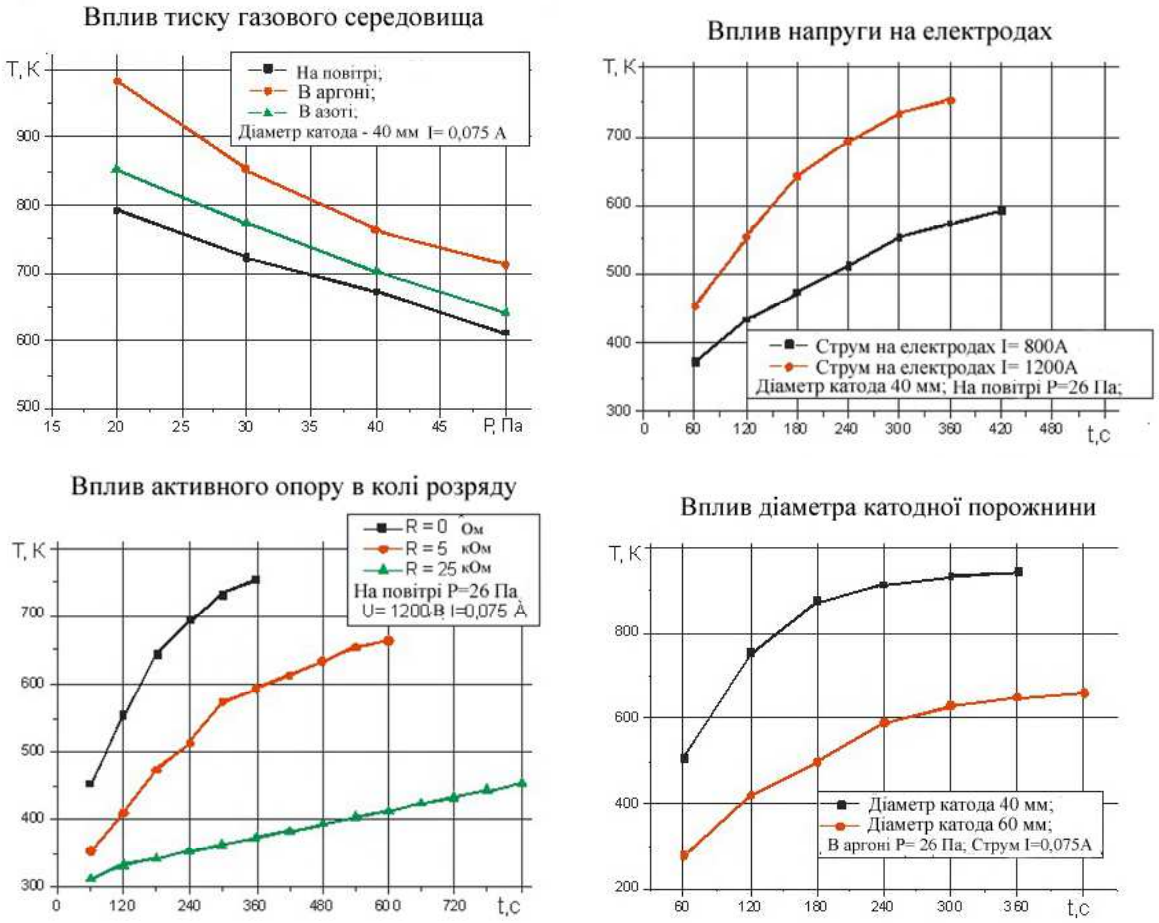


Рис. 1. Характер впливу факторів, що варіюються (тиск газового середовища, напруга на електродах, діаметр катодної порожнини, активний опір у колі розряду) на функцію відгуку (температуру в зоні нагріву)

Таким чином, з урахуванням розрахунків, виконаних за формулою (2), регресійна модель набуває вигляду:

$$y = 258 + 27x_1 + 79x_2 - 73x_3 - 23x_4. \quad (3)$$

Розрахунок параметрів оптимізації *y′* в цьому рівнянні показав значну погрішність відносно експериментальних даних (таблиця 3). Це означає, що аналізований процес є складною системою, яку не можна описати лінійною моделлю. Тому для чистоти розрахунків необхідно враховувати не лише лінійні члени b_1x_1, але й парні взаємодії факторів.

З урахуванням парних взаємодій чинників модель набирає такого вигляду:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_{12} + b_{13}x_{13} + \\ + b_{14}x_{14} + b_{23}x_{32} + b_{24}x_{24} + b_{34}x_{34} \quad (4)$$

Розрахунок парних коефіцієнтів моделі робили згідно з (2), $b_{12} = 5{,}625$; $b_{13} = -11{,}875$; $b_{14} = -6{,}875$; $b_{23} = -39{,}375$; $b_{24} = -1{,}875$; $b_{34} = 0{,}688$.

Розрахункові значення параметра оптимізації з урахуванням парних взаємодій факторів *y″* наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати експериментів

Номер досліду	Рівні факторів				Експериментальне значення параметра оптимізації y, К	Розрахункове значення параметра оптимізації y′, К	Значення параметра оптимізації з урахуванням парних взаємодій факторів y″, К
	x_1, Па	x_2, В	x_3, кОм	x_4, мм			
1	20	800	4	60	443	476	437
2	40	800	4	40	543	576	546
3	20	1400	4	40	683	680	697
4	40	1400	20	60	483	490	487
5	20	800	4	40	473	522	467
6	40	800	20	40	453	428	454
7	20	1400	20	40	503	532	495
8	20	1400	4	60	663	634	660
9	40	1400	4	40	813	734	799
10	20	800	20	60	383	328	394
11	20	800	20	40	423	374	422
12	40	1400	20	40	543	586	594
13	40	800	4	60	483	530	489
14	40	1400	4	60	733	688	734
15	40	800	20	60	413	328	399
16	20	1400	20	60	463	486	454

Для перевірки гіпотези про адекватність моделі використали критерій Фишера, який ґрунтується на порівнянні двох дисперсій – залишкової і дисперсії неадекватності [5].

Обчислення залишкової дисперсії, що характеризує розкид виміряних y_u відносно середньої арифметичної $y_u^{=}$, робили за формулою:

$$S_0^{\,2} = \frac{\sum_{u=1}^{N} \left| y_u - y_u^{=} \right|^2}{N-1}; \quad (5)$$

де N-1 – число ступенів вільності дисперсії S_0^2, N-1= 16 – 1 = 15; y_u = визначається як:

$$y_u^{=} = \frac{1}{N}\left(y_1 + y_2 + y_3 + \ldots\ldots + y_{16}\right). \quad (6)$$

Потім розраховували дисперсію неадекватності, що характеризує діапазон зміни експериментальних значень y_u відносно $\hat{y}_u$:

$$S_1^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N} \left| y_u - \hat{y}_u \right|^2}{N - d}, \quad (7)$$

де $\hat{y}_u$ – розрахункові значення параметра оптимізації;

d – кількість факторів.

Адекватність моделі визначали як:

$$F_0 = \frac{S_0^2}{S_1^2}. \quad (8)$$

Порівняння розрахункового значення критерію Фішера з табличним [7] показав, що гіпотеза про адекватність моделі не відкидається.

Незалежну оцінку значущості кожного коефіцієнта проводили шляхом побудови довірчого інтервалу. У нашому випадку довірчі інтервали для усіх коефіцієнтів дорівнюватимуть один одному.

Передусім знаходимо дисперсію коефіцієнта регресії:

$$S^2_{(bj)} = \frac{S^2_{(y)}}{N}. \quad (9)$$

З формули видно, що дисперсії усіх коефіцієнтів дорівнюють один одному, оскільки вони залежать тільки від помилки досліду і числа дослідів.

Довірчий інтервал знаходимо за формулою:

$$\Delta b_j = \pm t S_{(bj)}, \quad (10)$$

де t – табличне значення критерію Стьюдента [8];

$S_{(bj)}$ – квадратична помилка коефіцієнта регресії що визначається як:

$$S_{(bj)} = +\sqrt{S^2_{(bj)}}. \quad (11)$$

Підставляючи отримані значення у формулу (9), визначили, що абсолютна величина усіх коефіцієнтів більше величини довірчого інтервалу, тобто усі коефіцієнти значимі.

Висновки

1. За допомогою статистичних методів математичного планування експериментів встановлено, що серед досліджуваних параметрів на процес нагріву в тліючому розряді з порожнистим катодом найбільший вплив здійснюють напруга на електродах і опір у колі розряду.

2. Встановлено, що зі збільшенням активного опору в розрядному колі температура нагріву значно знижується. Як було показано в [2], введення активного опору в коло розряду не є обов'язковим, оскільки він має достатню стійкість і при жорсткій характеристиці джерела. Тому доцільним є управління розрядом зміною напруги холостого ходу джерела. Це значно спрощує управління процесом нагріву при дифузійному зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом і усуває появу втрат на зовнішньому опорі.

Список використаних джерел

1. Болотов Г. П. Дослідження стійкості тліючого розряду з порожнистим катодом в умовах зварювання / Г. П. Болотов, М. Г. Болотов // Вісник ЧДТУ. – 2008. – № 36. – С. 100.

2. Болотов Г. П. Порівняльна оцінка ефективності джерел енергії для дифузійного зварювання у вакуумі / Г. П. Болотов, М. Г. Болотов // Вісник ЧДТУ. – 2010. – № 42. – С. 144-147.

3. Болотов Г. П. Розрахункове визначення температури нагріву деталей при дифузійному зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом / Г. П. Болотов, М. Г. Болотов // Вісник ЧДТУ. – 2009. – № 40. – С. 23-29.

4. Болотов М. Г. Ефективність нагріву при зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом / М. Г. Болотов, Т. Р. Ганєєв // Вісник ЧДТУ. – 2012. – № 55. – С. 126-131.

5. Новик Ф. С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении / І. С. Новик. – М.: МИСИС, 1972. – 105 с.

6. Растригин Л. А. Статистические методы поиска / Л. А. Растригин. – М.: Наука, 1968.

7. Яноши Л. Теория и практика обработки результатов измерений / Л. Яноши. – М.: Мир, 1968.

8. Айвазян С. А. Статистическое исследование зависимостей / С. А. Айвазян. – М.: Металлургия, 1966.

УДК 621.791.75

М.В. Миронова, канд. техн. наук
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

О ВРАЩЕНИИ КАПЛИ НА ТОРЦЕ ЭЛЕКТРОДА ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Моделированием с использованием зондового метода уточнен механизм и причины, обусловливающие вращение капли электродного металла. Установлено, что скорость вращения капли возрастает при увеличении тока через каплю и индукции продольного магнитного поля.

Ключевые слова: *дуговая наплавка, продольное магнитное поле, скорость вращения капли.*

Моделюванням з використанням зондового методу уточнено механізм і причини, що зумовлюють обертання краплі електродного металу. Встановлено, що швидкість обертання краплі зростає при збільшенні струму через краплю і індукції подовжнього магнітного поля.

Ключові слова*: дугове наплавлення, подовжнє магнітне поле, швидкість обертання краплі.*

The mechanism and the reasons, determining rotation electrode metal drops, are refined by modeling with using probe method. The increase of drop rotation velocity with increasing current through the drop and induction of longitudinal magnetic field is stated.

Key words: *arc surfacing, longitudinal magnetic field, drop rotation velocity.*

Постановка проблемы. Производительность дуговой наплавки определяется производительностью расплавления электродной проволоки. Для получения этого эффекта перспективным является применение внешних (управляющих) магнитных полей, воздействующих на каплю, дугу и жидкий металл сварочной ванны. Магнитное управление имеет преимущества по сравнению с механическими способами управления, поскольку оно осуществляется без непосредственного контакта управляющих устройств с зоной сварки (наплавки) и его применение не требует существенных изменений стандартного оборудования и техники сварки (наплавки). При воздействии продольного магнитного поля (ПРМП) повышается эффективность процесса дуговой наплавки под флюсом: значительно повышается коэффициент расплавления электродной проволоки (α_p), уменьшаются глубина и площадь проплавления металла и доля участия основного металла в наплавленном.

Анализ последних достижений и публикаций. Повышение α_p проволоки при сварке и наплавке в ПРМП в работах [1] объясняют улучшением условий теплопередачи через каплю за счет уменьшения толщины капли в направлении оси электрода при ее вращении под действием электромагнитных сил от взаимодействия радиальной составляющей плотности тока в капле с осевой составляющей индукции ПРМП. Однако в работе [2] было высказано предположение, подкрепленное детальным изучением строения магнитного поля в зоне капли на торце электрода из ферромагнитного материала, что капля вращается в противоположную сторону, относительно направления вращения, которое капля должна иметь по соображениям, высказанным в работе [1]. Не изве-

стна также скорость вращения металла в капле при воздействии ПРМП. Такие данные позволят уточнить физические процессы, лежащие в основе наблюдаемых явлений, и управлять этими процессами.

Цель статьи. Целью работы является экспериментальное определение направления и скорости вращения капли на торце электрода при воздействии постоянного ПРМП для повышения эффективности процесса дуговой наплавки под флюсом.

Изложение основного материала. Для определения направления и скорости вращения капли при наплавке с воздействием постоянного ПРМП использовали метод зондов. Зондом, датчиком скоростного напора капли, являлась парамагнитная (немагнитная) проволочка диаметром 1,0 *мм* (рис. 1). Этот зонд (4) крепили к упругой струне (5) диаметром 0,25 *мм*, либо 0,4 *мм*. Струна с натягом крепилась к опорам (6). Силу, действующую на зонд, определяли по закручиванию струны. К струне крепили легкое зеркальце (8). При воздействии напора жидкого металла капли на зонд (4) струна закручивалась и луч, направленный от лазерной указки (7), отражаясь от зеркальца (8), попадал на экран (9). Расстояние между зеркальцем (8) и экраном (9) для усиления чувствительности системы составляло примерно 2,5 *м*.

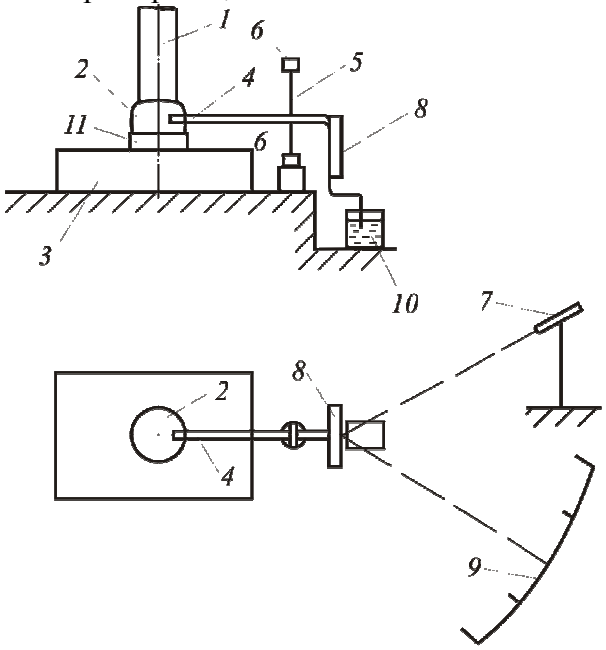


Рис. 1. Схема устройства для измерения скорости вращения капли на торце электрода: 1– электрод; 2 – капля; 3 – изделие; 4 – зонд; 5 – струна; 6 – опоры; 7 – лазерная указка; 8 – зеркало; 9 – экран; 10 – демпфирующее устройство; 11 – латунный штырь

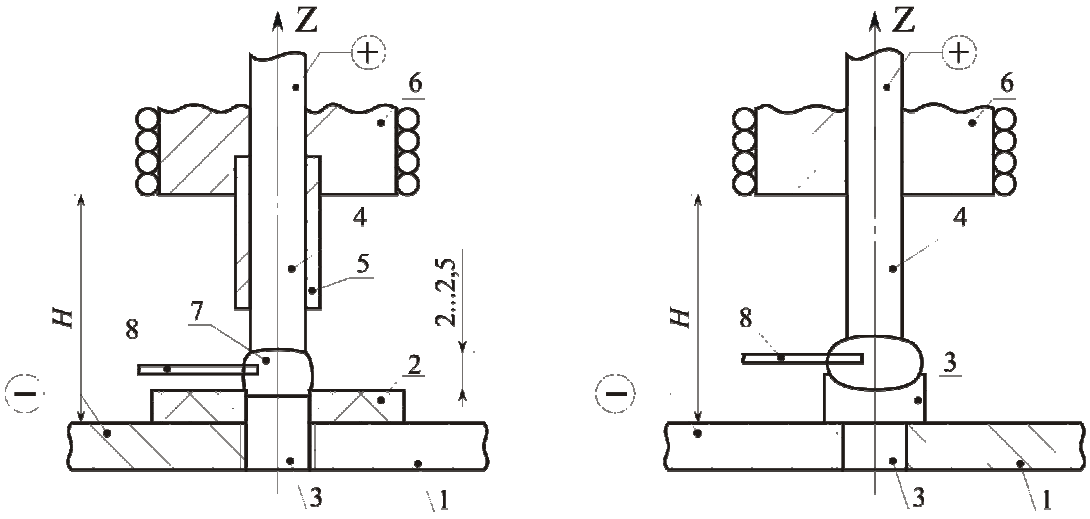
Тарировку системы (определение соотношения между усилием на зонд и отклонением луча на экране) осуществляли по методике, приведенной в работе [3]. Как при тарировке, так и в дальнейшем при обработке экспериментальных данных использовали известное соотношение:

$$F = C_x \cdot S_3 \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

где F – сила, действующая на зонд, *Н*; S_3 – площадь лобового сопротивления зонда, $м^2$; ρ – плотность аргона, $кг/м^3$; v – скорость потока аргона, *м/с*. Коэффициент лобового сопротивления зонда C_x составлял $C_x = 1,0$ [4].

Направление скорость вращения капли под действием постоянного ПРМП определяли путем моделирования. Каплю моделировали припоем марки ПОС – 40, имевшем температуру плавления 220 ˚*С*. Измерения осуществляли на модели по схеме, изображенной

на рисунке 2. К массивной пластине из стали 09Г2С толщиной 20 *мм* (1) крепили пластину из асбоцемента толщиной 4 *мм* (2), в которой проходил круглый штырь (3) из латуни диаметром 5 *мм*. Пруток из припоя (4) диаметром 4 *мм* укрепляли в мундштуке сварочного автомата АДС-1002 (не показан). К мундштуку автомата крепили соленоид с ферросердечником (6), который генерировал ПРМП. Расстояние от нижнего среза соленоида до пластины (1) составляло H = 40 *мм*. Поскольку на участке вылета H пруток припоя – немагнитный материал, то этот пруток помещали в трубку из ферромагнитного материала (5) (рис. 2, *а*). Такая трубка, как показано в работе [5], создает в зоне модельной капли значительную радиальную компоненту индукции (до 50 % относительно продольной составляющей). Всю конструкцию устанавливали на электропечь (не показано) и осуществляли нагрев до температуры плавления припоя. Каплю «выращивали», подавая вниз пруток (4) до оплавления торца прутка и образования капли (7) высотой 2…2,5 *мм*. Затем в каплю вставляли зонд (8) из медной (залуженной) проволоки диаметром 0,5 мм на контролируемую глубину (порядка 1,5 *мм*), после чего включали постоянный ток через систему: пруток (4) – капля (7) – штырь (3), а также постоянный ток в обмотке соленоида для создания ПРМП в зоне капли. Для создания радиальной составляющей тока в жидком металле на торце электрода моделирование проводили по схеме (рис. 2, *б*). Выращивали каплю, диаметр которой, а также диаметр зоны контакта (3) были больше, чем диаметр электрода. Уровень индукции ПРМП B_z и B_r контролировали тесламетром типа ЭМ-435 с датчиком Холла, имевшем измерительную базу 1х1 мм.

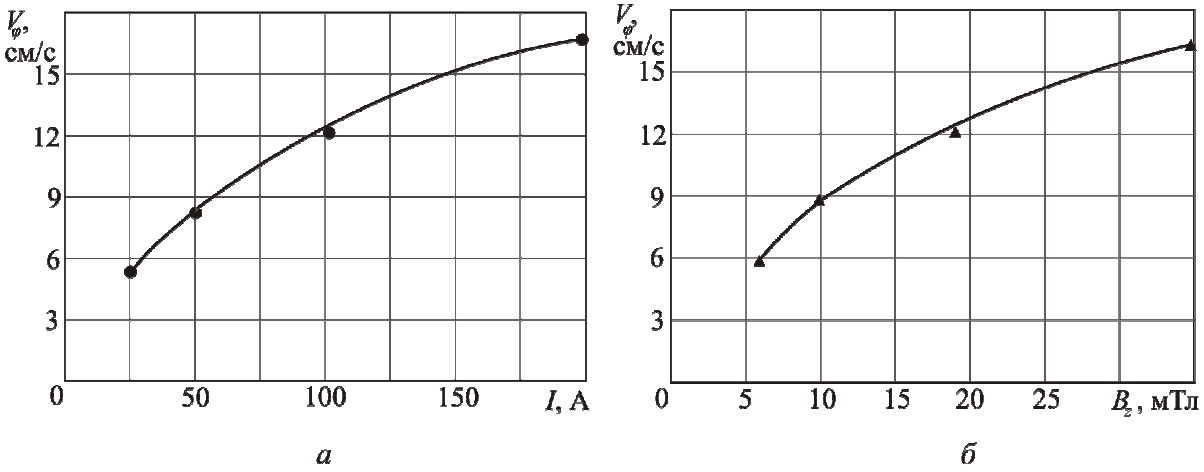


а *б*

Рис. 2. Схемы для измерений скорости вращения модельной капли: 1 – изделия – пластина; 2 – асбоцемент; 3 – штырь (латунь); 4 – пруток припоя; 5 – трубка; 6 – соленоид; 7 – капля; 8 – зонд

Установлено, если электрод изготовлен из ферромагнитного материала (в модели – пруток припоя с ферромагнитной трубкой), то направление вращения капли соответствует данным работы [3], т. е. капля вращается под действием силы, образованной взаимодействием радиальной компоненты индукции B_r с осевой компонентой плотности тока в капле j_z. Капля (немагнитная) на торце электрода из ферромагнитного материала вращается в ту же сторону, что и сварочная дуга. Капля вращается в этом направлении, если ее размер в осевом направлении меньше, чем диаметр электрода. При увеличении индукции B_z ПРМП и не изменяющемся токе через каплю скорость вращения металла в ней возрастает (рис. 3, *а*). При увеличении тока через каплю, но неизменной величине индукции B_z, скорость вращения металла также возрастает (рис. 3, *б*). Это должно привести к разрушению капли под действием ее вращения и уменьшению толщины про-

слойки жидкого металла на торце электрода, измельчению капли при дуговой наплавке в ПРМП и увеличение коэффициента расплавления проволоки $\alpha_р$ при использовании электродов из ферромагнитных материалов.



а *б*

Рис. 3. Зависимость скорости вращения металла капли от тока (а) и индукции постоянного ПРМП (б): а – B_z = 18 мТл; б – $I_{св}$ = 100 А

Моделированием, выполненным на прутке припоя без трубки из ферромагнитного материала, установлено, что если площадь токопровода к нижней части капли больше, чем сечение немагнитного электрода (рис. 2, *б*), то капля вращается в другую сторону. Это вращение капли обусловлено взаимодействием радиальной составляющей плотности тока в капле с осевой составляющей индукции B_z ПРМП, как это и предполагали в работе [1]. Однако такой механизм влияния ПРМП на вращение капли не может быть реализован, поскольку при этом на торце электрода образуются весьма мелкие капли, и реализуется механизм, указанный в работе [2], и подтвержденный в данной работе.

Выводы. Предложенный метод физического моделирования, основанный на измерении гидродинамического напора жидкости на вводимый в каплю зонд позволяет определить направление и скорость ее вращения при наплавке в ПРМП.

Установлено, что вращение капли при дуговой наплавке с воздействием постоянного ПРМП обусловлено электромагнитной силой от взаимодействия осевой составляющей тока в капле с радиальной составляющей индукции ПРМП на торце ферромагнитного электрода. Скорость вращения капли возрастает при увеличении тока через каплю и индукции ПРМП.

Список использованных источников

1. Болдырев А. М. Особенности плавления электродного металла при сварке во внешнем магнитном поле / А. М. Болдырев, В. А. Биржев, А. В. Черных // Сварочное производство. – 1991. – № 5. – С. 28-30.

2. Размышляев А. Д. Влияние продольного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом / А. Д. Размышляев, А. А. Дели, М. В. Миронова // Автоматическая сварка. – 2007. – № 6. – С. 31-35.

3. Ленивкин В. А. Определение скоростного напора плазмы сварочной дуги / В. А. Ленивкин, П. И. Петров, Н. Г. Дюргеров // Сварочное производство. – 1984. – № 7. – С. 3-4.

4. Рабинович Е. З. Гидравлика / Е. З. Рабинович. – М.: Физматгиз, 1961. – 330 с.

5. Гвоздецкий В. С. Исследование вращающейся в магнитном поле сварочной дуги постоянного тока (плоская и конусная дуга) / В. С. Гвоздецкий, В. С. Мечев // Автоматическая сварка. – 1963. – № 12. – С. 1-6.

УДК 621.791.754'264:001.891.57

О.И. Петриенко, канд. техн. наук
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Разработанные номограммы предназначены для выбора сварочного тока при механизированной дуговой сварке сталей в защитных газах длинной дугой. Они позволяют выбрать оптимальное значение тока при заданном диаметре электродной проволоки, обеспечивающим в рекомендуемых диапазонах значения температур предварительного подогрева проволоки и капли, и в результате определять с большой точностью значения скорости подачи и длины вылета, при которых обеспечиваются эти температуры.

Ключевые слова: *номограммы, механизированная сварка, защитные газы, режимы сварки, методика расчета.*

Розроблені номограми призначені для вибору зварювального струму при механізованому дуговому зварюванні сталей у захисних газах довгою дугою. Вони дозволяють вибрати оптимальне значення струму при заданому діаметрі електродного дроту, що забезпечує в рекомендованих діапазонах значення температур попереднього підігріву дроту і краплі, і в результаті визначати з великою точністю значення швидкості подачі і довжини вильоту, при яких забезпечуються ці температури.

Ключові слова: *номограми, механізована зварювання, захисні гази, режими зварювання, методика розрахунку.*

The nomograms are used to select the welding current for MIG/MAG welding of steels with a long arc. They allow to choose the optimal value of the current for a given diameter of the electrode wire, providing the recommended temperature range of pre-heating the wire and drop, and as a result to determine with precision values feed rate and the the electrode extension length, which will ensure these temperatures.

Key words: *nomograms, MIG/MAG welding, welding modes, calculation methods.*

Введение. Режимы механизированной дуговой сварки сталей в среде защитных газов регламентированы во многих литературных источниках. Одним из широко используемых методов их определения является графический метод в виде номограмм, особенно когда применение других вычислительных средств затруднено [1].

Анализ исследований и публикаций. Существуют номограммы, позволяющие выбрать режимы сварки, не производя полного расчета параметров процесса [1]. Недостатком такого типа номограмм является то, что они предназначены для конкретного режима сварки (например, при заданных значениях диметра d и длины вылета электрода $l_в$), а для других значений d и $l_в$ номограмму нужно рассчитывать повторно. Такие номограммы не являются универсальными при выборе режимов сварки, и поэтому они не находят широкого применения.

Существуют более универсальные номограммы [2], позволяющие выбрать помимо d и $l_в$, такие параметры, как ток сварки I и плотность тока j. В основе создания такой номограммы лежит разработанная ранее физико-математическая модель расчета в виде системы дифференциальных уравнений тепловых процессов на вылете электрода при дуговой сварке сталей в защитных газах без коротких замыканий [2-4]. Модель позволяет решать уравнения теплового баланса для вылета электрода в общем виде, когда все теплофизические коэффициенты являются нелинейными функциями от температуры. Она позволяет также рассчитать текущее значение температуры T по всей длине вылета электрода $l_в$ от мундштука до капли на торце электрода, определить длину зоны вылета электрода l_1 (примыкающую к мундштуку и нагреваемую электрическим током) и длину Δl (примыкающую к капле, на которой происходит нагрев под действием электрического тока и тепла, поступающего за счет теплопроводности от капли). Тепловые процессы на этих участках вылета электрода описываются разными уравнениями [4]. Точка сопряжения решений находится на расстоянии Δl от границы электрода с каплей, и характеризуется температурой «стыка» T_1 двух участков (температурой предварительного подогрева электрода) и соответствующей этой температуре длиной части вылета электрода, равной l_1. При расчетах для выбранного диаметра проволоки и используемого защитного газа необходимо задаваться то-

ком I, температурами T_1, $T_{кап}$ и в результате определять температуру проволоки на выходе из мундштука T_0, и необходимые значения скорости подачи v_n, длины вылета электрода $l_в$ и другие параметры, при которых обеспечиваются эти температуры и выбранная величина сварочного тока. Такой подход выгодно отличается от общепринятого, при котором задаются значениями d, I, $l_в$ и v_n, и затем определяют температуры T_1 и $T_{кап}$.

Однако недостатком такого подхода к решению задачи является то, что в результате расчетов температуры T_1 и $T_{кап}$ могут выйти за допустимые значения, что может привести к неудовлетворительному качеству сварки или к срыву сварочного процесса, а также к возникновению автоколебаний. Поэтому рекомендуется принимать температуру $T_1 = const$ в области допустимых значений 670 К ≤ T_1 ≤ 1040 К для устранения возможности возникновений автоколебаний в системе источник питания – дуга [2, 5] и $T_{кап} = const$, исходя из требований технологии данного сварочного процесса. Если при расчетах задаваться температурой T_1 точки «стыка», то это и будет тем необходимым дополнительным условием, которое позволяет решить задачу теплового баланса. При этом начальная температура проволоки T_0 не должна превышать выбранное значение T_1, иначе реализовать процесс сварки будет невозможно. Обычно T_1 выбирается ниже температуры точки Кюри.

Изложение основного материала. Для того, чтобы определить, в каких именно областях на номограммах из работы [2] можно выбирать нужные значения тока сварки и плотности тока для соблюдения условия, при котором $T_0 < T_1$, необходимо рассчитать значение T_0 при заданных $T_{кап}$ и d.

В работе [6] показано, что значение температуры T_0 можно рассчитать по формуле:

$$T_0 = root\left[\frac{v_n\gamma}{j}\int_{T_{o.cp}}^{\theta} Cp(T)dT - 0{,}51\cdot U_{кон}, \theta\right], \qquad (1)$$

где *root* – функция математического пакета MathCAD [7], позволяющая определить корень уравнения v, при некотором ее стартовом значении; γ – плотность металла (стали), кг/м^3; j – плотность тока, А/м^2; $T_{o.cp}$ – температура окружающей среды, K; C_p – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг·К); $U_{кон}$ – контактное падение напряжения в мундштуке, определяемое по аппроксимационной формуле работы [8]:

$$U_{кон} = \left[2{,}55\cdot\left(\frac{Id_{баз}}{I_{баз}d}\right)^{0{,}2} - 1{,}78\right]\left(\frac{v_n}{v_{баз}}\right)^{0{,}2}, \qquad (2)$$

где $I_{баз}$, $d_{баз}$, $v_{баз}$ – базовые значения сварочного тока, диаметра электрода и скорости подачи соответственно, которые подбирались как опорные значения

$I_{баз}$=180 А, $d_{баз}$=1 мм, $v_{баз}$=0,035 м/с.

В свою очередь скорость подачи сварочной проволоки определяется по формуле из работы [2]:

$$v_n = root\left[\begin{array}{l}\left(\frac{v_n\gamma}{j}\right)\left(\int_{T_1}^{T_{кап}} C_p(T)dT + \lambda_{A_2} + \lambda_{A_3} + \lambda_{A_4} + \lambda_{A_5}\right) + \\ + \left[-U_{экв} - j\rho\left(\frac{T_{пл}+T_1}{2}\right)\Delta l - U_{кап}\right], v\end{array}\right], \qquad (3)$$

где $U_{кап}$ – температура капли на торце электрода ([2], формула (6)), В; λ_{A_2} - λ_{A_5} – удельные теплоты превращения железа в точках A_2-A_5 фазовых переходов на диаграмме состояния железо – углерод, Дж/кг; $U_{экв}$ – эквивалентное напряжение при расплавлении дугой [2; 9], В; ρ – удельное электрическое сопротивление металла при $T = T_{кап}$, Ом·м;

Δl – сплайн-аппроксимация результатов вычислений интервала (как функции величин ν_n и j), приведенных в работе [4], а также аппроксимации зависимостей величин $C_p(T)$ и $\rho(T)$ для сталей, приведенные в работах [10; 11].

При выборе значений тока сварки или плотности тока необходимо учитывать, что существуют ограничения по выбору допустимого тока сварки [3]: при токах меньших 30-40 А для омедненной и неомедненной проволок наблюдается случайно повторяющееся снижение контактного падения напряжения $U_{кон}$ до 0,01 … 0,04 В; при больших токах (при значениях плотностей тока в проволоке, превышающих 400 А/мм^2) характер контакта становится искровым, что приводит к резкому увеличению величины $U_{кон}$. Эти режимы желательно не допускать, так как они сопровождаются повышенным износом мундштука и возникновением тепловых волн, движущихся вместе с вылетом и приводящих к разрушению устойчивости сварочного процесса.

Построение номограмм и работа с ними. За основу были взяты приведенные в работе [2] номограммы, которые были построены по результатам проведенных расчетов, а также с учетом обобщенных существующих рекомендаций работ А.Г. Потапьевского, И.И. Зарубы, В.Я. Лаврищева, Б.К. Панибратцева, В.Г. Свецинского, В.И. Галинича и других ученых.

При составлении номограмм задаваемыми параметрами являются температуры $T_{о.ср}$, T_1 и $T_{кап}$, d, защитный газ и марка сварочной проволоки (так как ее химический состав учитывается при расчетах параметров сварки). Плотность тока задавалась в рамках обычно используемых значений (j = $5\cdot10^7$…$6\cdot10^8$ А/м^2). Затем по методике расчета, описанной в работах [2-4; 6; 8; 10; 11] с учетом формул (1)–(3) рассчитывались значения ν_n, T_0 и отношение T_0/T_1, при котором значение $T_0 < T_1$ при заданных T_1 и $T_{кап}$.

Для обеспечения сварочного процесса необходимо, чтобы отношение расчетного T_0 к задаваемому T_1 лежало в пределах 0,6…0,7. Если $T_0/T_1 < 0{,}6$, то падает производительность сварочного процесса, а если отношение $T_0/T_1 > 0{,}7$, то возможна ситуация, когда при возникновении случайных колебаний T_0 получится больше, чем заданное значение T_1 и процесс сварки при заданном T_1 будет невозможен.

На рисунке 1 представлена расчетная зависимость отношения температур T_0/T_1 от плотности тока при разных диаметрах электрода. При значениях T_0/T_1 = 0,6, 0,65, 0,7 на рисунке 1 проводим горизонтальные прямые (пунктир) и определяем значения плотности тока для каждой точки пересечения пунктирных прямых с кривой соответствующего диаметра электрода. Затем с помощью номограмм из работы [2] определяем соответствующие этим точкам значения сварочного тока.

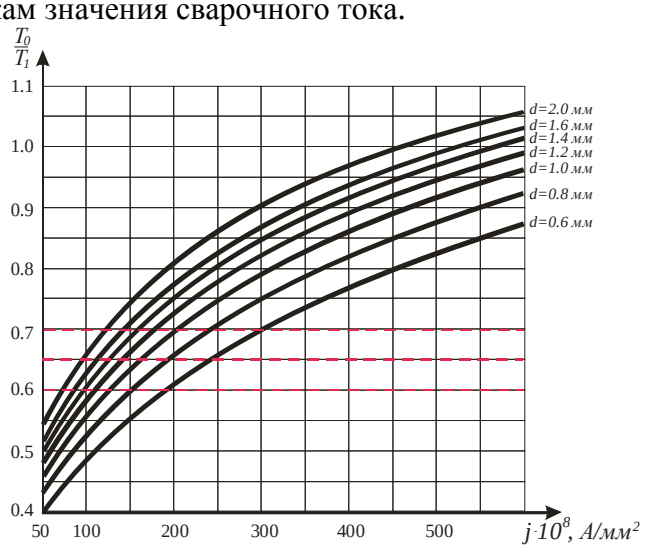


Рис. 1. Зависимость отношения температур T_0/T_1 от плотности тока и от разных диаметров электрода при заданных значениях T_1 = 700 К, $T_{кап}$ = 2700 К, проволока марки Св08Г2С при сварке в CO_2

Полученные данные позволяют нанести на номограммы работы [2] границы оптимальных режимов сварки. На рисунке 2 показаны номограммы, которые с учетом этих полученных оптимальных границ являются более универсальными, чем существующие номограммы. Помимо нанесенных на них областей I-VIII режимов сварки в зависимости от способа переноса металла и их границ на них показаны области оптимальных значений режимов сварки при которых $T_0 < T_1$. На номограммах имеются три такие области, которые построены при разных заданных значениях T_1. Верхняя граница каждой такой области соответствуют значению $T_0/T_1 = 0{,}7$, а нижняя – $T_0/T_1 = 0{,}6$.

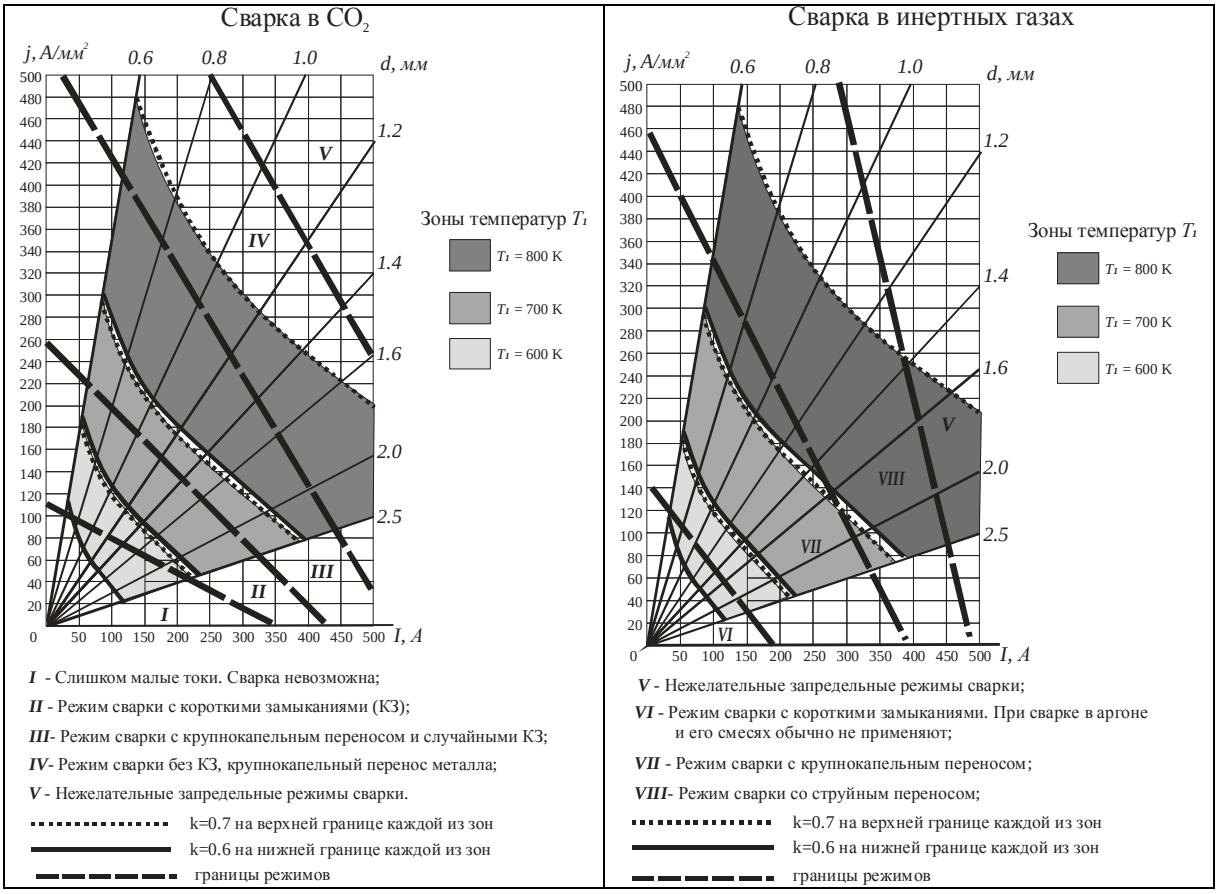


Рис. 2. Номограммы по выбору тока сварки в зависимости от диаметра электрода и температуры "стыка"

Рекомендуется выбирать значения тока при заданном диаметре электрода в желаемых из технологических соображений областях I-VIII в середине одной из указанных температурных зон, при этом k близко к 0,65. Таким образом, используя эти номограммы мы попадаем в реализуемый режим, при котором значение T_0 всегда меньше T_1.

Выводы. Разработанные номограммы предназначены для выбора сварочного тока при механизированной дуговой сварке в защитных газах низкоуглеродистых и низколегированных сталей длинной дугой. Они позволяют выбрать оптимальное значение тока при заданном диаметре электрода с учетом того, что расчетное значение начальной температуры проволоки на выходе из мундштука будет всегда меньше выбранной температуры предварительного подогрева электрода. Такое условие обеспечивает то, что температуры капли и предварительного подогрева электрода будут находиться в рамках допустимых значений. Это позволяет более точно рассчитать все основные параметры режима сварки из условий сохранения теплового баланса и поддерживать их во время сварки на требуемом уровне.

Список использованных источников

1. Коринец И. Ф. Номограммы для определения режимов дуговой сварки в углекислом газе / И. Ф. Коринец, Ю.И. Охай // Автоматическая сварка. – 1995. – № 10. – С. 46-48.
2. К аналитическому определению основных параметров режимов механизированной сварки в среде защитных газов // Сб. наук. праць Національного університету кораблебудування (НУК). – 2006. – № 1 (406). – С.68-79.
3. Петриенко О. И. Влияние тепловых и электрических процессов на режимы механизированной сварки сталей в защитных газах: дис.… канд техн. наук: 05.03.06 / О. И. Петриенко. – К., 2006. – 176 с.
4. Пентегов И. В. Расчет распределения температуры по длине вылета электрода с учетом тепла, поступающего от капли / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко // Автоматическая сварка. – 2003. – № 7. – С. 23-28.
5. Шейнкин М. З. Определение допустимого вылета тонкой электродной проволоки при сварке в углекислом газе / М. З. Шейнкин // Сварочное производство. – 1978. – № 9. – С. 24-28.
6. Пентегов И. В. Метод определения температуры проволоки на выходе из мундштука при дуговой сварке в защитных газах / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко // Автоматическая сварка. – 2005. – № 10. – С. 25-28.
7. Кирьянов Д. В. MathCAD 14 / Д. В. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 704 с.
8. Определение падения напряжения в области контакта электродной проволоки с мундштуком сварочной горелки при механизированных видах дуговой сварки / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко, С. В. Пустовойт, В. Н. Сидорец, А. В. Лавренюк // Автоматическая сварка. – 2005. – № 6. – С. 12-17.
9. Nakamura T., Hiraoka K. Wire Melting Behavior by Non-Steady Heat Conduction Numerical Analysis in Gas Metal Arc Welding // Quarterly of the Japan weld Sosiety. – 2002. – Vol. 20. – № 1. – P. 53-62.
10. Пентегов И. В. Метод расчета падения напряжения по длине вылета электрода с учетом нелинейности теплофизических параметров / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко // Автоматическая сварка. – 2002. – № 4. – С. 30-33.
11. Петриенко О. И. Влияние тепловых и электрических процессов на режимы механизированной сварки сталей в защитных газах: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.03.06 // О. И. Петриенко; АН Украины. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. – К., 2006. – 25 с.

УДК 621.793.71

В.В. Спихтаренко, доцент
С.А. Лой, инженер
Херсонский филиал Национального университета кораблестроения, г. Херсон, Украина
С.В. Олексиенко, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗА-ЗАМЕНИТЕЛЯ ПРИ ГАЗОПЛАМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ

Приведены результаты исследований свойств покрытий, полученных газопламенным напылением с использованием горючих газов (ацетилен, пропан, МАФ). Определены твердость, коэффициент использования материала (КИМ), прочность сцепления покрытия с основой.

***Ключевые слова**: ацетилен, МАФ, газопламенное напыление, самофлюсующийся сплав, прочность сцепления, твердость.*

Наведені результати досліджень властивостей покриттів, отриманих газополуменевим напилюванням з використанням горючих газів (ацетилен, пропан, МАФ). Визначені твердість, коефіцієнт використання матеріалу (КВМ), міцність зчеплення покриття з основою.

***Ключові слова**: ацетилен, МАФ, газополуменеве напилення, самофлюсуючий сплав, міцність зчеплення, твердість.*

Results of researches of properties of the coverings received by a flame spraying with use of combustible gases (an acetylene, propane, MAF) are resulted. Hardness, thermal spraying deposition efficiency, bonding strength are defined.

***Key words:** acetylene, MAF, flame spraying, self-fluxing alloy, bonding strength, hardness.*

Постановка проблемы. Дальнейшее развитие научно-технического прогресса вызывает интенсификацию работы машин, заставляет искать и внедрять все более эффективные техно-

логии восстановления и упрочнения деталей. Проблема снижения материалоемкости продукции, усиления режима экономии остается актуальной. В этой связи происходит расширение сферы применения газотермического напыления покрытий из самофлюсующихся сплавов.

В последнее время на рынке горючих газов появился уникальный энергетический продукт – газ МАФ (метилацетилен-алленовая фракция). Температура пламени при сгорании МАФ в кислороде составляет 2927 °*C*, что позволяет применять его как заменитель ацетилена в технологических процессах газопламенной обработки металлов. Однако отсутствие данных о свойствах покрытий, полученных с использованием МАФ, не позволяет реализовать технологию нанесения покрытий. Поэтому проведение исследований свойств покрытий полученных с использованием газа МАФ с целью разработки технологий является актуальным.

Анализ последних достижений и публикаций. Известен опыт применения газа МАФ для выполнения сварочных работ. Так, в ИЭС им. Е.О. Патона и ОАО "Черкассыгаз" разработаны рекомендации по его применению при строительстве и ремонте газопроводов, подведомственных ДНАОП [1].

Оценка качества сварных швов показала, что в них отсутствуют дефекты в виде оксидных пленок, включений между слоями и по границе сплавления, а размеры, форма, количество и распределение неметаллических включений такие же, как и при сварке с использованием ацетилена и сварочной проволоки Св-08А. В зоне термического влияния отсутствует заметный перегрев металла.

Также использование газа МАФ для напыления и сварки низкоуглеродистых сталей апробировано на КСП "Лидер" (г. Херсон) и получены удовлетворительные результаты.

Цель статьи. Целью работы является разработка основ технологии нанесения газотермических покрытий с использованием газа МАФ, обеспечивающих снижение стоимости работ.

Изложение основного материала. Обычно напыление производится газопламенным методом с использованием ацетилено-кислородного пламени [1; 5].

Для газопламенного напыления газом МАФ можно использовать стандартные горелки ГН-2 и ГН-3, укомплектованные мундштуками № 3 и № 4. Поскольку температура пламени газа МАФ ниже температуры ацетилено-кислородного пламени, то для получения более устойчивой работы горелки, особенно при подаче порошка в газовую струю, повышения тепловой мощности пламени и производительности необходимо изменить геометрию выходного отверстия мундштука горелки [2].

Для газотермического напыления пропано-бутано-кислородными смесями горелка ГН-3 была модернизирована в соответствии с рекомендациями работы [7] (изменена конструкция наконечника, рассчитано и увеличено проходное сечение каналов в инжекторе и смесительной камере).

В качестве напыляемого материала использовали самофлюсующийся порошок ПГ-10Н-01 (выпускаемый ОАО Торезтвердосплав по ГОСТ 21448-75 и ТУ У 322-19-004-96) системы Ni-Cr-B-Si [6]. Перед напылением порошок просушивали при температуре 120…150 ºС в течение 50…60 минут.

С целью определения возможных изменений напыленного слоя, а также некоторых его физико-механических свойств проведены исследования свойств покрытий.

Микроструктура напыленного слоя изучалась с помощью микроскопа МИМ-7 на шлифах, вырезанных из образцов, напыленных порошком ПГ-10Н-01 с использованием смесей: ацетилено-кислородной, пропано-кислородной газовых смесей и МАФ с кислородом.

Для всех покрытий характерна хорошая граница контакта с подложкой. В них образуются разобщенные газовые шлаковые боросиликатные включения сферической формы. Количество пор и шлаковых тел для всех способов напыления примерно одинако-

вое. На рисунке 1 видна дендритоподобная структура γ-твердого раствора на основе никеля, междендритное пространство которого заполнено частицами боридов Ni_3B и карбидов хрома $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 [8].

Прочность сцепления покрытия (адгезию) определяли методом сдвига [4]. Образцы напыляли на цилиндрическую заготовку диаметром 20 *мм*. Толщина напыленного слоя около 3 *мм*. Напыленный слой обтачивали до диаметра 24 *мм*. В нанесенном слое делали проточки до основного металла (диаметр 20 *мм*) для разделения напыленного слоя на отдельные кольца шириной 2 *мм*, после этого образцы испытывали на прочность сцепления на срез.

Испытания проводили на разрывной машине Р-20 производства Армавирского завода испытательных машин.

Средние значения прочности сцепления для десяти образцов каждой партии приведены в таблице 1.

Таблица 1

Прочность сцепления покрытия с основой в зависимости от метода напыления

Метод напыления	**Напряжение сдвига, *МПа***
Газопламенный (ацетилен-кислород)	380
Газопламенный (МАФ-кислород)	390
Газопламенный (пропан-кислород)	400

Рис. 1. Структура напыленного и оплавленного газопламенного покрытия с использованием горючего газа МАФ, ×200

Средние значения адгезии 390 *МПа* позволяет сделать заключение об их высокой динамической прочности.

Одним из показателей, характеризующих качество процесса напыления покрытия, является коэффициент использования материала (КИМ), представляющий собой отношение массы материала, нанесенного на поверхность детали, к массе материала, поступившего в пламя горелки.

Для определения влияния гранулометрического состава напыляемого порошка [3] на величину КИМ порошок ПГ-10Н-01 просеивали через набор сеток по ГОСТ 6613-73, в результате чего были получены следующие фракции по размерам частиц от 0 *мкм* до 120 *мкм* и более:

от 0 до 40	7 % (поставка завода);
от 40 до 60	30 % (поставка завода);
от 60 до 120	60 % (поставка завода);
более 120	3 % (поставка завода).

Напыление образцов проводили газопламенным методом с использованием горючих газов (ацетилен, пропан-бутан и МАФ в смеси с кислородом) фиксированной навеской поро-

шка (30 *г*), после чего образцы взвешивались на аналитических весах типа АДВ-200 с погрешностью $1 \cdot 10^{-6}$ *Н*. Результаты обработки полученных данных приведены на рисунке 2.

Исследования показали, что использование пропан-бутана в качестве горючего газа целесообразно при напылении порошков грануляцией до 100 *мкм*, так как коэффициент его использования выше, чем при применении ацетилена. Это обусловлено тем, что в ацетилено-кислородном пламени мелкие частицы порошка сгорают, не образуя покрытия. Коэффициент использования порошка при напылении фракции более 100 *мкм* пропан-бутановым пламенем резко снижается, что вызвано недостаточной способностью частиц к образованию покрытия из-за низкой температуры их разогрева. При использовании газа МАФ коэффициент использования порошка выше (порядка 10 %) чем у ацетилена.

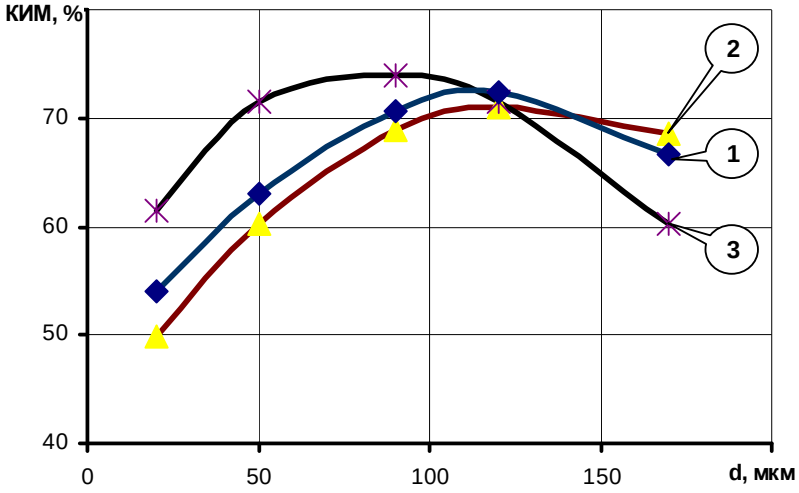


Рис. 2. Зависимость коэффициента использования порошка (КИМ) марки ПГ-10Н-01 от его грануляции: 1 – МАФ; 2 – ацетилен; 3 – пропан-бутан

Для определения влияния размеров частиц напыляемого материала и вида горючего газа на твердость покрытия напылены образцы с толщиной покрытия 1,5…2 *мм*. Напыление проводили с одновременным оплавлением. После охлаждения образцы обрабатывали на шлифовальном станке. Твердость измеряли на твердомере марки ТК-2 в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-74 при нагрузке 1500 *Н*. Результаты обработки полученных данных приведены на рисунке 3.

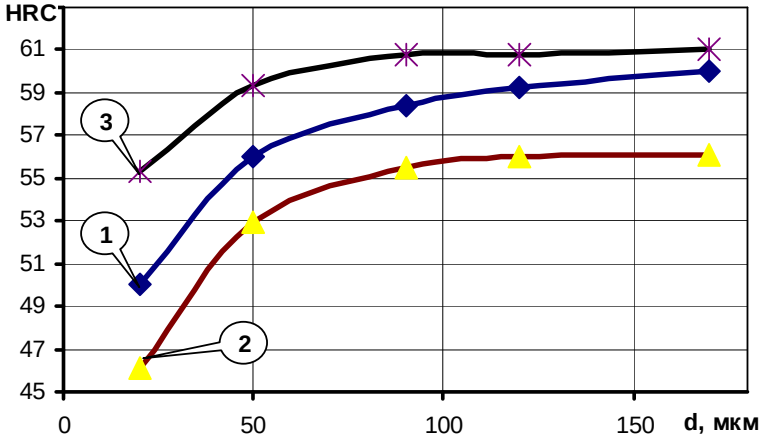


Рис. 3. Влияние гранулометрического состава напыляемого порошка ПГ-10Н-01 на твердость покрытия: 1 – МАФ; 2 – ацетилен; 3 – пропан-бутан

Более высокая твердость покрытий, полученных с применением пропан-бутана, объясняется более “мягким” температурным режимом напыления, который в меньшей мере вли-

яет на изменение химического состава компонентов, определяющих твердость наносимого покрытия. Твердость покрытий при использовании в качестве горючего газа МАФ занимает промежуточное место между ацетиленом и пропан-бутаном. Интенсивнее подвергаются температурному воздействию порошки грануляцией до 60 *мкм*. Твердость покрытий, полученных с применением порошков этих фракций, в зависимости от вида горючего газа, изменяется на 4...10 единиц HRC. По мере увеличения грануляции изменения твердости менее выражены и разница с основной фракцией (60 *мкм*) составляет 1...4 единицы HRC.

Выводы. Проведенные испытания показали, что использование в качестве горючего газа пропан-бутана целесообразно при напылении самофлюсующихся порошков грануляции 60... 100 *мкм*, газа МАФ и ацетилена – 70…120 *мкм*.

Средняя твердость покрытий из ПГ-10Н-01 несколько выше при напылении пропан-бутаном по сравнению с использованием ацетилена и МАФ и составляет 390 *МПа*, что позволяет сделать заключение о высокой динамической прочности сцепления покрытия с основой.

Анализ проведенной работы показывает, что газопламенное напыление с использованием газа МАФ позволяет получать покрытия не хуже, чем при использовании в качестве горючих газов ацетилена или пропан-бутана. Но стоит помнить, что балон газа МАФ заменяет 3…4 балона ацетилена или 160…200 *кг* карбида кальция.

Список использованных источников

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. А. Ардатовская. – К.: Наукова думка, 1987. – 543 с.

2. Демченко Ю. В. О возможности применения газа МАФ для сварки газопроводов низкого давления / Ю. В. Демченко, А. О. Петренко // Сварщик. – 2002. – № 4 (26). – С. 51-52.

3. Дубовой А. Н. Повышение коэффициента использования материала при газотермическом напылении самофлюсующего сплава / А. Н. Дубовой, Л. Н. Симаненков, В. В. Спихтаренко // Зб. наук. праць УДМТУ. – 2003. – № 2 (388). – С. 37-41.

4. Дубовой А. Н. Повышение эффективности напыления и износостойкости покрытий / А. Н. Дубовой, В. В. Спихтаренко, Э. Б. Хачатуров // Триботехнология судового машиностроения: сборник научных трудов. – Николаев: НКИ, 1990. – С. 19-23.

5. Линник В. А. Современная техника газотермического нанесения покрытий / В. А. Линник, П. Ю. Пекшев. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.

6. Порошки литые на основе кобальта, никеля, меди [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tverdosplav.com.ua/prod4.html.

7. Силуянов В. П. Разработка и широкое внедрение комплектов оборудования для ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения деталей газопламенной наплавкой. Обзорная информ. Госагропром СССР / В. П. Силуянов, В. П. Лялякин, Е. П. Максимов. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1987. – 24 с.

8. Структура и свойства покрытий из никелевых сплавов / В. П. Безбородов, Д. Д. Зорин, А. А. Муратов и др. // Сварочное производство. – 2003. – № 3. – С. 22-27.

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.052:004.275

В.В. Литвинов, д-р техн. наук
О.П. Мойсеєнко, аспірант
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ СЕМАНТИЧНОМУ РОЗБОРІ ТЕКТОВОГО ДОКУМЕНТА

У статті розглядаються питання, пов'язані з пошуком можливості вдосконалення існуючого методу кластеризації текстових документів (ЛСА) до рівня семантичного розбору. Проведено огляд систем обробки текстових документів на природній мові. Визначені необхідні умови для вдосконалення методу. Зроблено підтверджувальний висновок про можливість реалізації методу семантичного розбору, взявши за основу метод кластеризації.

Ключові слова: *автоматична обробка тексту, аналіз тексту, зміст тексту, семантичний розбір.*

В статье рассматриваются вопросы, связаные с поиском возможности улучшения существующего метода кластеризации текстовых документов (ЛСА) до уровня метода семантического разбора. Проведен обзор систем обработки текстовых документов на естественном языке. Определены нужные условия для улучшения метода. Дан утвердительный вывод в пользу возможности реализации метода семантического разбора, взяв за основу метод кластеризации.

Ключевые слова: *автоматическая обработка текста, анализ текста, содержание текста, семантический разбор.*

In this article the questions that are associated with the search for opportunities to improve the existing method of clustering text documents (LSA) to the level of the Semantic analysis. A review systems handle text documents in natural language . Determine the proper conditions for the improvement of the method. Is affirmative conclusion in favor of the feasibility use of the method of semantic analysis, based on the clustering method.

Key words: *automatic text processing, text analysis, text contents, semantic analysis.*

Вступ. Завдання аналізу та прийняття рішень щодо авторської частки текстової інформації в матеріалах наукових робіт потребують обробки великого об'єму текстових даних, які в наш час масово представляються у вигляді електронних документів. Прикладні системи підтримки прийняття рішень (СППР) мають можливість використовувати знання, що містяться в текстових документах. Однак спершу потрібно в автоматичному режимі вилучити знання із тексту, підтримуючи високий рівень продуктивності операцій аналізу текстових документів та процедур пошуку знань, а також провести їх верифікацію по базі знань чи іншим джерелам. Наприклад, мережа Інтернет є найбільшим сховищем електронної текстової інформації. Відомо, що автоматичний аналіз тексту має декілька типів, зорієнтованих на текстові рівні – фонетичний, морфологічний, семантичний. Як стверджує Ю.М. Марчук [1], наразі момент семантико-зорієнтований підхід лежить в основі більшості сучасних технологій аналізу тексту. Різнорідна структурованість текстових документів з науковим змістом та часті посилання на інші джерела заважають достовірно оцінити автентичність та змістовність таких авторських робіт. Виникає ситуація, коли людина, що приймає рішення про авторську приналежність наукової роботи, серед масиву доступних їй текстових документів не в змозі якісно і за короткий час їх опрацювати з мінімальними похибками без використання спеціалізованих програмних засобів. Структурно-семантичні засоби аналізу логічної зв'язності традиційно є суб'єктивною характеристикою тексту. Основна складність полягає у виявленні математичних залежностей характерних для змісту текстового документа в цілому чи окремих його структурних елементів. Саме тому виділення змістовних характеристик з електронного тексту на природній мові є складним завданням. Система підтримки прийняття рішень на основі семантичного розбору текстових документів могла б більш ефективно, ніж у ручному режимі, вирішити цю проблему. Нижче розглянуто декілька систем автоматичної обробки тексту, які вирішують згадану проблематику, однак у своїй роботі вони викори-

стовують словники та тезауруси, що на порядок знижують швидкість їх роботи та не гарантують безпомилкових результатів. У цій статті, розглядається можливість реалізації безсловникового підходу виявлення унікальності змісту текстового документа та фіксації змістовних співпадінь з тексовими елементами бази знань. Такий підхід, в змозі значно підвищити швидкість систем автоматичної обробки тексту, залишаючись на прийнятному рівні допустимих похибок аналізу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз останніх публікацій показав, що сьогодні на практиці існує невелика частка програмно реалізованих продуктів аналізу та семантичного розбору для природно-мовних текстів. Мала кількість семантичних систем пов'язана, в першу чергу, зі складністю їх реалізації. Існують проекти, роботи над якими тривають більше десятка років. Нижче наведено список систем автоматичної обробки текстових даних на природній мові з коротким описом їх можливостей. Варто додати, що подібні системи розробляються під потреби замовника та є ефективними при роботі з електронними тексовими документами конкретного направлення та специфіки.

1. Інформаційно-аналітична система "Аріон" [2].

Система дозволяє працювати як зі структурованими (xml-документи), так і з неструктурованими (тексти природною мовою) джерелами інформації. На вході лінгвістичний процесор системи отримує текстовий документ. Результатом його праці є массив фактографічної інформації, що в подальшому використовується для виявлення схожих і співпадаючих об'єктів. Виділення фактографічної інформації здійснюється за допомогою спеціалізованих правил та словників. Ефективний для опрацювання звітних паперів.

2. Система автоматичного аналізу тексту TextAnalyst [3].

Це інструмент для аналізу змісту текстів з автоматичним формуванням семантичної мережі (змістовний портрет тектового документа в термінах основних понять та їх змістовних зв'язків у вигляді тематичного дерева з гіперпосиланнями) та пошуку інформації з урахуванням виявлених змістовних зв'язків слів запиту зі словами в тексті. На відміну від попередньої системи, це не комерційний продукт. Ефективний для автоматичного конспектування великих текстів до менших, не втрачаючи загального сенсу.

3. Інститут лінгвістики РГГУ та робоча група АОТ [4].

Розробляє програмне забезпечення у сфері автоматичної обробки текстів. На їх електронному ресурсі є можливість безкоштовно ознайомитися з вихідним кодом програм та словників, в основному спрямованих на опрацювання російськомовних текстових документів.

Постановка завдання. Дослідити можливості адаптації методу латентно-семантичного аналізу (ЛСА) [5; 6] для створення алгоритму семантичного розбору електронних текстих документів з науковим змістом, що надасть можливість виокремлення авторського змісту при порівнянні з іншими документами бази знань.

Розв'язання завдання. Для створення складової системи прийняття рішень при семантичному розборі текстових документів, без використання словників чи тезаурусів, та подальшої реалізації алгоритму виявлення змістовних співпадінь у документах з бази знань важливо відзначити, що серед етапів роботи такого алгоритму мають бути такі, які він не повинен виключати:

– завантаження та редагування текстових документів;
– обробка тексту, відштовхуючись від початкових можливостей медоду ЛСА;
– побудова семантичної мережі;
– допустимий час роботи.

Відповідно, на вході повинен поступати тексовий документ, а на виході повинна будуватися семантична мережа у вигляді орієнтованого графа. Відмінність від існую-

чих алгоритмів – у можливості виключення функцій створення, підключення та роботи зі словниками та тезаурусами.

Узагальнену структуру семантичних систем можна побачити на рисунку.

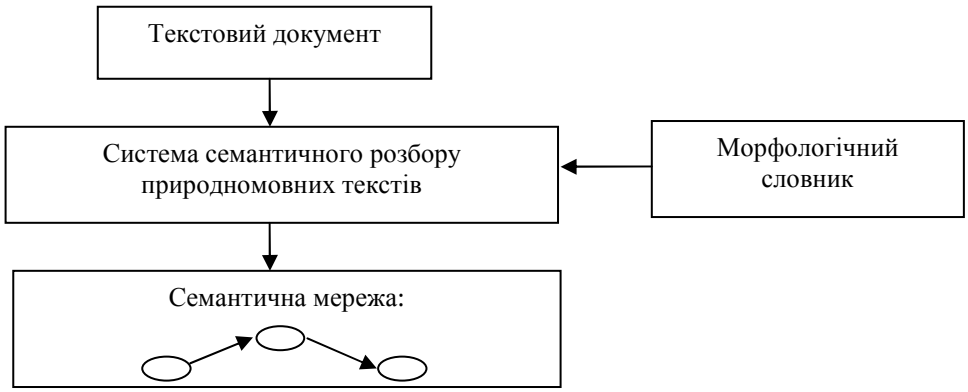


Рис. Узагальнена структура систем семантичного розбору

Загальні принципи систем автоматизованої обробки текстів являють собою компоненти, що складають структуру систем аналізу текстів, а саме – лінгвістичні процесори, які послідовно опрацьовують вхідний текст [7]. Вхід одного процесора є виходом іншого.

Виділяють такі компоненти:

– графематичний аналіз – виокремлення цифро-буквенних сполучень, формул;

– морфологічний аналіз – побудова морфологічної інтерпретації слів вхідного тексту;

– синтаксичний аналіз – побудова дерева залежностей конкретного речення;

– семантичний аналіз – побудова семантичного графа тексту.

Метод латентно-семантичного аналізу вже адаптовувався для SEO оптимізації інтернет-сайтів та кластеризації текстових документів за тематикою [5; 8].

ЛСА дозволяє виявляти значення слів з урахуванням контексту їх використання шляхом обробки великого набору текстів. Головний принцип дії методу полягає в думці, що порівняння множини всіх контекстів, у яких слова чи групи слів вживаються і контектів, у яких вони не вживаються, дозволяє зробити висновок про ступінь схожості змістовних понять цих самих слів чи їх групи [5].

Як практичний метод, що характеризує значення слова, ЛСА дозволяє вимірювати кореляції типу «слово-слово», «слово-фрагмент» та «фрагмент-фрагмент». Можна сказати, що ЛСА представляє значення слова як середнє значення уривків, у яких воно зустрічається, а значення уривка – як середнє значення всіх слів, що входять до нього.

З точки зору латентного семантичного аналізу, документи розглядаються як набори ключових слів, що зустрічаються у цих документах і називаються термами. Терм – це просте слово, семантика якого допомагає описати основний зміст документа.

Метод відображає документи й окремі слова (терми) в «семантичний простір», в якому і відбуваються подальші порівняння без використання тезаурусів. Текстовий документ визначається як набір слів, порядок яких ігнорується. Важлива лише кількість появи конкретного слова в документі. Припускається, що кожне слово має лише одне значення. Похибка через омоніми під час обробки великих документів є дуже мізерною.

Метод ЛСА можливо адаптувати до використання при пошуку дублікатів текстової інформації шляхом реалізації таких можливостей:

– виключення стоп-символів;

– виокремлення текстових блоків (парсинг);

– виокремлення кореня слів (стемінг);

– виключення одиничних слів;

– виокремлення індексованих слів (слова, що залишились після попередніх дій).

Необхідно скласти частотну матрицю з індексованих слів, у якій стрічки відповідатимуть проіндексованим словам, а стовпці – текстовим документам. На їх перетині відповідно буде вказана кількість повторів конкретного слова в конкретному документі.

Після отримання матриці, понижується її ранг, так-як високий ранг ускладнює обчислення та початкова матриця неодмінно містить «шуми» – випадкові потрапляння слів, що не відповідають змісту фрагмента чи текста в цілому. Пониження рангу дозволить певною мірою позбавитися від «шумів». У результаті перетворення розмірність розкладу слів за документами зменшиться.

Вибір нового рангу матриці після перетворення задається в автоматичному режимі, шукаючи найбільш оптимальний варіант (адаптивний метод, що не виключає самонавчання), або ж в ручному режимі, покладаючись на людський досвід.

Використавши розкладання матриці за сингулярним значенням (SVD), величезна вихідна матриця розкладається в безліч з k, наприклад, від 20 до 160, ортогональних матриць, лінійна комбінація яких є наближенням вихідної матриці.

Більш формально, відповідно до теореми про сингулярне розкладання, будь-яка дійсна прямокутна матриця M може бути розкладена в добуток трьох матриць:

$$M = UWV^t,$$

де U та V^t – ортогональні матриці, а W – діагональна матриця, значення на діагоналях якої називаються сингулярними значеннями матриці M.

Таке розкладання має цікаву особливість: якщо в W залишити тільки k найбільших сингулярних значень, а в матрицях U і V тільки відповідні до цих значень стовпці, то добуток матриць, що вийшли, і буде найкращим наближенням вихідної M матриці матрицею k рангу:

$$M \approx \hat{M} = U_L W_L V_L.$$

Кожен терм і документ представляються за допомогою векторів у загальному просторі розмірності k. Близькість між будь-якою комбінацією термів і/або документів може бути обчислена за допомогою скалярного добутку векторів.

Матриця аналізується на предмет кореляцій, використовуючи, наприклад, алгоритм рангової кореляції Спірмена.

На практиці розрахунок коефіцієнта рангової кореляції складається з таких кроків:

– співставлення кожному окремому із признаків порядкового номера;

– оцінка різниці рангів кожної пари співставлених значень;

– привести в квадрат кожну різницю та скласти отримані результати.

Алгоритм Спірмана дещо уступає параметричному коефіцієнту кореляції, однак саме цей алгоритм доцільніше використовувати в умовах, коли в наявності є невелика кількість явищ.

Таким чином, результатом роботи методу ЛСА з метою виявлення змістовних співпадінь може бути кореляційна матриця, що відображає змістовні зв'язки між виокремленими словами та набором текстових документів. Реалізувавши вищезгадані пункти в роботі методу, можна отримати повноцінний інструмент семантичного розбору для виявлення змістовних співпадінь в україномовних текстових документах.

Висновки. Створення систем автоматичної обробки природномовних текстів є одним з актуальних завдань у комп'ютерній лінгвістиці. Принципи роботи таких систем входять до кола інтересів систем підтримки прийняття рішень. Створення системи, що опрацьовує тексти будь-якої складності українською мовою, не можливо. Однак можливо за допустимої похибки реалізувати семантичний розбір та пошук текстових даних, схожих за змістом, взявши за основу метод ЛСА, що дозволить досягти високого рівня формалізації мовних структур у різноманітних прикладних цілях.

Список використаних джерел

1 Марчук Ю. Н. Компьютерная лингвистика / Ю. Н. Марчук. – М.: АСТ: Восток-Запад, 2007. – С. 60-70.

2 SyTech – разработка программного обеспечения: аналитические системы, электронный документооборот, корпоративные системы, информационные порталы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sytech.ru.

3 TextAnalyst 2.0 – персональная система автоматического анализа текста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.analyst.ru.

4 Автоматическая обработка текста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.aot.ru.

5 Landauer, T. K., Foltz, P., and Laham, D. 1998. An Introduction to Latent Semantic Analysis. DiscourseProcesses, 25: 259-284.

6 Deerwester, S., Dumais, S.T., Furnas, G.W., Landauer, T.K. and Harshman, R.A. 1990. Indexing by Latent Semantic Analysis. Journal of the American Society for Information Science, 41: 391-407.

7 Нгуен Ба Нгок. Обзор подходов семантического поиска [Электронный ресурс] / Нгуен Ба Нгок, А. Ф. Тузовский // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники: периодический научный журнал. – 2010. – № 2 (22). Ч. 2. – С. 234-237. – Режим доступа: http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2010-2-2/234.pdf.

8 Косинов Д. Локальные параметры текстов и проблема определения почти-дубликатов [Электронный ресурс] / Д. Косинов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2008. – Т. 1. – С. 83-85. – Режим доступа: http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2008/01/kosinov.pdf.

УДК 004.4

А.М. Акименко, канд. фіз.-мат. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ UML ПРИ РОЗРОБЛЕННІ СКЛАДНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Розглянуто проблеми, пов'язані з формуванням завдання на розробку коду програми після завершення стадій аналізу та проектування складної програмної системи. Запропоновано використання специфікацій сумісного типу для організації роботи груп експертів та постановки завдань на виконання.

Ключові слова: *розробка програм, сумісний тип, специфікація, діаграма варіантів використання, технічне завдання.*

Рассмотрены проблемы, возникающие в процессе формирования задачи на разработку кода программы после завершения стадий анализа и проектирования сложной программной системы. Предложено использование спецификации совместного типа для организации работы групп экспертов и постановки задачи на исполнение.

Ключевые слова: *разработка программ, совместный тип, спецификация, диаграмма вариантов использования, техническое задание.*

The problems associated with the formation of a task to develop the application code after the stages of analysis and design of sophisticated software systems. Proposed the use of the specifications for the type of joint organization of the expert group and set goals for performance.

Key words: *development programs, joint type, specification, use cases diagram, technical task.*

Постановка проблеми. Традиційно розробка складної програмної системи складається з таких етапів [1]:

1. Постановка та аналіз завдання, визначення вимог до проекту.
2. Проектування.
3. Розробка, кодування.
4. Тестування та оцінювання якості.
5. Впровадження та супровід.

Як бачимо, розроблення програмного забезпечення – це доволі складний процес. Кожна зі стадій розроблення має визначені методики її виконання та перелік документів, які повинні бути сформовані для переходу на наступний етап. Однак існує кілька

факторів, які викликають проблеми під час розроблення складного програмного проекту та збільшують ризики його виконання. Серед таких факторів основну увагу розробники приділяють таким моментам:

- складність формування вимог до програмних систем;
- відсутність відповідних засобів, що описують поведінку систем з великою кількістю станів;
- комплексна розробка програмного проекту;
- необхідність збільшення ступеню повторюваності коду.

Ці фактори мають вплив на кожну стадію розробки, але найбільш вразливими є моменти переходу від одного етапу розроблення до іншого. **Метою** цієї статті є вивчення проблеми формування завдання на розроблення програмного коду після завершення стадій аналізу та проектування складної програмної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні під час розробки складного програмного забезпечення, зазвичай, використовують одну з двох методологій – структурну або об'єктно-орієнтовану.

Перша методологія для розробки складних програм рекомендує виділяти в програмі окремі підпрограми (процедури), які вирішують вузькоспеціалізовані завдання, тобто проводити процедурну декомпозицію.

Друга методологія використовує більш складний підхід, при якому в предметній області виділяють окремо функціонуючі елементи. Поведінка цих об'єктів моделюється з використанням спеціальних засобів, а потім вже з готових елементів збирається складна програмна система. Таким чином, в основу другої методології покладена об'єктна декомпозиція.

Одна з найпоширеніших (більше 60 % використання) методик об'єктно-орієнтованої методології розроблення програмного забезпечення має назву **Rational Unified Process (RUP),** яка в загальному вигляді має такі складові (фази):

1 фаза "Початок". Виконують такі дії:

- формуються бачення та границі проекту;
- створюється економічне обґрунтування;
- визначаються основні вимоги, обмеження та ключова функціональність продукту;
- створюється базова версія моделі прецедентів;
- оцінюються ризики.

Після завершення початкової фази повинні бути підготовлені такі документи:

- попередній план проекту з оцінкою вартості робіт;
- попередній план розроблення програмного забезпечення (ПЗ), до складу якого вміщено план управління вимогами, організацію проекту, план управління змінами, план управління ризиками та план контролю якості;
- затверджені документи по проекту.

На основі представленої документації оцінюються перспективи та приймається рішення про продовження роботи над проектом.

2 фаза "Уточнення". В цій фазі аналізується предметна область та будується архітектура майбутньої системи. Після завершення цієї фази план проекту повинен містити точні часові та вартісні оцінки розробки системи відповідно до вимог та обраної архітектури. Готуються такі документи:

- уточнений план проекту з графіком його виконання;
- повна специфікація вимог до програмного продукту;
- прототипи функціонального інтерфейсу та інтерфейсу користувача;
- план тестування;
- уточнений план розробки ПЗ;
- затверджені документи по проекту.

3 фаза "Побудова". У фазі «Побудова» відбувається реалізація більшої частини функціональності продукту. Ця фаза завершується першим зовнішнім релізом системи.

Кожна ітерація конструювання повинна супроводжуватися такими документами:

- план наступної ітерації;
- всі документи та моделі з попередніх фаз, у разі їх модифікації на цій ітерації.

4 фаза "Впровадження". В цій фазі створюється фінальна версія продукту, яка передається від розробника до замовника. У випадку, якщо якість продукту не відповідає очікуванням користувачів або критеріям, встановленим у фазі "Початок", фаза "Впровадження" повторюється знову.

Однією з переваг технології RUP є акцентування уваги розробника на веденні проектної документації. Але основна увага, в першу чергу, приділяється документації, яка має зовнішній характер, тобто орієнтована на організацію взаємодії з замовником програмного проекту. Вимог до ведення внутрішнього документообігу в методології RUP не визначено. Окрім однієї: для ведення документації потрібно використовувати мову моделювання програмних проектів UML. Регламент використання мови моделювання в методології RUP не описано, тому під час створення внутрішніх документів розробники програмного забезпечення дуже часто не звертають уваги на цей аспект управління процесом розробки.

Розглянувши процес розробки, перейдемо до питання керування цим процесом.

Сучасний бізнес вимагає спеціалізованого програмного забезпечення підвищеної складності, пристосованого під конкретні бізнес-процеси. Розробники програмного забезпечення, орієнтуючись на замовника, застосовують новітні технології та скорочують строки виробництва програмних продуктів. Враховуючи це, процес виробництва стає все більш непередбачуваним. Необхідність створення високоякісного програмного забезпечення в умовах обмежених строків та бюджету потребує підвищення рівня взаємодії груп розробників з іншими проектними підрозділами.

Початкову фазу та фазу "Уточнення" компанія-розробник виконує, задіявши для цього аналітиків, які займаються питаннями аналізу поставленого завдання та підготовки попередньої документації. Керованість процесом розроблення на цих етапах виробництва дуже висока, оскільки над завданням працює кількісно обмежений колектив, який включає до свого складу аналітиків та керівників груп розробки. Проблеми витримки строків та виконання бюджету на цих етапах також не мають гострого характеру.

При переході від другої фази до третьої над створенням складної програмної системи починає працювати значно більша кількість працівників. До процесу підключаються групи розробників (програмісти). Кількість персоналу, задіяного в процесі розроблення програми, збільшується і виникають проблеми, пов'язані не тільки з керованістю проектом, які вирішуються за допомогою застосування стандартних методик управління, але і специфічні, які характерні тільки для IT-індустрії. Одна з цих проблем – взаємодія між менеджерами проектів та групами розробки, які викликані різними підходами до оформлення документації, що використовується цими категоріями працівників.

Аналітики та менеджери проектів, готуючи документи, орієнтуються в першу чергу на замовника, не враховуючи специфічні потреби внутрішнього користувача, тобто безпосереднього розробника програмного коду.

Мета статті. Метою роботи є вивчення питання про застосування діаграм мови моделювання UML для керівництва роботою програмістів у фазі "Побудови" складного програмного продукту, зменшення ризиків його виконання та формалізації процесу підготовки документації по проекту.

Виклад основного матеріалу. Застосування мови UML у процесі розробки програмного проекту – необхідна умова використання методології **RUP**. Одне з завдань, яке вирішує UML, – це специфікація моделі системи.

У цьому контексті мається на увазі побудова повної моделі системи. UML дозволяє описати всі існуючі рішення, які стосуються аналізу, проектування і реалізації, які приймаються в процесі розроблення та розгортання програмного продукту.

Характерною особливістю мислення більшості програмістів є те, що роздуми про реалізацію проекту, для нього рівнозначні написанню коду програми. Іншими словами, якщо ми думаємо над проектом – ми пишемо код. Дійсно, деякі речі краще за все виражаються безпосередньо в коді мовою програмування. Такий підхід також можна вважати моделюванням, хоч і неформальним. За такого підходу виникає кілька проблем. По-перше, обмін думками стає можливим тільки у випадку, коли всі учасники розуміють одну базову мову. По-друге, не можна отримати уявлення про деякі аспекти програмної системи без моделі, межі якої виходять за рамки мови програмування. По-третє, якщо аналітик ніколи не втілював в явній формі розроблені моделі, інформація може бути втрачена, при зміні колективу розробників. У кращому випадку результати аналізу можна буде тільки частково відтворити, виходячи з реалізації проекту.

Для розуміння принципів побудови програмної системи та її роботи використовується опис функціональності через варіанти використання (діаграма Use Case) [2]. Варіанти використання це – опис послідовності дій, що виконує програма у відповідь на зовнішній вплив користувачів або інших програмних систем.

Варіанти використання призначені в першу чергу для визначення функціональних вимог до системи, що, відповідно, впливає на керованість процесом розробки ПЗ. Все основні види діяльності (аналіз, проектування, тестування) виконуються на основі варіантів використання. На стадіях аналізу і проектування Use Case дозволяють зрозуміти, по-перше, вплив результатів, які бажає отримати замовник, на архітектуру системи і, по-друге, поведінку компонентів системи, що реалізують її функціональність.

Отже, діаграма варіантів використання з супутньою специфікацією цілком і повністю задовольняє потреби аналітиків проекту в оформленні технічної документації проекту і як додаток до технічного завдання (ТЗ) може використовуватись для опису вимог замовника на абстрактному рівні.

На етапі оформлення ТЗ аналітик проекту стикається з дилемою. З одного боку, технічна документація готується для замовника, який не володіє IT-термінами. З другого боку, ТЗ буде використовуватися розробниками (програмістами), для яких важливими є саме технологічні особливості проекту.

Для вирішення цієї проблеми пропонується ввести такі типи специфікації діаграми варіантів використання:

1 ТИП. Бізнес-сценарій. Не враховує технологічні аспекти. Описує бізнес-процеси, які будуть реалізовані в рамках програмного проекту.

2 ТИП. Системний сценарій. Характеризує функції програмної системи та визначає сервіси, що надаються системою користувачам.

3 ТИП. Сумісний сценарій. Має ознаки як бізнес-сценарію, так і системного. Описує реалізацію бізнес-процесів з використанням технічної термінології.

Приклад діаграми варіантів використання, яка розроблялася під сумісний тип сценарію, наведено на рисунку 1.

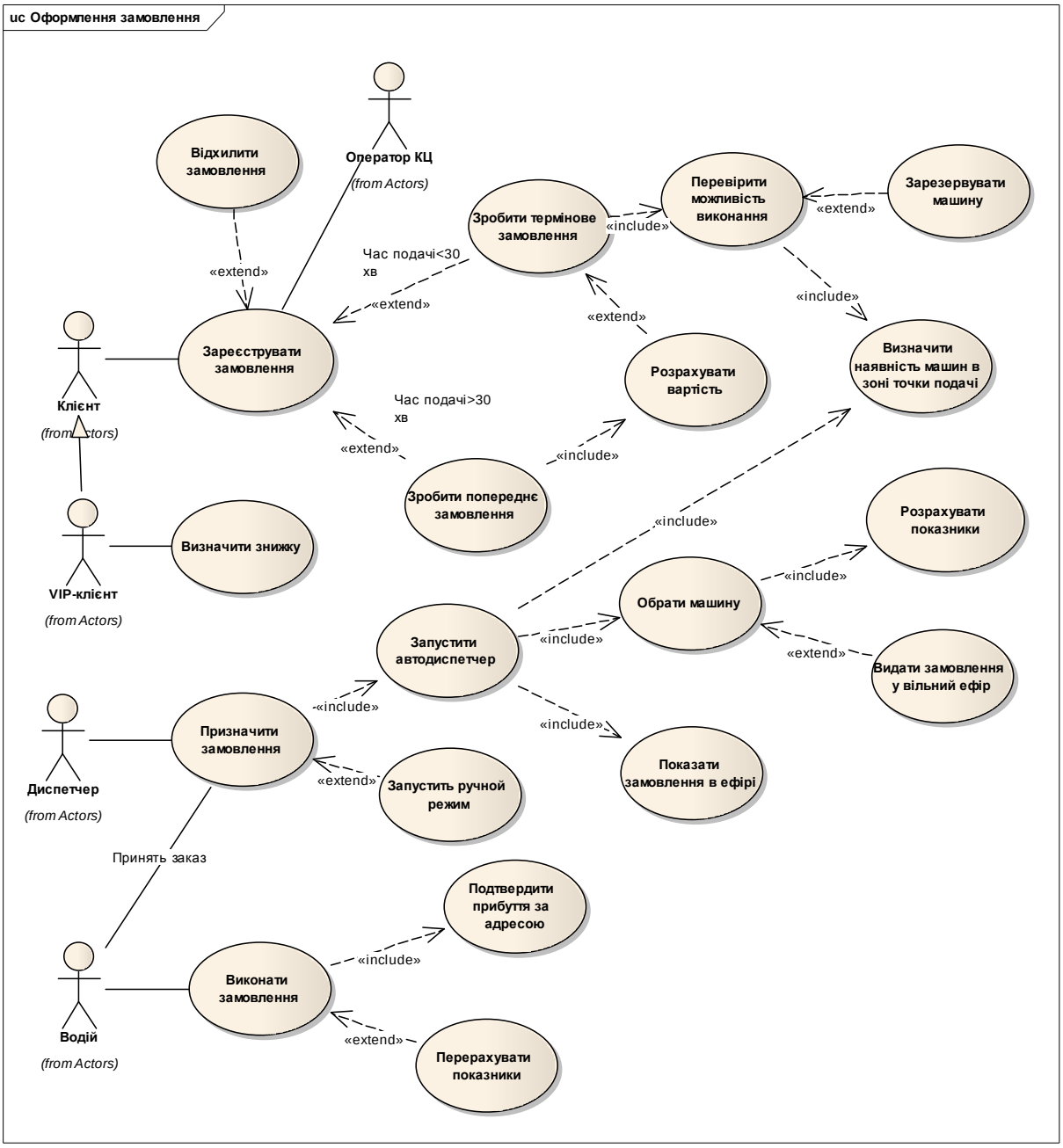


Рис. 1. Приклад діаграми варіантів використання для опису процесу оформлення замовлення в Диспетчерські службі таксі

Таблиця 1 та таблиця 2 містять зразок специфікації сумісного типу для діаграми варіантів використання, наведеної на рисунку 1.

Таблиця 1 описує акторів, що взаємодіють із системою, та їх функціональні обов'язки, враховуючи місце, яке актори займають у бізнес-процесах організації-замовника. В таблиці 2 наводиться приклад опису програмних сервісів, зроблений звичайною мовою, але з урахуванням алгоритміки їх реалізації.

Таблиця 1

Приклад специфікації акторів

Актор	**Опис**
Оператор КЦ	Працюють з клієнтською частиною Диспетчерської служби (ДС). Приймає замовлення по телефону від клієнта. Вносить інформацію про замовлення у форму реєстрації
Клієнт	Клієнт Диспетчерської служби. Є споживачем послуг, які надаються Диспетчерською службою
VIP-клієнт	Має всі права клієнта. Є або постійним клієнтом, або власником дисконтної картки, яка надає право на знижку під час оплати послуг
Диспетчер	Контролює роботу Диспетчерської служби. Керує розподілом замовлень, контролює виконання замовлень
Водії	Особи, які виконують замовлення, прийняті від клієнтів

Таблиця 2

Приклад специфікації варіантів використання

Варіант використання	**Опис**	**Примітка**
1	2	3
Зареєструвати замовлення	До сервісу мають доступ Клієнт та Оператору КЦ. Процес реєстрації починається з отримання вхідного виклику від клієнта. ДС визначає приналежність номера клієнта до списку VIP-клієнтів або до “Чорного” списку. Якщо номер у “Чорному” списку, виклик відхиляється до з’єднання з оператором	**1 Точка розширення** *(за умови, якщо час виклику менше 30 хв):* Зробити термінове замовлення. **2 Точка розширення** *(за умови, якщо час виклику більше 30 хв):* Зробити попереднє замовлення. **3 Точка розширення** *(умови див. в описі):* Відхилити замовлення
Зробити термінове замовлення	Сервіс запускається автоматично після введення часу подачі машини в разі, якщо час подачі менше 30 хв. Клієнт повідомляє адресу подачі, після чого запускається сервіс «Перевірити можливість виконання». За умови отримання позитивної відповіді, Оператор повідомляє клієнта про можливість виконання замовлення і вводить інші параметри замовлення: - (перелік параметрів). Після введення даних запускається сервіс «Розрахувати вартість». Оператор повідомляє вартість проїзду з урахуванням встановленої знижки. Якщо клієнт згоден – замовлення передається на оформлення. Якщо клієнт не згоден – запускається сервіс «Відхилити замовлення»	**Точка включення:** Перевірити можливість виконання. **Точка розширення** *(за умови введення всіх необхідних даних):* Розрахувати вартість
Зробити попереднє замовлення	Сервіс запускається автоматично після введення часу подачі машини у випадку, якщо час подачі більше 30 хвилин. Оператор вносить параметри замовлення: - (перелік параметрів). Після введення даних запускається сервіс «Розрахувати вартість». Оператор повідомляє вартість проїзду з урахуванням встановленої знижки	**Точка включення:** Розрахувати вартість

Продовження табл. 2

1	2	3
Відхилити замовлення	Скасування на етапі реєстрації допускається лише у випадках: 1) немає машин в зоні адреси подачі та клієнт не може довго чекати; 2) клієнта не влаштовує рівень послуг, вартість або час подачі і він сам скасовує замовлення. Встановлюється статус замовлення <CANCEL>, причина «Відмова клієнта»	
Перевірити можливість виконання	Визначаємо наявність машин у зоні подачі. Якщо в зоні є хоча б один позивний, оператор пропонує клієнтові час подачі, розрахований системою. Якщо клієнт згоден на запропонований час, резервуємо машину Якщо в зоні позивних немає, оператор отримає повідомлення «МАШИН У ЗОНІ НЕМАЄ» і повідомляє клієнтові про неможливість подати машину протягом найближчого часу	
Розрахувати вартість	Для розрахунку вартості замовлення визначається відстань між точкою місцезнаходження автомобіля, точкою подачі, проміжними пунктами, точкою призначення. Прокладається оптимальний маршрут руху машини по карті. Визначається його довжина в км. Після отримання довжини маршруту визначаємо його вартість за відповідним тарифом. Облік дисконтної картки: отриману суму зменшуємо на знижку. Оператор бачить розраховану вартість замовлення і повідомляє її клієнтові	
Підтвердити прибуття за адресою	...	
...	...	...

Відмінність наведеної специфікації сумісного типу від інших полягає в тому, що сценарій кожного варіанта використання являє собою запис алгоритму реалізації програмного сервісу системи, виконаний звичайною мовою. Такий підхід дозволяє підвищити ступінь розуміння технічної документації з боку замовника, що, відповідно, дозволяє залучити його безпосередньо до роботи над проектом навіть на стадії розробки програмного коду.

Тісна співпраця дає можливість оперативно реагувати на зауваження з боку замовника та вносити відповідні зміни до програмного коду.

Інший аспект, який є ще однією перевагою сумісного типу специфікації, полягає у використанні його для аналізу та ідентифікації ризиків, пов'язаних з вимогами до програмного проекту [3]. Запис сценаріїв звичайною мовою дозволяє залучити більш широке коло експертів, включаючи фахівців з інформаційних технологій та фахівців у конкретній предметній галузі. Це, по-перше, дозволить отримати більш точну оцінку можливих ризиків. По-друге, участь фахівців з інформаційних технологій дозволить оцінити складність розробки програмних сервісів та ще на ранніх стадіях розроблення внести необхідні зміни в проект.

Такий підхід позитивно впливає на загальні ризики виконання програмного проекту, зменшуючи їх.

Ще однією перевагою такого типу специфікації є пом'якшений перехід до формалізації проектної документації, яка оформлюється у вигляді діаграм UML. Приклад наведено на рисунку 2.

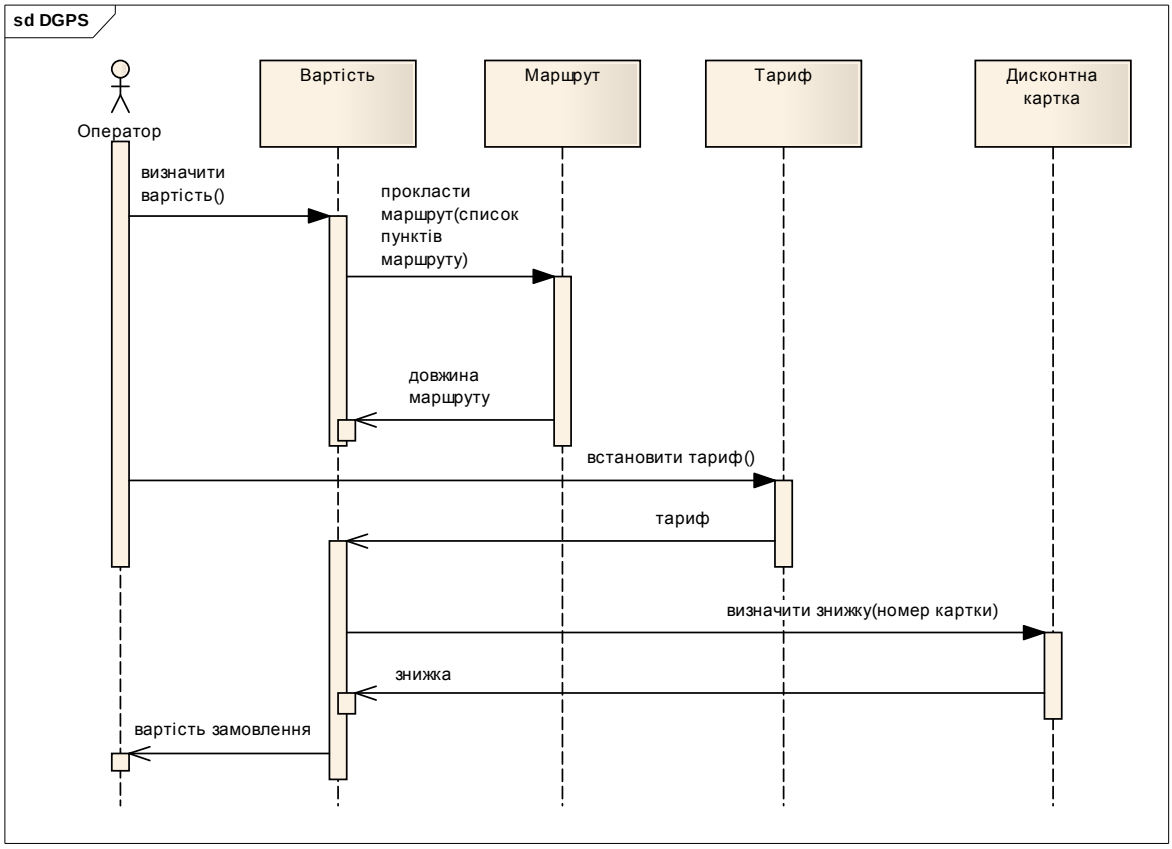


Рис. 2. Приклад діаграми діяльності, яка реалізує сценарій "Розрахувати вартість"

Діаграма діяльності в цьому випадку містить інформацію, яка використовується для розроблення діаграми класів програмної системи та може бути безпосередньо передана розробнику як завдання на виконання.

Висновки і пропозиції. На основі проведеного аналізу застосування методики управління розробкою складних програмних систем пропонується використовувати новий підхід до формалізації проектної документації, що базується на застосуванні суміс-ного типу оформлення специфікації діаграми варіантів використання, що дозволяє:

– підвищити керованість розробкою програмної системи;

– зменшити загальні ризики виконання програмного проекту.

Список використаних джерел

1. Project Management Body of Knowledge (PMBOK), PMI Standard Committee / William R. Duncan, Director of Standards. – USA, 1996.

2. Акименко А. М. Використання UML під час проектування складних програмних систем / А. М. Акименко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки": наук. зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – № 49. – С. 164-170.

3. Акименко А. М. Ідентифікація ризиків програмного проекту / А. М. Акименко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки": наук. зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – № 53. – С. 170-176.

УДК 621.391

С.В. Зайцев, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

В.В. Приступа, аспірант
Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

А.В. Яриловець, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ OFDM З ВНУТРІБІТОВОЮ ПСЕВДОВИПАДКОВОЮ ПЕРЕБУДОВОЮ ПІДНЕСУЧИХ ЧАСТОТ В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД

У роботі запропонована інформаційна технологія побудови системи OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот в умовах впливу навмисних завад. Використання розробленої інформаційної технології на практиці дозволить підвищити енергетичну і частотну ефективність діючих радіозасобів в умовах активної радіоелектронної протидії.

Ключові слова: *ортогонально-частотне мультиплексування, навмисні завади.*

В работе предложена информационная технология построения системы OFDM с внутрибитовой псевдослучайной перестройкой поднесущих частот в условиях воздействия преднамеренных помех. Использование разработанной информационной технологии на практике позволит повысить энергетическую и частотная эффективность действующих радиосредств в условиях активного радиоэлектронного противодействия.

Ключевые слова: *ортогонально-частотное мультиплексирование, преднамеренные помехи.*

The paper presents the information technology of building a system with OFDM subcarriers vnutribitovoy pseudorandom rearrangement frequency in conditions of jamming. The use of the information technology practice will improve energy efficiency and frequency of radio operating in conditions of active electronic countermeasures.

Key words: *OFDM, Jammers.*

Вступ. У сфері сучасних систем відомчого радіозв'язку особливу увагу приділяють програмованим радіостанціям (SDR-software defined radio), принцип побудови яких заснований на апаратно-програмній реалізації [1]. Програмовані радіостанції (ПРС) наступних поколінь будуть застосовувати декілька режимів роботи: КХ/УКХ радіостанціями та мобільними радіозасобами покоління 3G та 4G. Одним із режимів є робота в умовах впливу навмисних завад, тобто завад, які створюються станціями радіоелектронної протидії.

У випадку, коли перед дослідниками та розробниками систем радіозв'язку (СРЗ) постає проблема забезпечення надійного зв'язку в умовах навмисних та ненавмисних завад, багатопроменевого розповсюдження радіохвиль, а також здійснення багатостанційного доступу під час роботи в пакетних мережах радіозв'язку, найкращі результати можуть бути отримані при використанні в СРЗ сигналів з розширенням спектра [2; 3]. Розширення спектра сигналу є способом передачі, при якому сигнал займає полосу частот більш широку в порівнянні з полосою, мінімально необхідною для передачі інформації; для наступного стиснення полоси частот сигналу і відновлення даних у приймальному пристрої також використовується спеціальний код, аналогічний коду в передатчику СРЗ та синхронізований з ним.

Основними методами розширення спектра сигналів, які широко застосовуються в сучасних СЗР, системах управління та розподілу інформації, є:

- метод безпосередньої модуляції несучої псевдовипадковою послідовністю (ПВП);
- метод псевдовипадкової перебудови робочої частоти (ППРЧ).

При першому методі розширення спектра сигналу досягається за рахунок безпосередньої модуляції несучої частоти ПВП $p(t)$, елементи якої генеруються зі швидкістю R_p, значно перевищуючої швидкість передачі R_b елементів інформаційної послідовності $m(t)$, а потім накладаються на кожен інформаційний символ.

При методі ППРЧ розширення спектра забезпечується стрибкоподібною зміною несучої частоти у виділеному для роботи СЗР діапазоні W_s.

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасні засоби радіозв'язку, які використовують технології розширення спектра сигналів і які функціонують в умовах впливу навмисних завад, мають порівняно низьку спектральну та енергетичну ефективність [2; 3].

Формулювання цілей статті. *Метою* роботи є розроблення інформаційної технології побудови системи OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот (ПППЧ), яка функціонуватиме в умовах впливу навмисних завад.

Виклад основного матеріалу статті. Для подавлення ПРС з розширенням спектра сигналу постановником завад можуть застосовуватися різні види навмисних завад, які за певних умов здатні ефективно впливати на характеристики завадозахищеності ПРС [2].

Основними видами завад, які найбільш часто реалізуються в системах постановки навмисних завад, є: шумова загороджувальна завада, шумова завада в частині смуги, полігармонійна завада та завада у відповідь [2].

Шумова загороджувальна завада являє собою білий гауссівський шум зі спектральною щільністю потужності G_j [2]:

$$G_j = \frac{P_j}{\Delta F_S}, \tag{1}$$

де ΔF_S – полоса частот, яку займає сигнал, P_j – потужність завади.

Шумова загороджувальна завада перекриває частотний діапазон ПРС та в стані значно збільшити ймовірність бітової помилки при будь-яких способах перебудови частоти.

Для створення шумової завади в частині смуги її потужність повинна бути використана постановником завад більш ефективно за рахунок зосередження її в обмеженій смузі частот (рис. 1).

Спектральна щільність потужності цієї завади має такий вигляд [2]:

$$G_j = \begin{cases} \dfrac{P_j}{\gamma F_S} & \text{в полосі} \quad \gamma F_S \\ 0 & \text{в полосі} \quad (1\text{-}\gamma)\Delta F_S \end{cases}, \tag{2}$$

де γ – коефіцієнт, який характеризує частину смуги частот, зайнятої завадою, $0 \le \gamma \le 1$.

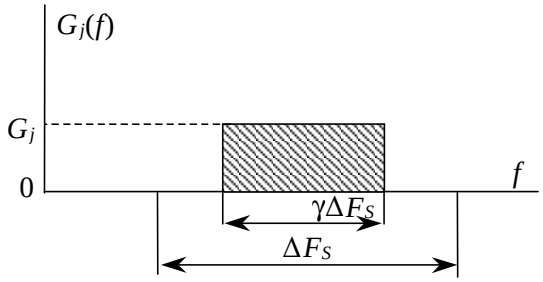


Рис. 1. Шумова завада в частині смуги

Полігармонійна завада являє собою набір із l немодульованих гармонійних коливань рівної потужності, розподілених за діапазоном частот ΔF_S відповідно до заданої постановником завад стратегії (рис. 2) [2],

$$J(t) = \sum_{i=1}^{l} \sqrt{\frac{2P_{j\text{ОБЩ}}}{l}} \cos\left(\omega_{ij} t + \phi_{ij}\right). \tag{3}$$

У випадку застосування навмисної завади у відповідь потужність передавача концентрується лише в полосі частот каналу ПРС і тільки в час її роботи.

Вплив завади у відповідь на сигнал, що передається, на інтервалі тривалості T_s показано на рисунку 3, де γ – коефіцієнт перекриття, який характеризує частину частотного елемента (стрибка) частоти, ураженого завадою, $0 \le \gamma \le 1$, E_s – енергія сигналу [2].

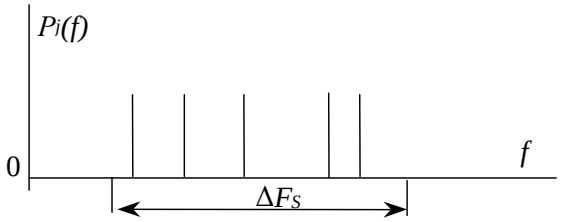


Рис. 2. Полігармонійна завада

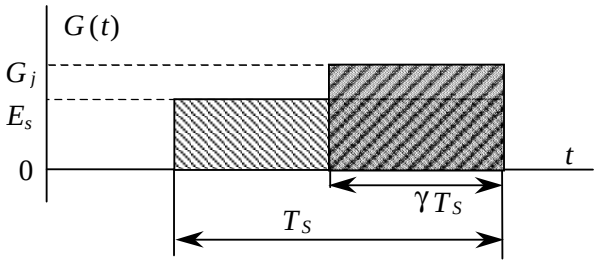


Рис. 3. Завада у відповідь

Спектральна щільність потужності цієї завади має вигляд:

$$G_j = P_j. \tag{4}$$

Система OFDM з внутрібітовою ПППЧ складається з передавальної та приймальної частин. Передавальна та приймальна частини мають у своєму складі такі елементи: кодер (декодер) прямого розширення спектра за допомогою кодів Уолша (розширення/звуження Уолша), модулятор (демодулятор) OFDM з ПППЧ, формувачі псевдовипадкових послідовностей. За допомогою кодів Уолша та модулятора сигналу OFDM з ПППЧ формується саме система OFDM з внутрібітовою ПППЧ.

На рисунках 4, 5 показана спрощена структурна схема архітектури передачі та прийому системи OFDM з внутрібітовою ПППЧ.

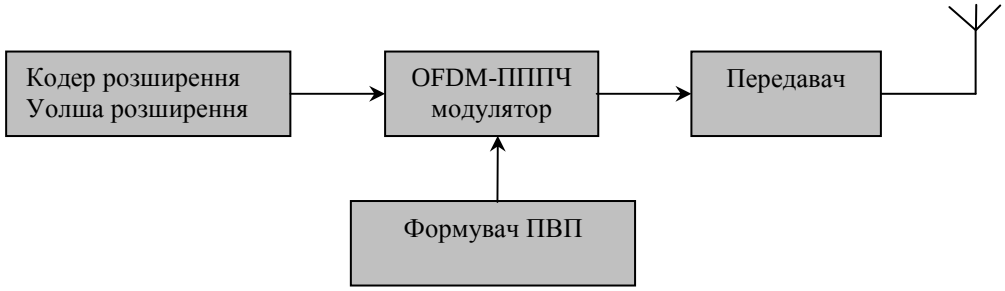


Рис. 4. Структурна схема архітектури передачі системи OFDM з внутрібітовою ПППЧ

Основна ідея методу OFDM полягає в тому, що смуга пропускання каналу розбивається на групу вузьких смуг (субканалів), кожна зі своєю піднесучою. На всіх піднесучих сигнал передається одночасно, що дозволяє забезпечити велику швидкість передачі інформації при невеликій швидкості передачі в кожному окремому субканалі [4]. Сигнал OFDM складається із N ортогональних піднесучих, модульованих N паралельними потоками даних.

Формування підканалів з ортогональними піднесучими відбувається за допомогою процедури зворотного дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) [4]. На практиці процедури зворотного ДПФ (на передаючій стороні) та прямого ДПФ (на прийомній) реалі-

зуються за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) та виконуються процесором ШПФ [4; 5].

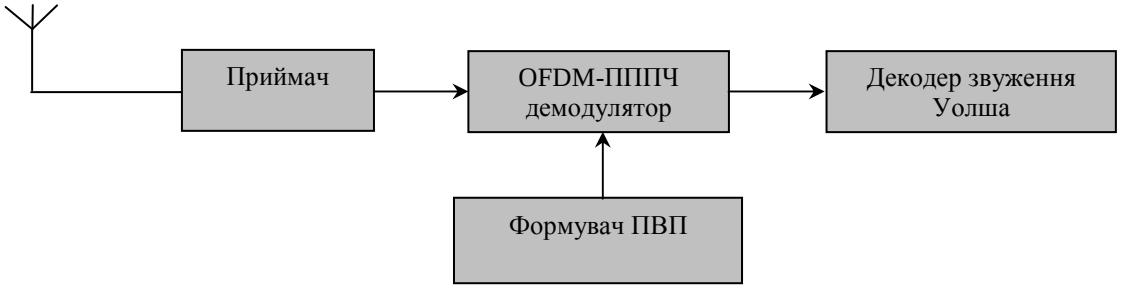


Рис. 5. Структурна схема архітектури прийому системи OFDM з внутрібітовою ППЧ

Структурна схема модулятора сигналу OFDM, каналу з адитивним білим гауссівським шумом і навмисними завадами, та демодулятора сигналу OFDM показана на рисунку 6.

Таким чином, функції OFDM-модулятора зводяться до формування складового неперервного сигналу, який містить N піднесучих, більша частина з яких модульовані інформаційними символами на інтервалі T_S [4]:

$$s(t)=\sum_{k=0}^{N-1} X\left(k\right)e^{j2\pi k\Delta ft}, \tag{5}$$

де N – кількість піднесучих, $X\left(k\right)$ – комплексний модулюючий символ (ФМ-M або КАМ-M), який передається на k-й піднесучій $e^{j2\pi k\Delta ft}$, $\Delta f=1/T_s$ – частота слідування символів, T_s – тривалість символу.

Реалізація функцій OFDM-модулятора на базі цифрового процесора ШПФ передбачає перехід від безперервного часу до дискретного ($t = nT$), при цьому вираз (5), з урахуванням періоду дискретизації $T=T_S/N$, набуде вигляду [4]:

$$s(\frac{n}{N}T_s)=\sum_{k=0}^{N-1} X\left(k\right)e^{j2\pi k\frac{n}{N}},\ n=\overline{0,N-1}. \tag{6}$$

Можна представити $s\left(\frac{n}{N}T_s\right)$, як залежність від n, $s(n)$, і тоді (6) буде мати вигляд:

$$s\left(n\right)=W^{-1}X\left(k\right),\ k,n=\overline{0,(N-1)}, \tag{7}$$

де W – це матриця розміру $N\times N$ дискретного перетворення Фур'є з елементами:

$$\left[W\right]_{k,n}=e^{-j2\pi kn/N},\ k,n=\overline{0,(N-1)},$$

$$W=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & e^{-j2\pi/N} & e^{-j4\pi/N} & \cdots & e^{-j2\pi(N-1)/N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & e^{-j2\pi(N-2)/N} & e^{-j4\pi(N-2)/N} & \cdots & e^{-j2\pi(N-1)(N-2)/N} \\ 1 & e^{-j2\pi(N-1)/N} & e^{-j4\pi(N-1)/N} & \cdots & e^{-j2\pi(N-1)(N-1)/N} \end{bmatrix}.$$

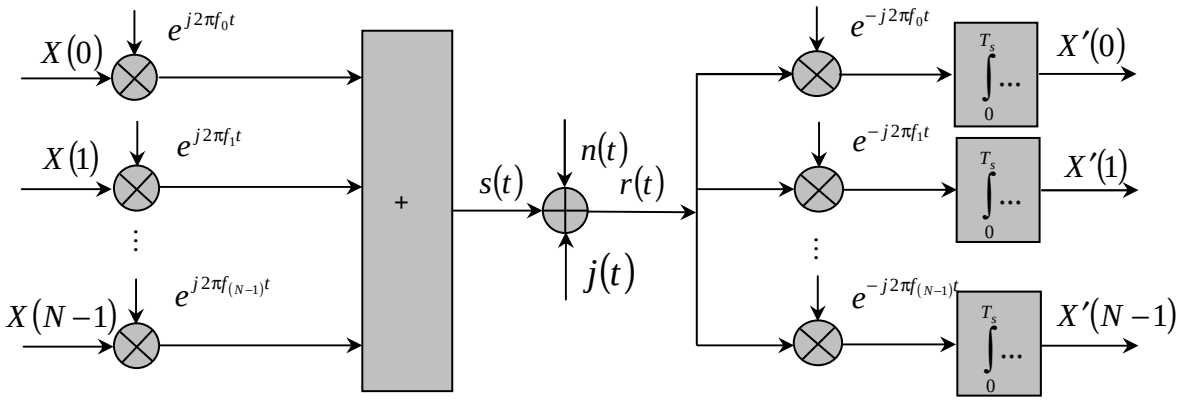


Рис. 6. Структурна схема моделі модулятора сигналу OFDM, каналу з АБГШ і намисними завадами, та демодулятора сигналу OFDM

На приймальній стороні відбуваються такі перетворення:

$$X'(n)=\frac{1}{T_s}\int_0^{T_s}\left[s(t)+n(t)\right]e^{-j2\pi n\Delta ft}dt,\ n=\overline{0,N-1}.$$

Якщо перестроювати піднесучі частоти сигналу OFDM за псевдовипадковим законом, отримаємо систему OFDM-ППРЧ. На рисунку 7 показано принцип формування сигналу OFDM з ППРЧ для випадку чотирьох піднесучих.

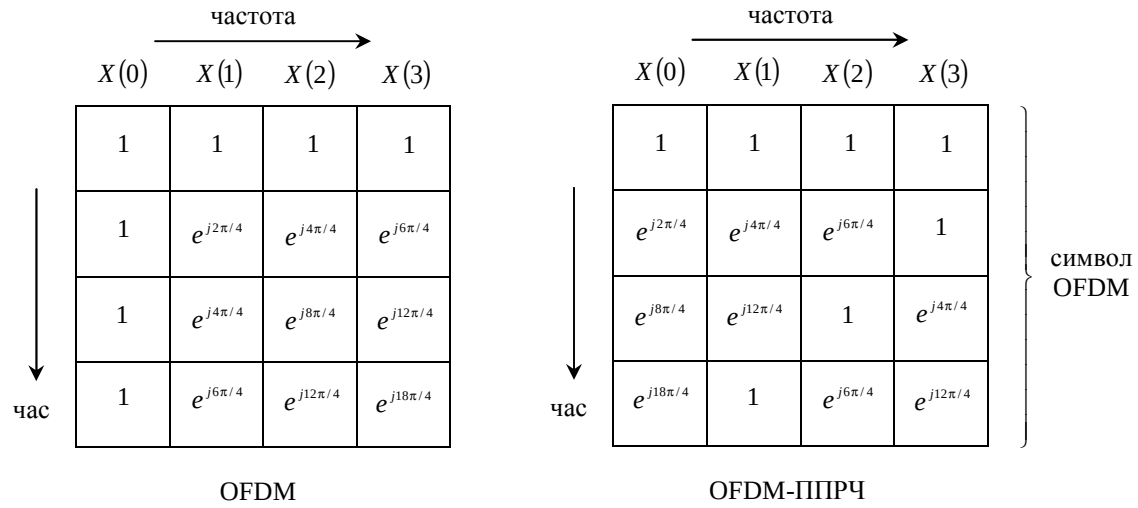


Рис. 7. Принцип формування сигналу OFDM з ППРЧ

У звичайній схемі OFDM піднесучі використовуються для передачі комплексного модульованого символу детерміновано протягом тривалості символу OFDM. Тобто *k*-й комплексний модульований символ $X(k)$ передається на *k*-й піднесучій протягом чотирьох часових вибірок. У системі OFDM-ППРЧ *k*-й комплексний модульований символ $X(k)$ передається на піднесучій $\mathrm{mod}[k+n,(N-1)]$ на *n*-й часовій вибірці.

Для системи OFDM-ППРЧ матрицю зворотного перетворення Фур'є $\left[W_F^{-1}\right]_{k,n}$ можна представити виразом:

$$\left[W_F^{-1}\right]_{k,n}=e^{j2\pi n[\Xi]_{k,n}/N},\ k,n=\overline{0,(N-1)}.$$

Матриця $\left[W_F^{-1}\right]_{k,n}$ дозволяє здійснити розширення спектра сигналу методом псевдо-випадкової перебудови піднесучої частоти сигналу OFDM. У виразі (4) матриця $\left[\Xi\right]_{k,n}$ формує модель стрибків піднесучих частот.

У звичайній схемі OFDM матриця $\left[\Xi\right]_{k,n}$ буде мати такий вигляд:

$$\left[\Xi\right]_{k,n}=\begin{bmatrix}0 & 1 & \dots & (N-1)\\ 0 & 1 & \dots & (N-1)\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ 0 & 1 & \dots & (N-1)\end{bmatrix}. \tag{8}$$

У цьому випадку $\left[W_F^{-1}\right]_{k,n}=\left[W^{-1}\right]_{k,n}$:

$$W_F^{-1}=W^{-1}=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & \cdots & 1\\ 1 & e^{j2\pi/N} & e^{j4\pi/N} & \cdots & e^{j2\pi(N-1)/N}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ 1 & e^{j2\pi(N-2)/N} & e^{j4\pi(N-2)/N} & \cdots & e^{j2\pi(N-1)(N-2)/N}\\ 1 & e^{j2\pi(N-1)/N} & e^{j4\pi(N-1)/N} & \cdots & e^{j2\pi(N-1)(N-1)/N}\end{bmatrix}.$$

Матриця $\left[\Xi\right]_{k,n}$ отримується таким виразом:

$$\left[\Xi\right]_{k,n}=\mathrm{mod}\left[\left(f_n+k\right),\left(N-1\right)\right]=\begin{bmatrix}0 & 1 & \dots & (N-1)\\ 1 & 2 & \dots & 0\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ (N-1) & 0 & \dots & (N-2)\end{bmatrix}. \tag{9}$$

Використовуючи вираз (8), матриця $\left[W_F^{-1}\right]_{k,n}$ буде мати такий вигляд:

$$W_F^{-1}=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & \cdots & 1\\ e^{j2\pi/N} & e^{j4\pi/N} & e^{j6\pi/N} & \cdots & 1\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ e^{j2\pi(N-2)(N-2)/N} & e^{j2\pi(N-2)(N-1)/N} & 1 & \cdots & e^{j2\pi(N-2)(N-3)/N}\\ e^{j2\pi(N-1)(N-1)/N} & 1 & e^{j2\pi(N-1)/N} & \cdots & e^{j2\pi(N-1)(N-2)/N}\end{bmatrix}.$$

Часова вибірка сигналу OFDM з ППШЧ буде мати такий вигляд:

$$s(n)=W_F^{-1}X(k)$$

Або для $k,n=\overline{0,(N-1)}$:

$$\begin{bmatrix} s(0) \\ s(1) \\ \vdots \\ s(N-1) \end{bmatrix} = W_F^{-1} \times \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ \vdots \\ X(N-1) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ e^{j2\pi/N} & e^{j4\pi/N} & e^{j6\pi/N} & \cdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e^{j2\pi(N-2)(N-2)/N} & e^{j2\pi(N-2)(N-1)/N} & 1 & \cdots & e^{j2\pi(N-2)(N-3)/N} \\ e^{j2\pi(N-1)(N-1)/N} & 1 & e^{j2\pi(N-1)/N} & \cdots & e^{j2\pi(N-1)(N-2)/N} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ \vdots \\ X(N-1) \end{bmatrix}. \quad (10)$$

На прийомній стороні необхідно виконати зворотні операції вищеописаним алгоритмом.

Формування сигналу OFDM з внутрібітовою ПППЧ відбувається за допомогою розширення Уолша.

Нехай $x = [x(0), x(1), \ldots, x(N-1)]^T$ – N комплексних модульованих символів, які передаються. Тоді сигнал $[X(k), k = 0, 1, \ldots, N]$, який передається на k-й піднесучій та утворений за допомогою кодів Уолша, буде мати такий вигляд:

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ \vdots \\ X(N-1) \end{bmatrix} = R_N \times \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}, \quad (11)$$

де R_N – це матриця Адамара розміром $N \times N$, яка має такий вигляд:

$$R_N = \begin{pmatrix} R_{N/2} & R_{N/2} \\ R_{N/2} & -R_{N/2} \end{pmatrix}.$$

Перші три матриці Адамара будуть мати вигляд:

$$R_1 = [1], \; R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \; R_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Кожен стовбець та кожний рядок матриці Адамара відповідають коду Уолша довжини N. Матриця Адамара – це ортогональна матриця, така, що:

$$R_N^{-1} \times R_N = I_N.$$

Кожний ряд ортогональний всім іншим рядам, кожний стовбець ортогональний всім іншим стовпцям.

Таким чином, сигнал OFDM з внутрішньою ПППЧ буде мати такий вигляд:

$$\begin{bmatrix} s(0) \\ s(1) \\ \vdots \\ s(N-1) \end{bmatrix} = W_F^{-1} \times \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ \vdots \\ X(N-1) \end{bmatrix} = W_F^{-1} \times R_N \times \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ e^{j2\pi/N} & e^{j4\pi/N} & e^{j6\pi/N} & \cdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e^{j2\pi(N-2)(N-2)/N} & e^{j2\pi(N-2)(N-1)/N} & 1 & \cdots & e^{j2\pi(N-2)(N-3)/N} \\ e^{j2\pi(N-1)(N-1)/N} & 1 & e^{j2\pi(N-1)/N} & \cdots & e^{j2\pi(N-1)(N-2)/N} \end{bmatrix} \times \tag{12}$$

$$\times \begin{bmatrix} R_{N/2} & R_{N/2} \\ R_{N/2} & -R_{N/2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}.$$

Станція навмисних завад випромінює завади у широкому частотному діапазоні. Діапазон частот сигналу, згідно з аналітичною залежністю (12), залежить від числа субканалів, а ті, в свою чергу, залежать від довжини коду Уолша *N*, а так як при практичній реалізації розширення Уолша немає необхідності у великих значеннях довжини коду *N*, то і діапазон частот OFDM сигналу, отриманого згідно з виразом (12), буде незначний. Для розширення діапазону частот сигналу необхідно збільшити число субканалів. Збільшити число субканалів сигналу можна, збільшивши кількість перетворень Уолша для різних реалізацій сигналів. Структурна схема, яка б реалізувала зазначений алгоритм, показана на рисунку 8. На рисунку 8 на розширювач Уолша 1 поступають побітно інформаційні біти $\{x_i^1\}$, $i = \overline{1, L}$, відповідно, на розширювач Уолша *M* – інформаційні біти $\{x_i^M\}$, $i = \overline{1, L}$. Розширювач Уолша 1 виконує перетворення:

$$\begin{bmatrix} x^1(0) \\ x^1(1) \\ \vdots \\ x^1(K-1) \end{bmatrix} = R_K \times \begin{bmatrix} x_0^1 \\ x_1^1 \\ \vdots \\ x_{(K-1)}^1 \end{bmatrix}.$$

Відповідно розширювач Уолша *M* виконує таке перетворення:

$$\begin{bmatrix} x^M(0) \\ x^M(1) \\ \vdots \\ x^M(K-1) \end{bmatrix} = R_K \times \begin{bmatrix} x_0^M \\ x_1^M \\ \vdots \\ x_{(K-1)}^M \end{bmatrix}.$$

Таким чином, формуються матриці $X_K^1 = \left[x^1(0), x^1(1), \ldots, x^1(K-1)\right]^T$, …, $X_K^M = \left[x^M(0), x^M(1), \ldots, x^M(K-1)\right]^T$. Формувач матриці X_N здійснює об'єднання матриць X_K^1, …, X_K^M в матрицю X_N: $X_N = \left[X_K^1, X_K^2, \ldots, X_K^M\right]^T$. Модуль зворотного ДПФ виконує операції згідно з вищеописаним алгоритмом за виразом (10).

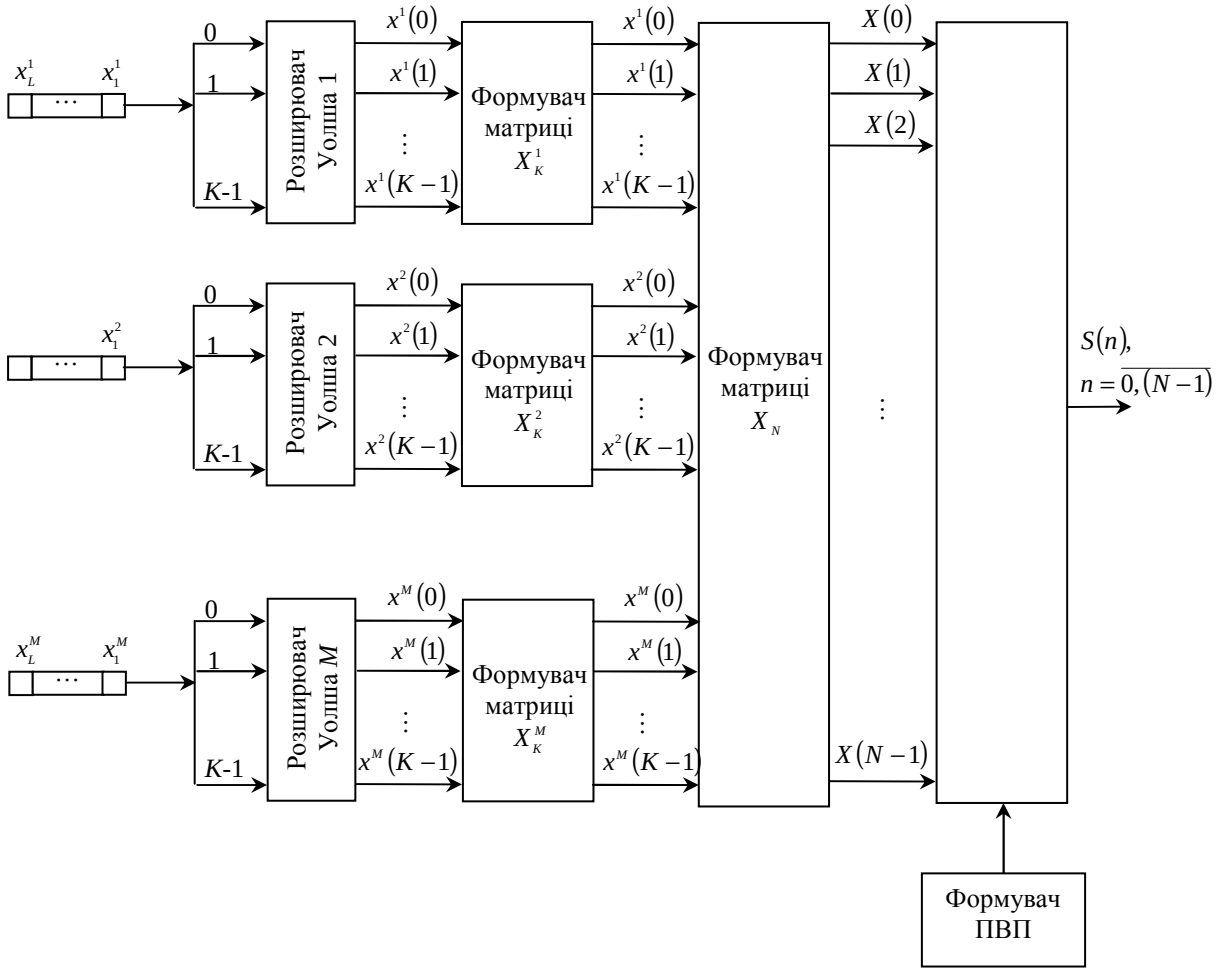


Рис. 8. Структурна схема системи OFDM з внутрібітовою ППППЧ

Розроблена в роботі інформаційна технологія побудови системи OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот дозволяє:

– здійснювати адаптивне формування матриці субканалів X_N шляхом відключення формувачів матриць X_K^1, …, X_K^M, тим самим звужуючи або розширюючи частотний діапазон сигналу OFDM (відповідно зменшуючи або збільшуючи кількість субканалів), що необхідно для підвищення енергетичної та частотної ефективності ПРС в умовах активної радіоелектронної протидії;

– формувати коди Уолша необхідної довжини;

– здійснювати більш ефективну оцінку каналу зв'язку шляхом розбиття інтервалу оцінювання на *M* інтервалів.

Висновки. Розроблено інформаційну технологію побудови системи OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот в умовах впливу навмисних завад.

Розроблена технологія дозволить підвищити енергетичну та частотну ефективності діючих радіозасобів в умовах активної радіоелектронної протидії.

Напрямком подальших досліджень вважаємо доцільним додати до розробленої схеми коригувальні коди Рида-Соломона або турбокоди, пристрій оцінювання каналу та пристрій адаптації.

Список використаних джерел

1. Зайцев С. В. Анализ принципов построения программируемых радиостанций / С. В. Зайцев, С. П. Ливенцев, А. И. Артюх // Зв'язок. – 2007. – № 5. – С. 46-54.
2. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / [В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев и др.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
3. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей певдослучайной последовательностью / [В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев и др.]. – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.
4. Khan F. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance / Khan F. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 509 p.
5. Cho Y. MIMO-OFDM Wireless Communications with Mathlab / Cho Y., Kim J., Yang W. [et al.]. – Singapore: John Wiley & Sons, 2010. – 457 p.

УДК 681.518:338.24

В.І. Зацерковний, канд. техн. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

ОЦІНКА ПРИРОСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС В УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

Розглянута модель оцінки приросту інформації, яку можна отримати в процесі впровадження ГІС в управління територіями.

Ключові слова: *модель оцінки приросту інформації, ентропійний підхід, управління територіями, геоінформаційні системи (ГІС).*

Рассмотрена модель оценки прироста информации, которую можно получить в процессе внедрения ГИС в управление территориями.

Ключевые слова: *модель оценки прироста информации, энтропийный подход, управление территориями, геоинформационные системы (ГИС).*

The model estimates growth of information that can be obtained in the implementation of GIS in the management of territories is considered.

Key words: *model of estimation of information gain, entropy approach, management territories, geographic information systems (GIS).*

Постановка проблеми. Одним з головних чинників, що забезпечує прийняття ефективних управлінських рішень у ринкових умовах, є своєчасна і достовірна інформація про стан і тенденції змін територіальних ресурсів, включаючи інформацію не тільки про поверхневий шар, а й про надра, водні і повітряні басейни, рослинний і тваринний світ, навколишнє середовище, склад, інтенсивність і продуктивність господарської діяльності, її економічні наслідки, структуру і стан суспільних відносин.

Оскільки практично вся інформація (80-90 %) про ресурси певного регіону має просторову прив'язку, то цілком очевидно, що базовою інформаційною технологією ефективного управління територіями повинна виступити геоінформаційна [1].

Підвищення ролі територіальних утворень, їх господарської самостійності і використання їх ресурсів висвітлило, перш за все, організаційну недосконаліть діючої системи управління. Тому розроблення і впровадження ефективних інформаційних технологій в управлінні територіями є актуальним завданням сьогодення.

Першочерговими завданнями в процесі впровадження цих технологій є створення геоінформаційного середовища з інтенсивним цільовим виробництвом інформації під потреби будь-якого користувача, її систематизації в територіальних банках даних на базі відпрацьованої цифрової картографічної моделі територіальних комплексів та оцінка ефективності впровадження ГІС в управління територіями.

Недостатнє дослідження цієї проблеми в умовах трансформації економіки, необхідність наукового обґрунтування методології та практики управління територіальним розвитком обумовили вибір теми дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвитку і становленню ГІС суспільство завдячує багатьом зарубіжним, радянським, пострадянським і вітчизняним ученим, серед яких Акофф Р.Л., Андерсон В.Н., Асланікашвілі О.Ф., Берлянт О.М., Бугаєвський Л.М., Бусигін Б.С., Бурачек В.Г., Бурштинська Х.В., Дж. Данджермонд, Дорожинський О.Л., Виноградов Б.В., Елті Дж., Железняк О.О. [1; 2], Іщук О.О., Калкінз Х., Капралов Є.Г., Карпинський Ю.О., Корольов Ю.К., Кошкарьов А.В., Кумбс М., Лур'є І.К., Лященко А.А., М. де Мерс, Мейсон Х., Могильний С.Г., Мокін В.Б., Морозов В.В., Оттенс Х.Ф., Перович Л.М., Преображенський В.С., Саймон Г., Світличний О.О., Серединін Є.С., Суховірський Б.І., Тікунов В.С., Томпліксон З.Ф., Торфер Ф., Трофимов А.М., Фішер Г.Т., Харвей Д., Урсул Л.Д., Швебс, Г.І., Шипулін В.Д., Шоломицький А.А., Цвєтков В.Я. та багато інших.

Теоретико-методичні основи застосування ГІС у галузі управління територіальними ресурсами приведені в роботах Довгого С.О., Кохан С.С., Лялька В.І., Шестопалова В.М., Якимчука М.А. та ін. Теоретичні засади та приклади імітаційного моделювання кризових ситуацій наведені в працях Готиняна В.С., Додонова О.Г., Железняка М.І., Красовського Г.Я., Попова О.М., Прохорова О.П., Трофимчука О.М. та інших.

Постановка завдання. Метою роботи є оцінка можливості впровадження геоінформаційних технологій у систему управління територіальними утвореннями й оцінка кількості інформації, яку можна отримати за рахунок впровадження ГІС у систему управління територіями.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктами дослідження ГІС у процесі управління територіями виступають реально існуючі об'єкти (процеси, явища, системи, поля тощо) певної території, а також взаємодії і зв'язки між ними, а також закономірності, притаманні певній множині (класу) досліджуваних об'єктів. Метою дослідження є одержання додаткової інформації про об'єкти [2].

Математичні моделі об'єктів територіального управління і відношення між ними, що використовуються в ГІС і які приведені в систему, утворюють тезаурус цієї системи, який являє собою множину математичних моделей, упорядкованих і класифікованих за певною системою ознак [3]. Тезаурус – це «запас» моделей, або які є у розпорядженні дослідника при цьому стані теоретичного обґрунтування ГІС, або обрані чи створені ним, виходячи з практичних міркувань, з урахуванням наявних обмежень процесу управління.

Отже, для підвищення ефективності управління територіями за допомогою ГІС необхідно розширити тезаурус цієї системи, що включає в себе моделі досліджуваних об'єктів, результатів вимірів, зовнішніх факторів впливу, вимірювальної системи і її підсистем, головними з яких є розроблення моделі оцінювання приросту інформації в процесі впровадження ГІС у процес управління територіями, розроблення моделі оцінювання приросту інформації при впровадженні ГІС у канал зворотного зв'язку, розроблення моделі інтеграції баз даних існуючих ІС в ГІС, розроблення моделі прийняття рішень за допомогою ГІС, розроблення моделі управління розвитком територіальних утворень за допомогою ГІС, розроблення моделі оцінки впливу людино-машинних помилок на процес управління територіями.

Аналізуючи практику вирішення завдань управління територіями за допомогою ГІС, не можна не звернути уваги на неформальність постановки більшості задач [2]. Експерт-аналітик, що працює з даними інформаційного середовища певної території, маючи просторові й атрибутивні дані, звертається до карт і схем певної території, маючи найчастіше лише інтуїтивне уявлення про план наступних дій. Це зумовлюється як

нестачею вихідних даних, так і розмаїттям реальних ситуацій, що складаються. Тому в умовах складної формалізації завдань управління територіями роль ГІС зводиться не до видачі готових рішень, а наданні програмного інструментарію для формування рішень.

Процес управління певною територією зазвичай розтягнутий у часі і може вестися або безперервно, або дискретно з певною частотою $1/T_n$, яка обирається з умови достатності часу для зменшення невизначеності до заданого рівня при певній інтенсивності моніторингу й управління. Його можна розглядати як процес виконання ГІС за певним алгоритмом деяких складних k іспитів (випробувань, досліджень) $G_{ij}(i=1,2, ..., k)$ $(j=1,2. ...,l)$, що не перевершують l іспитів. У процесі здійснення цих іспитів частина невизначеності (ентропія) замінюється інформацією, тобто процес управління територіальним утворенням зводиться до одночасного паралельного, або зсунутого у часі, переведенню багатомірного вектора $X(x_i,t,\tau)$ в багатомірний вектор $Y(y_i,t,\tau)$ $X \rightarrow Y$ (рис. 1).

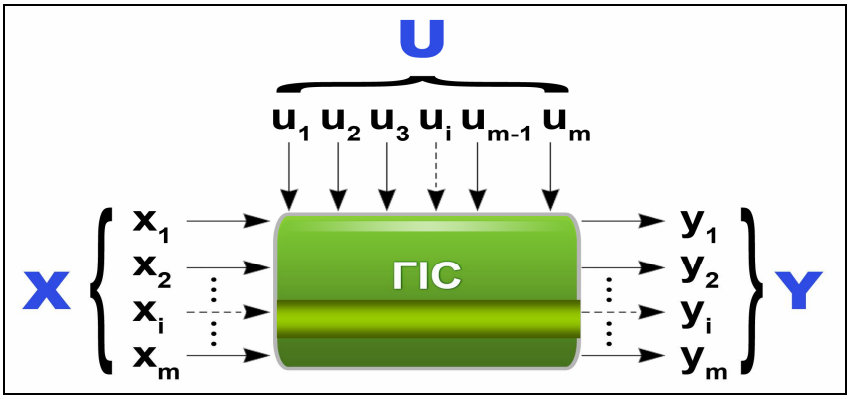


Рис. 1. Вхідні і вихідні сигнали ГІС в управлінні територіями

Незважаючи на наявність у такій системі не тільки фізичних, але й інформаційних, економічних та інших процесів, обмежимося розглядом тільки інформаційних взаємодій. Властивості такої системи передбачають наявність у ній елементів і зв'язків різної природи. Відслідковуючи ці зв'язки, можна побачити результат взаємодії не тільки елементів, але й усієї системи в цілому.

У процесі функціонування ГІС до неї надходить інформація про стан досліджуваних об'єктів, фіксуючи тим самим певні властивості зовнішніх і внутрішніх процесів та явищ, що відбуваються на певній території і впливають на них. У зв'язку з цим, актуальним завданням є створення моделі оцінювання приросту інформації, яку можна очікувати від впровадження ГІС у процес управління територіями. Володіючи можливістю фіксації зміни станів об'єктів територіального утворення, вплив на нього інших систем і природних чинників, ГІС аналізує ці зміни й інтерпретує їх, надаючи тим самим додаткову інформацію в канал управління, тобто переводить об'єкт управління територіями в новий апостеріорний стан, який визначається вектором $Y(t,\tau)$.

Доцільно розглянути підходи щодо оцінки її приросту. Відомо декілька способів визначення її кількості: ентропійний; алгоритмічний; комбінаторний; семантичний і прагматичний [4]. Перший підхід одержав застосування в задачах кількісного визначення складності системи і рівня зовнішніх впливів, другий і третій – для опису (відтворення) об'єкта, четвертий – для опису змістовної частки повідомлення, що передається її отримувачу, п'ятий – акцентує увагу на корисності інформації, що передається.

Найбільш доцільним для оцінювання приросту інформації, що можна отримати за допомогою впровадження ГІС в управлінні територіями, є ентропійний підхід. Ентропія має переваги перед імовірнісною оцінкою приросту кількості інформації, оскільки не пов'язана зі статистичними законами розподілу випадкових величин. За величиною

ентропії можна судити про рівні надійності каналів ГІС і виборі оптимального, з точки зору надійності. Кількість інформації, що отримується в процесі управління територіями, дорівнює зміні ентропії:

$$I_{G_{ij}}(X,t,\tau) = H_0(X,t,\tau) - H_{G_{ij}}(X,t,\tau),$$

де $H_{G_{ij}}(X,t,\tau) = p_{G_{ij}} H_{G_{ij}}(X,t,\tau) + ... + p_{G_{il}} H_{G_{il}}(X,t,\tau)$ – умовна ентропія стану об'єкта управління при здійсненні складного іспиту (дослідження) G_{ij}, що складається з l підіспитів; $p_{G_{ij}}$ – імовірність результату іспиту G_{ij}.

Найбільш цікавими для практики є випадки, коли має місце точне, але з запізнюванням на $\tau_з$ відтворення стаціонарного випадкового процесу [5]: $Y(y_i,t,\tau) = X(x_i,t-\tau_3,\tau)$, або коли вихідний процес відтворюється без запізнювання, але діє вектор збурень U (рис.1), який не залежить від вхідного процесу:

$$Y(y_i,t,\tau) = X(x_i,t-\tau_3,\tau) + U(u_j,t,\tau),$$

де $j= 1, 2,.. m$.

При цьому передбачається, що вектор $X(t,\tau)$ характеризує апріорний стан об'єкта без урахування раптових відмов (надзвичайних або аварійних) ситуацій.

Середню кількість інформації, отримувану при переведенні вектора $X(t,\tau)$, можна визначити за формулою [6]:

$$I(X \to Y,t,\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} ... \int f(X,Y,t,\tau) \log_2 \frac{f(X,Y,t,\tau)}{f(X,t,\tau) f(Y,t,\tau)} dXdY, \quad (1)$$

де $f(X,Y,t,\tau)$ – загальний диференціальний закон розподілу векторів X і Y;

$f(X,t,\tau)$ – диференціальний закон розподілу вектора X;

$f(Y,t,\tau)$ – диференціальний закон розподілу вектора Y.

Виконавши певні перетворення, формулу (1) представимо у вигляді:

$$I(X \to Y,t,\tau) = H(X,t,\tau) - m_Y[H_Y(X,t,\tau)],$$

або

$$I(X \to Y,t,\tau) = H(Y,t,\tau) - m_X[H_X(Y,t,\tau)],$$

де $H(X,t,\tau) = -\int_{-\infty}^{\infty} ... \int f(X,t,\tau) \log_2 f(X,t,\tau) dx$ – апріорна ентропія вектора X;

$m_Y[H_Y(X,t,\tau)] = -\int_{-\infty}^{\infty} ... \int f(X,t,\tau,Y) \log_2 f(X,Y,t,\tau) dXDY$ – усереднене за вихідними параметрами значення ентропії після одержання сигналів на виході;

$f_Y(X,t,\tau)$ – умовний диференціальний закон розподілу вектора X при одержанні вектора Y.

При цьому отримуємо [3]:

$$f_Y(X,t,\tau) = \frac{f(X,Y,t,\tau)}{f(Y,t,\tau)}.$$

При нормальному законі розподілу випадкових векторів на вході і виході ГІС у процесі управління територіями маємо:

$$f(X,t,\tau)=\frac{1}{\sigma_X\sqrt{2\pi}}\exp\left\{\frac{(X-m_X)^2}{2\sigma_X^2}\right\}; \quad (2)$$

$$f(Y,t,\tau)=\frac{1}{\sigma_Y\sqrt{2\pi}}\exp\left\{\frac{(Y-m_Y)^2}{2\sigma_Y^2}\right\}. \quad (3)$$

Далі знаходимо:

$$\log_2\frac{f(X,Y,t,\tau)}{f(X,t,\tau)f(Y,t,\tau)}= \\ =\log_2\frac{1}{\sqrt{1-r^2}}-\frac{r^2\log_2 e}{2(1-r^2)}\left[\frac{(X-m_X)^2}{\sigma_X^2}-\frac{2(X-m_X)(Y-m_Y)}{r\sigma_X\sigma_Y}+\frac{(Y-m_Y)^2}{\sigma_Y^2}\right]. \quad (4)$$

Підставивши вирази (2), (3) і (4) у формулу (1), після певних перетворень можна отримати:

$$I(X\to Y,t,\tau)=\log_2\frac{1}{\sqrt{1-r_{XY}^2(t,\tau)}}=-\frac{1}{2}\log_2\left[1-r_{XY}^2(t,\tau)\right];$$

$$r_{XY}(t,\tau)=\frac{1}{\sigma_X\sigma_Y}\int_{-\infty}^{\infty}(X-m_X)(Y-m_Y)f(X,Y,t,\tau)dXdY,$$

де r_{XY} – коефіцієнт кореляції векторів *X*, *Y*; $\sigma_X^2(t,\tau)$ – дисперсії векторів *X*, *Y*.

Ентропія випадкового *m*-мірного вектора *X(t,* □*)*, що підпорядковується нормальному закону розподілу, дорівнює: $H(X,t,\tau)=\log_2\sqrt{(2\pi e)^m\left|R^{XX}\right|}$.

Середня кількість інформації при передачі *X*→*Y* можна виразити через кореляційні матриці:

$$I(X\to Y,t,\tau)=-\frac{1}{2}\log_2\frac{|R|}{\left|R^{XX}\right|+\left|R^{YY}\right|}, \quad (5)$$

де

$$R^{XX}=\begin{vmatrix}R_1^{XX}&\dots R_{1m}^{XX}\\R_2^{XX}&\dots R_{2m}^{XX}\\\vdots&\vdots\\R_{m1}^{XX}&\dots R_{mm}^{XX}\end{vmatrix};\ R^{YY}=\begin{vmatrix}R_1^{YY}&\dots R_{1m}^{YY}\\R_2^{YY}&\dots R_{2m}^{YY}\\\vdots&\vdots\\R_{m1}^{YY}&\dots R_{mm}^{YY}\end{vmatrix};\ R^{XY}=\begin{vmatrix}R_{11}^{XX}&\dots&R_{1m}^{XX}R_{11}^{XX}&\dots&R_{1m}^{XY}\\\dots&\dots&\dots&\dots&\dots\\R_{m1}^{XX}&\dots&R_{mm}^{XX}R_{11}^{XY}&\dots&R^{XY}\\R_{11}^{XY}&\dots&R_{1m}^{XY}R_{11}^{YY}&\dots&R_{1m}^{YY}\\R_{m1}^{XY}&\dots&R_{mm}^{XY}R_{1m}^{YY}&\dots&R_{mm}^{YY}\end{vmatrix}$$

– кореляційні визначники, що відповідають кореляційним матрицям, складеним з кореляційних моментів:

$$R_{\nu\mu}^{XX}=m\left[(X_\nu-m_{X_0})(X_\mu-m_{X_\mu})\right];$$

$$R_{\nu\mu}^{YY}=m\left[(Y_\nu-m_{Y_0})(Y_\mu-m_{Y_\mu})\right];$$

$$R_{\nu\mu}^{XY}=\left[m(X_\nu-m_{Y_\mu})(X_\mu-m_{X_\mu})\right].$$

При незалежних компонентах вектора *X(t,*□*)* маємо:

$$R_{\nu\mu}^{XX}=\begin{cases}\sigma_0^2\ при\ \ \nu=\mu\\0\ при\ \ \nu\neq\nu\end{cases},$$

а ентропія вектора дорівнює:

$$H(X,t,\tau)=\log_2\sigma_1\sqrt{2\pi e}+...+\log_2\sigma_m\sqrt{2\pi e}\,.$$

Відомо, що ступінь зв'язку між випадковими процесами характеризується кореляційною функцією. Якщо вихідний вектор *Y(t,τ)* не пов'язаний з вхідним вектором *X(t, τ)*, то $R_{v\mu}^{XX}=0$; тобто кількість інформації, що надходить у процесі управління, $I(X\to Y,t,\tau)=0$.

При урахуванні усіх характеристик вектора *X(t, τ)* коефіцієнт кореляції $r_{XY}(t,\tau)\to 0$, отже $I(X\to Y,t,\tau)\to\infty$. Для одномірного випадкового процесу формула (5) перетворюється у формулу:

$$I(x_i\to y_i,t,\tau)=-\frac{1}{2}\log_2\left[1-r^2(t,\tau)\right],$$

де $r(t,\tau)=-\dfrac{R_{11}^{XX}(t,\tau)}{\sigma_X(t,\tau)\sigma_Y(t,\tau)}$ – коефіцієнт кореляції.

Розглянемо окремі випадки одномірної передачі інформації.

При запізнюванні відтворення:

$$y(t,\tau)=x(t-\tau_3,\tau)\,;$$

$$r(t,\tau)=-\frac{1}{\sigma^2}\int_{-\infty}^{\infty}\!\!\ldots\int\left[x(t)-m_x\right]\left[x(t-\tau_3)-m_x\right]f(x,y,t,\tau)dxdy\,,$$

або остаточно

$$r(t,\tau)=\frac{R(\tau_3)}{R(0)},$$

де $R(\tau_3)$ – кореляційна функція центрованої випадкової величини;

$R(0)=\sigma^2$ – дисперсія.

Кількість інформації у цьому випадку дорівнює:

$$I(x\to y,t,\tau)=-\frac{1}{2}\log_2\left[1-\frac{R^2(\tau_3)}{R^2(0)}\right].$$

Оскільки $0\le R(\tau_3)/R(0)<1$ при $\tau_3>0$, то $\infty>I(x\to y,t,\tau)\ge 0$.

ГІС в управлінні територіями спроможна надати скільки завгодно багато інформації про стан об'єкта, якщо вона представляє вихідний вектор *Y(t, τ)* при скільки завгодно малій затримці τ_3: при $\tau_3\to 0$ $R(\tau_3)\to 0$ і, отже, $I(X\to Y,t,\tau)\to\infty$.

ГІС в управлінні територіями практично не надає додаткової інформації про стан об'єкта дослідження, якщо вона представляє вихідний вектор *Y(t, τ)* з великою затримкою τ_3: при $\tau_3\to\infty$ $R(\tau_3)\to 0$ і, отже, $I(X\to Y,t,\tau)=0$.

При наявності шумів *u (t, τ)* і нормальному розподілі параметрів *x, y* маємо:

$$y(t,\tau)=x(t,\tau)+u(t,\tau);$$

$$\sigma_Y^2(t,\tau)=\sigma_x^2(t,\tau)+\sigma_u^2(t,\tau);$$

$$r(t,\tau)=\frac{1}{\sigma_x\sigma_y}\int_{-\infty}^{\infty}\!\!\ldots\int(x-m_x)(y-m_y)\,f(x,y,t,\tau)dxdy=\frac{\sigma_x^2}{\sigma_x\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_u^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+\dfrac{\sigma_u^2}{\sigma_x^2}}}.$$

Середня кількість інформації, яку можна отримати при наявності шумів, дорівнює:

$$I(x \to y, t, \tau) = -\frac{1}{2}\log_2(1-r^2) = \frac{1}{2}\log_2 \frac{\sigma_x^2 + \sigma_u^2}{\sigma_u^2}.$$

Якщо точність переведення вхідного вектора *X(t, τ)* у вихідний вектор *Y(t, τ)* є невисокою (присутні помилки), так що $\sigma_u >> \sigma_x$, то

$$\frac{\sigma_x^2 + \sigma_u^2}{\sigma_u^2} \to 1$$

і отже $I(X \to Y, t, \tau) \to 0$.

ГІС в управлінні територіями спроможна надати скільки завгодно багато інформації про стан об'єкта при високій точності переведення вхідного вектора *X(t, τ)* у вихідний вектор *Y(t, τ)*.

При $\sigma_u >> \sigma_x$ $\frac{\sigma_x^2}{\sigma_u^2} + 1 \to \infty$ і, отже, $I(x \to y, t, \tau) \to \infty$.

Висновки. Таким чином, середня кількість інформації, що отримується в процесі управління територіями при використанні ГІС, при нормальному законі розподілу параметрів і помилок, залежить від дисперсії помилок і точності ГІС, а також від ступеня зв'язку векторів *X* і *Y* і затримки відтворення. При законах розподілу вихідних параметрів і завад, які відрізняються від нормальних, середня кількість інформації, що отримується в процесі контролю, визначається за формулою (1).

Запропонована модель дозволяє оцінити зменшення ентропії системи (підвищити інформативність) управління територіями за рахунок впровадження ГІС.

Впровадження ГІС в процес управління територіями, за розрахунками автора, дозволяє зменшити ентропію системи на 40-65 %, що свідчить про необхідність впровадження ГІС в систему управління територіями.

Список використаних джерел

1. Бурачек В. Г. Основи геоінформаційних систем: монографія / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний; Нац. авіац. ун-т. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2011. – 512 с.

2. Бурачек В. Г. Геоінформаційний аналіз просторових даних: монографія / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний; Нац. авіац. ун-т. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2011. – 440 с.

3. Шрейдер Ю. А. Логика знаковых систем (элементы семиотики) / Ю. А. Шрейдер. – М.: Знание, 1974. – 64 с.

4. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И. В. Прангишвили; Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова. – М.: Наука, 2003. – 428 с.

5. Красовский А. А. Основы автоматики и технической кибернетики / А. А. Красовский, Г. С. Поспелов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 600 с.

6. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – 4 изд. – М.: Наука, 1983. – 383 с.

УДК 535.343.2

А.А. Ковтун, канд. физ.-мат. наук
А.В. Рогоза, канд. физ.-мат. наук
Ю.Е. Шоломий, студент
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

СТРУКТУРА И ПРЕВРАЩЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЫРОЧНЫХ ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ KCL С ПРИМЕСЬЮ ИОНОВ НАТРИЯ

В статье приведены экспериментальные данные исследования структуры, свойств и превращения дырочных центров при нагревании кристаллов KCl с примесью ионов Na^+ после их облучения γ- или рентгенлучами при 77 K.

Ключевые слова: *облучение, ионы Na^+, полосы поглощения, дырочные центры, дипольные моменты.*

У статті наведені експериментальні дані дослідження структури, властивостей та перетворення діркових центрів під час нагрівання кристалів KCl з домішкою іонів Na^+ після їх опромінення γ- або рентгенпроменями при 77 K.

Ключові слова: *опромінення, іони Na^+, смуги поглинання, діркові центри, дипольні моменти.*

Experimental data of research into structure, properties and conversion of low-temperature centers when KCl crystals with Na^+ ion admixture are heated to 77 K after being irradiating by γ- or X-rays.

Key words: *irradiating, Na^+ ion, absorption bands, hole centres, dipole moments.*

Вступление. В кристаллах KCl высокой частоты после облучения их рентгеновскими или γ-лучами при температуре 77 K наблюдается в спектре оптического поглощения только одна электронная F-полоса, а полосы поглощения дырочных центров отсутствуют. Этот экспериментальный факт подтверждает предположение некоторых авторов о том, что сила осциллятора образовавшихся V_k – центров очень мала [1].

В результате введения нами в такой кристалл ионов Na^+ после облучения при температуре 77 K в спектре поглощения возникла V_1 (Na^+)-полоса, что подтверждает тот факт, что V_1 (Na^+) – центр представляет собой дырку, локализованную возле иона Na^+. Максимум оптического поглощения V_1 (Na^+)-центров соответствует длине волны λ = 357 нм, полуширина полосы – 0,7 эВ. В работе [2] методом ЭПР установлено, что V_1 (Na^+)-центр представляет собой H-центр, локализованный возле иона Na^+ и имеет ось симметрии, совпадающую приблизительно направлением <110> кристалла.

Методы и результаты. На рисунке 1, *а* представлен спектр оптического поглощения кристалла KCl с примесью ионов Na^+ после 4-часового облучения рентгенлучами при температуре 77 K. Кроме электронной F-полосы поглощения в спектре наблюдается дырочная V_1 (Na^+)-полоса.

В результате нагревания кристаллов KCl : NaCl (1 мол. % NaCl в шихте), облученных рентгенлучами при температуре жидкого азота (рис. 1, кривая *а*) от 77 K до 163 K V_1 (Na^+)-полоса (357 нм) оптического поглощения пропадает и появляется новая ассиметричная $V_{F_A}(Na^+)$-полоса (376 нм, рис. 1, кривая *в*) с люминесцентным свечением. Этой полосе соответствуют термически стабильные при 163 K $V_{F_A}(Na^+)$-центры. Экспериментально установлено, что $V_{F_A}(Na^+)$-полоса является дихроничной. Если освещать кристалл светом, соответствующим $V_{F_A}(Na^+)$-полосе и поляризованным в направлении [001], то интенсивность этой полосы уменьшается в спектре оптического поглощения для света, поляризованного в направлении [001] кристалла, и увеличивается для света, поляризованного в направлении [010] (рис. 2, свет падал на кристалл в направлении [100]). Максимум поглощения $V_{F_A}(Na^+)$-полосы для света поляризованного в направлении [001] приходится на длину волны λ = 365 нм, а для света поляризованного в направлении [010] на длину волны λ = 376 нм. Следовательно, $V_{F_A}(Na^+)$-центру соответствуют две полосы оптического поглощения: $V_{F_{A_1}}(Na^+)$ (380 нм) и $V_{F_{A_2}}(Na^+)$ (365 нм). Положение максимума поглощения для $V_{F_{A_1}}(Na^+)$-полосы,

как показано на рисунке 2, определили путем вычитания ординат кривых *а* и *б*. Положение максимума поглощений для $V_{F_{A_2}}\left(Na^+\right)$-полосы определяется из кривой *а*. Из угловой зависимости дихроизма (рис. 3) $V_{F_A}\left(Na^+\right)$-полосы следует, что дипольные моменты этих переходов ориентированы вдоль направлений <100> кристалла.

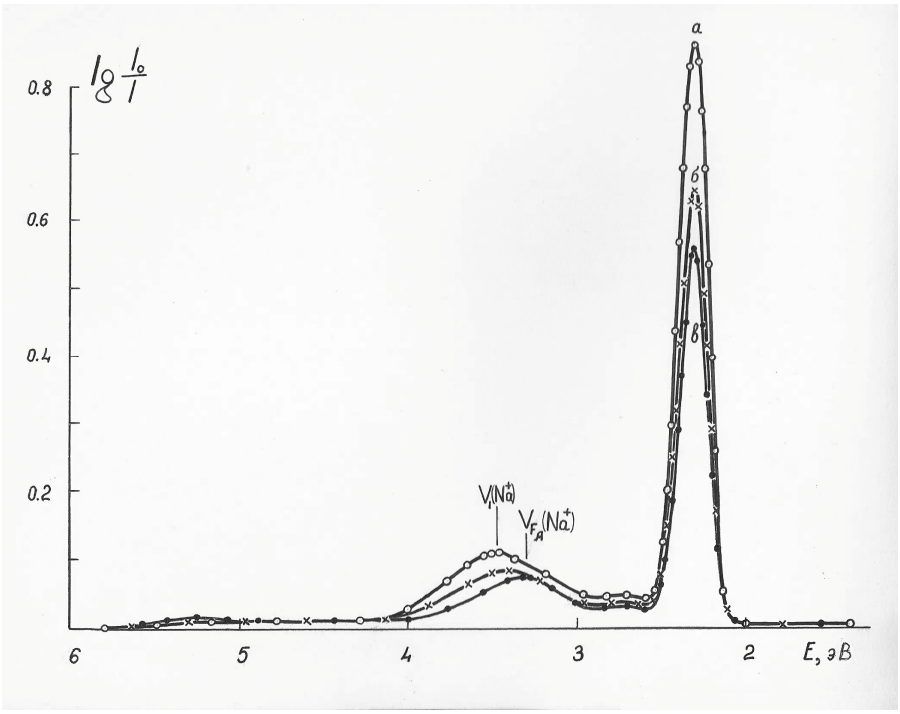


Рис. 1. Спектры оптического поглощения кристаллов KCl:NaCl (1 мол. % NaCl в шихте): а – после четырехчасового облучения рентгенлучами при 77 К; б – после нагревания до 138 К; в – после нагревания до 163 К

Спектры поглощения сняты при температуре 77 К.

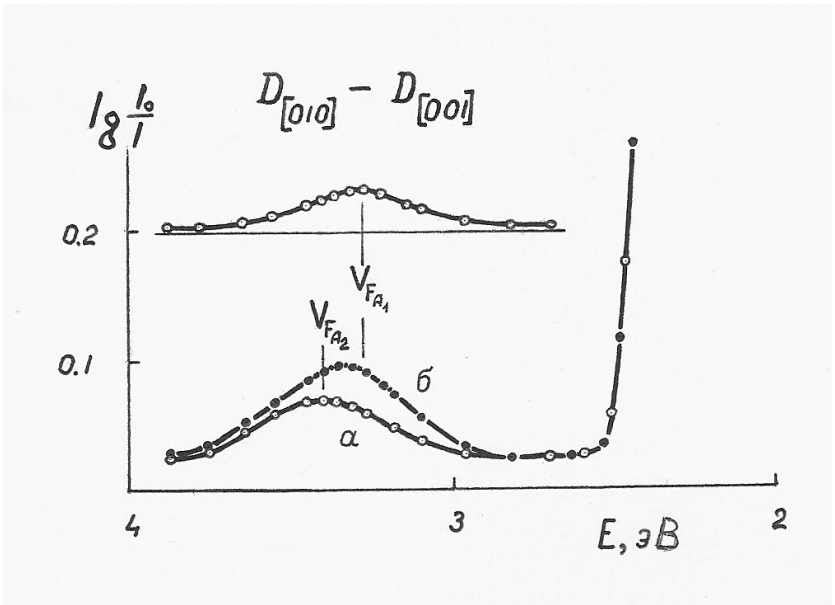


Рис. 2. Оптическое поглощение кристаллов KCl:NaCl (1 мол. % NaCl в шихте) с $V_{F_A}\left(Na^+\right)$-центрами при 77 К. До измерения спектров кристалл был облучен светом λ = 380 нм при 77 К, поляризованным в направлении [001]. Свет падал в направлении [100] кристалла: а – поглощение света, поляризованного в направлении [001]; б – поглощение света, поляризованного в направлении [010]

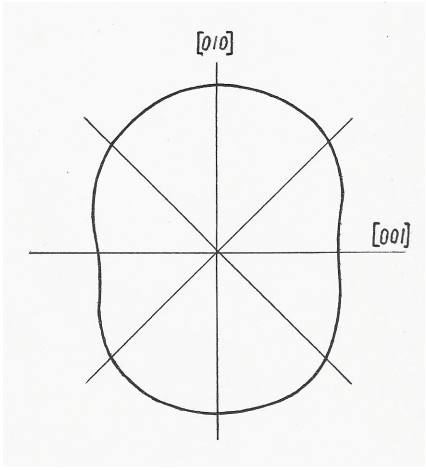


Рис. 3. Угловая зависимость дихроизма для поляризованного света с длиной волны λ = 380 нм. Предварительно кристалл облучен светом λ = 380 нм, поляризованным в направлении [001] кристалла

Итак, исследование характера дихроизма на $V_{F_A}(Na^+)$-центрах, возникших в результате нагревания кристалла с $V_1(Na^+)$-центрами до 163 K, показывает, что эти центры обладают осью симметрии, ориентированной в направлении [100] кристалла. Кроме того, новые дырочные $V_{F_A}(Na^+)$-центры в своем составе содержат примесный ион Na^+, т. к. в кристаллах высокой частоты они не возникают. Учитывая вышеизложенное, а также тот факт, что при облучении кристалла рентгеновскими лучами в нем образуются изолированные щелочные вакансии [3], можно предложить следующую модель нового дырочного центра: $V_{F_A}(Na^+)$ состоит из $V_1(Na^+)$-центра и находящейся рядом щелочной вакансии (рис. 4).

Далее нами показано, что в результате нагревания кристаллов KCl : NaCl с $V_{F_A}(Na^+)$-центрами до 223 K вследствие диффузии этих центров происходит их аннигиляция с F-центрами, сопровождаемая люминесценцией, а также превращение $V_{F_A}(Na^+)$-центров в $V_2'(Na^+)$- и $V_2''(Na^+)$-центры путем стабилизации первых дефектами кристаллической решетки. Дальнейшее нагревание до температуры 340 K разрушает дырочные $V_2'(Na^+)$- и $V_2''(Na^+)$-центры и образует диффундирующие по решетке кристалла V_F-центры, которые слипаясь, образуют V_3-центры, а также аннигилируют с F-центрами, вызывая люминесценцию.

Установлено, что если кристалл облучить рентгенлучами (γ-лучами) при какой-нибудь промежуточной температуре, то в спектре оптического поглощения, кроме F-полосы, возникают дырочные полосы, за которые ответственны стабильные при этой температуре центры, образовавшиеся в результате сложного многоступенчатого ионно-электронного процесса.

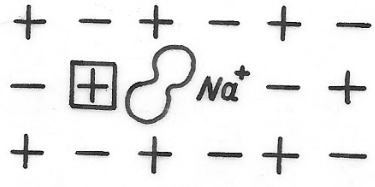


Рис. 4. Модель $V_{F_A}(Na^+)$-центра: [+] – вакансия щелочного металла; между примесным ионом Na^+ и щелочной вакансией находится молекулярный ион в узле (H-центр)

Список использованных источников

1. Горбенко П. К. Природа и свойства дырочных центров в кристаллах KCI / П. К. Горбенко, А. А. Ковтун // ФТТ. – 1971. – № 13. – С. 2766-1769.
2. Delbecq C., Hutchinson E., Schoemaker D., Yasaitis E., Yuster P. // Phys. Rev. – 1969. – № 187. – С. 1103.
3. Мелик-Гайказян И. Я. Радиационное образование бивакансий и катионных вакансий в CKt / И. Я. Мелик-Гайказян, Э. П. Куракина // Изв. АН СССР. Сер. физическая. – М., 1971. – Т. 35. – С. 1360-1363.

УДК 004.775

Е.В. Никитенко, канд. физ.-мат. наук
Р.В. Заровский, канд. техн. наук
М.А. Сдитанов, магистрант
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ В ТЕКСТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Разработана архитектура автоматической поисковой системы. Данная архитектура состоит из двух частей – сервис индексирования и сервис поиска. В сервис индексирования входят сервисы разбора документов и построения индексов и вспомогательные сервисы, обеспечивающие сохранение, загрузку и обработку данных для индекса. Сервис поиска разработан для быстрого доступа к поисковому индексу и получения релевантных данных.

***Ключевые слова**: поисковая система, веб-сервер.*

Розроблено архітектуру автоматичної пошукової системи. Ця архітектура складається з двох частин - сервіс індексування та сервіс пошуку. В сервіс індексування входить сервіси розбору документів і побудови індексів та допоміжні сервіси, що забезпечують збереження, завантаження й обробку даних для індексу. Сервіс пошуку розроблений для швидкого доступу до пошукового індексу й отримання релевантних даних.

***Ключові слова**: пошукова система, веб-сервер.*

The architecture of the automatic retrieval system was developed. The architecture consists of two parts – the indexing service and search service. Indexing service includes services for documents analysis and index construction and support services to ensure the preservation, loading and processing of the data for the index. Search service was developed for easy access to the search index and to obtain relevant data.

***Key words:** a retrieval system, web-server.*

Постановка проблемы. Необходимость в разработке такого рода системы вызвана наличием значительных объемов информации, сопутствующей процессам развития онлайн-ресурсов и Интернета в целом, и требованиями к быстрому доступу к нужной информации. В качестве основной причины создания поисковой системы можно выделить закрытость архитектуры и алгоритмов, узкая направленность поисковых алгоритмов в существующих поисковых системах. При этом можно выделить следующие недостатки поисковых систем:

- закрытая реализация поисковых алгоритмов;
- трудности с определением спам-текстов;
- трудность расширения и поддержки аналогов с открытым исходным кодом;
- неэффективная реализация поисковых алгоритмов в поисковых системах с открытым исходным кодом.

Поисковые алгоритмы разрабатываются уже несколько десятилетий, не раз изменялись требования к производительности поисковых алгоритмов и к поисковым системам в целом. В качестве основных требований к разрабатываемой системе были предъявлены следующие:

- модульность;
- масштабируемость;
- поэтапная реализация.

Анализ исследований и публикаций. Поисковая система представляет собой программно-аппаратный комплекс с веб-интерфейсом, обеспечивающий возможность поиска информации [1]. Программной частью поисковой системы является поисковая машина – комплекс программ, обеспечивающий функциональность поисковой системы и обычно являющийся коммерческой тайной компании-разработчика.

Поиск информации представляет собой процесс выявления в некотором множестве документов, которые посвящены указанной теме, удовлетворяют заранее определенному условию поиска или содержат необходимые факты, сведения, данные. Процесс поиска включает последовательность операций, направленных на сбор, обработку и предоставление необходимой информации заинтересованным лицам [2].

В общем случае поиск информации состоит из четырех этапов:

1. Определение (уточнение) информационной потребности и формулировка информационного запроса.

2. Определение совокупности возможных держателей информационных массивов (источников).

3. Извлечение информации из выявленных информационных массивов.

4. Ознакомление с полученной информацией и оценка результатов поиска.

Архитектура поисковой системы. Архитектура поисковой системы должна обеспечивать эффективную обработку данных, максимальную масштабируемость и возможность параллельной обработки данных.

В любой поисковой системе можно выделить три базовых части [3]:

1. Робот (crawler, spider) – сервис, который отвечает за сбор информации. Робот эмулирует работу пользователя, загружая страницы и сохраняя их в семантической базе данных.

2. Семантическая база данных. В базе данных хранится и сортируется собранная роботом информация.

3. Клиент. В этой части обрабатываются пользовательские запросы. В действительности клиент может быть разнесён по нескольким физически несвязанным компьютерам. Однако стоит отметить, что все эти компьютеры должны иметь доступ к базе данных.

Также можно выделить дополнительные подсистемы в архитектуре поисковой системы:

1. URL Server – список всех адресов.

2. Crawler – робот, который загружает страницы из списка адресов и передает в Store Server.

3. Store Server сохраняет страницы в Repository, чаще всего в виде текста документа. При этом вся дополнительная информация, такая как картинки, flash-анимация и прочее, не сохраняется.

4. Indexer разбирает сохраненные в Repository HTML-документы в последовательности слов и сохраняет их в базе данных.

5. Lexicon – список всех слов. Чаще всего слова хранятся в таблице с двумя полями "номер" и "слово". Таким образом достигается экономия места в базе данных, так как длинные слова заменяются достаточно коротким номером.

6. Anchors – выделенные компонентом Indexer ссылки (URL).

7. Links определяет ссылки одних сайтов на другие и передает это в PageRank.

Взаимодействие сервисов изображено на рисунке 1.

Рассмотрим варианты хранения записей в базе данных, т. е. параметры, по которому они отсортированы, и какая дополнительная информация хранится для каждой записи. В связи с этим появляются два понятия: прямой и обратный индексы.

В случае прямого индекса записи отсортированы по номеру документа. Для каждой записи хранится отсортированный по номеру список слов. Для каждого слова хранятся первые несколько (например, восемь) позиций вхождения слова в документ, количест-

во вхождений и формат вхождения. Под форматом вхождения подразумевается вхождение слова в текст ссылки, в описание к картинке, в заголовок и т. д. Такие слова будут иметь приоритет при поиске. Прямой индекс обновляется постоянно при работе робота. Для каждой страницы в базе данных хранится частота предполагаемого обновления, которая считается следующим образом: при очередном заходе робота на эту страницу в случае отсутствия обновлений частота увеличивается в два раза, а если страница за этот период времени менялась, то уменьшается. Также стоит отметить, что чаще всего робот индексирует не все слова из документа (например, только первую тысячу слов) и не все документы с одного сайта.

Обратный индекс используется клиентом при поиске. В этом случае записи отсортированы по словам. Для каждой записи хранится номер слова, список документов, в который входит это слово, и полная информация о вхождении. Отметим, что обратный индекс обновляется не так часто как прямой, а примерно раз в минуту.

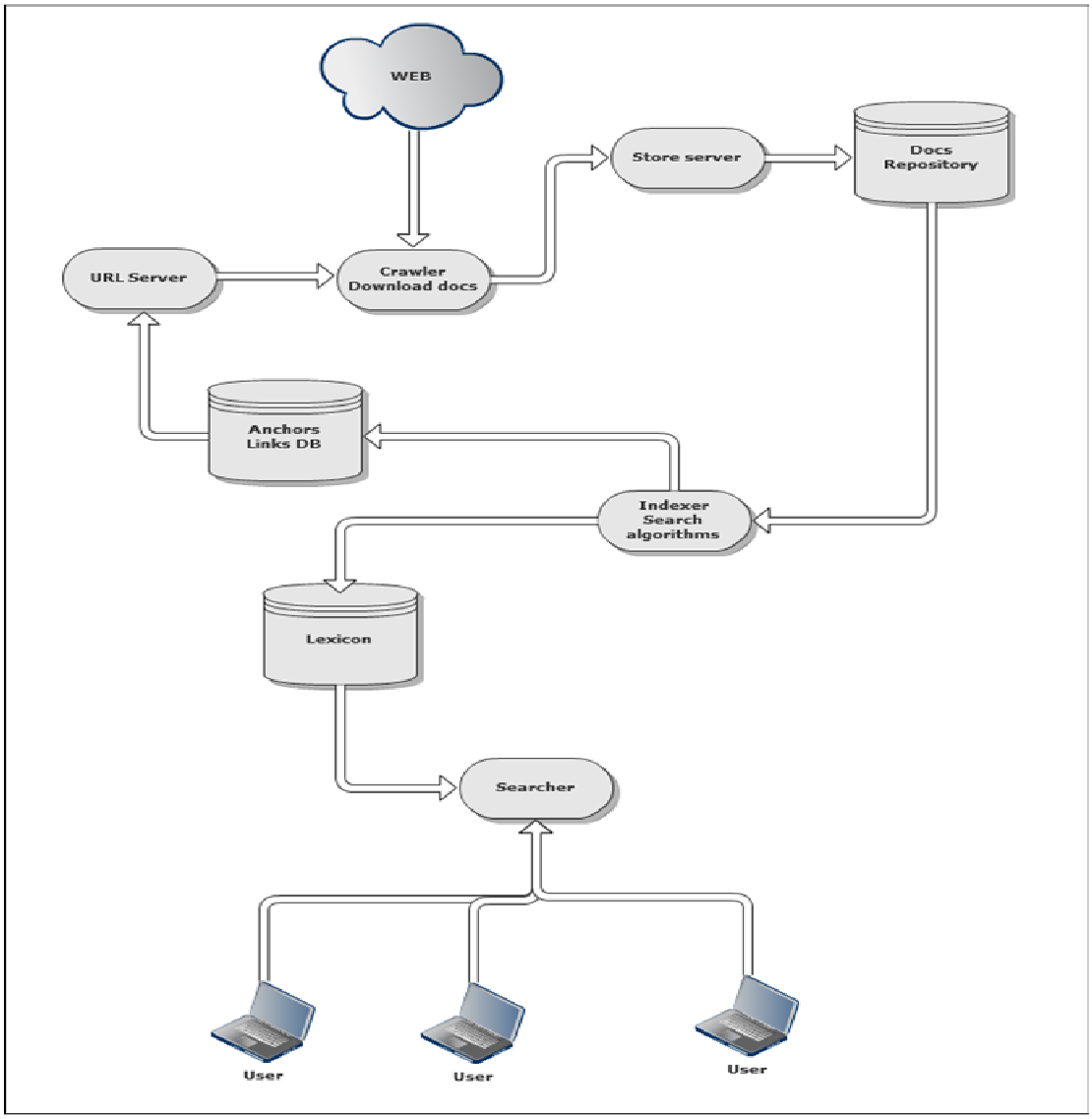


Рис. 1. Схема взаимодействия сервисов

Релевантность и позиция документа в поиске. Под релевантностью понимается то, насколько слово (совокупность слов) соответствует данному документу. Рассмотрим характеристики, которые могут влиять на позицию документа в списке ответов:

– Наличие слов в документе. Очевидно, что если слова в документе не встречаются, то данный документ не подходит под условия поиска.

– Частота вхождения слов. Чем чаще слова встречаются на странице, тем выше документ окажется в списке поиска.

– Форматирование слов. Если в документе слова встречаются в виде выделяющих тэгов, заголовков, описаний картинок, то такой документ будет иметь более высокий приоритет.

– В случае набора слова значение также имеют расстояние между этими словами в документе и их порядок.

– В некоторых поисковых системах (например, Яндекс) значение имеет морфологическое вхождение слов, т. е. падеж (род, лицо), в котором слово входит в документ.

– Регистрация в каталоге поисковой системы. Это очень важная характеристика, так как каталоги составляются вручную и в них уже заданы разделы и тематика страницы.

Работа клиента. Пользователю предоставляется возможность делать запросы как в естественном виде, так и с помощью SQL-подобного языка. Use-case диаграмма взаимодействия пользователя с системой достаточно тривиальна и изображена на рисунке 2.

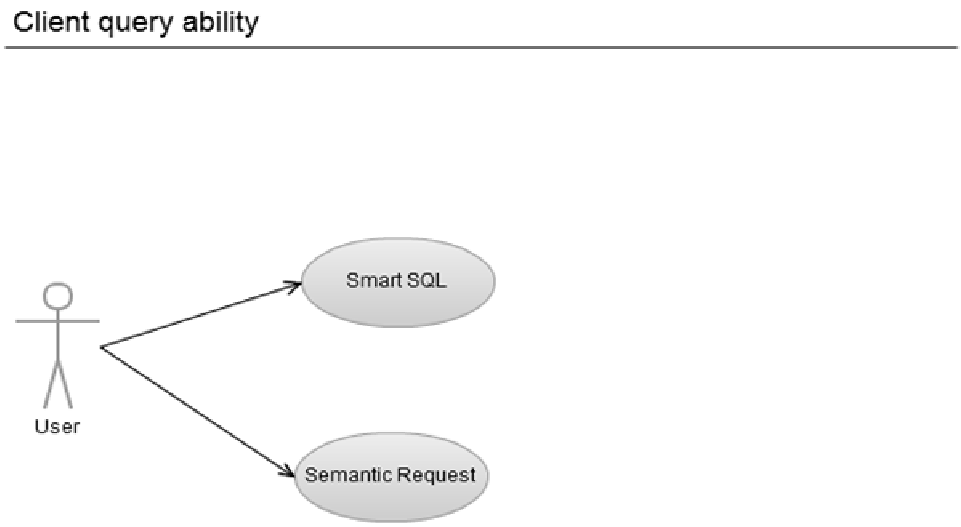


Рис. 2. Схема взаимодействия пользователя с поисковой системой

Сначала запрос разбивается на слова. Далее удаляются так называемые стоп-слова – слова, которые встречаются почти во всех документах (предлоги, союзы). На следующем шаге каждому слову сопоставляется его номер из "словаря". Для каждого слова из запроса находится в обратном индексе список документов, который содержит это слово. Из этих списков создаётся новый, содержащий те и только те документы, которые входили в списки для всех слов. Затем для каждого из документов вычисляется степень релевантности, и список сортируется по этому признаку. На этом шаге для всех документов создаются аннотации. Аннотацией может быть содержание тэга "description", контекст вхождения слов из запроса (наиболее близко стоящих или первое вхождение), первое предложение или заголовок документа.

Параллелизм в поисковой архитектуре. Крупные поисковые системы имеют базу размером в десятки миллионов документов и ежедневно обрабатывают миллионы пользовательских запросов, причём с каждым месяцем (с ростом количества пользователей Интернета) эти цифры ощутимо увеличиваются. В этих жёстких условиях главная задача поисковых систем – сохранение приемлемых для пользователей скорости и полноты выполнения запросов. Для запроса средней "тяжести", т. е. при поиске не

очень часто встречаемого слова, время отклика системы (без учёта времени передачи данных по каналу от поисковой системы к пользовательскому компьютеру) должно исчисляться десятыми долями секунды.

На сегодняшний день известны три основных подхода к решению этой проблемы:

1. Оптимизация базовых поисковых алгоритмов и архитектуры поиска.
2. Регулярное увеличение мощностей вычислительных ресурсов поисковой системы.
3. Использование архитектурной возможности масштабирования системы (если масштабируемость была заложена при проектировании системы).

Оптимизация поисковых алгоритмов и архитектуры поиска – это предмет постоянного внимания разработчиков. Увеличение мощностей – это регулярный переход на более мощные процессоры, добавление оперативной памяти, увеличение объёма жёстких дисков. Несмотря на то, что тактовая частота процессоров увеличивается каждый месяц, новая техника "не успевает" за ростом потребностей пользователей. К тому же постоянное обновление оборудования весьма недешево. Поэтому наряду с этим подходом используется масштабируемость архитектуры.

Архитектура поискового веб-сервера (Web Searcher). Рассмотрим параллельные решения на всех уровнях для архитектуры поисковой системы. На рисунке 3 изображена архитектура сервиса Web Searcher, который обслуживает запросы от пользователей системы.

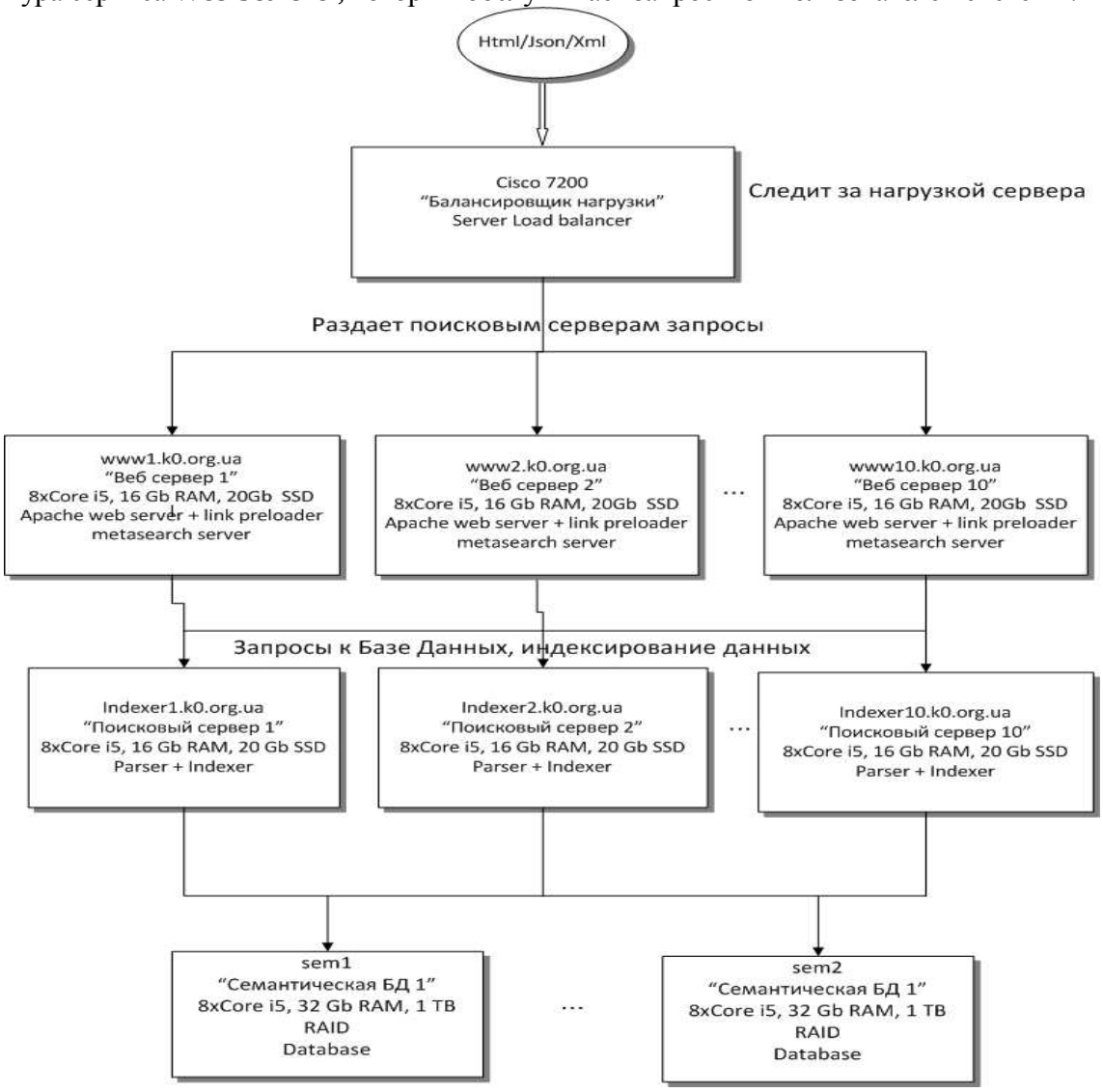


Рис. 3. Архитектура поискового веб-сервера

Маршрутизатор распределяет запросы от клиентов на поисковые системы. Поисковые системы обрабатывают запросы пользователей, обращаясь к базам данных индекса. Распределение нагрузки между фронтальными веб-серверами выполняют Cisco – сетевые устройства балансировки нагрузки. Каждый пользователь в зависимости от своего IP-адреса перенаправляется на один из трех наименее загруженных веб-серверов, используемых в поиске. Заметим, что функционально фронтальные веб-серверы совмещены с модулями слияния поисковых результатов от веба и остальных поисковых источников.

Разделение коллекции документов. В разрабатываемой поисковой системе используется "параллельный поиск" в нескольких поисковых источниках. Параллельный поиск – это одновременный поиск в специализированных базах (коллекциях), предлагаемых поисковой системой. Обычно источник – это отдельная база небольшого размера, отличная от "большой" базы документов. Подразумевается, что документы, индексируемые в такой базе, имеют некоторую регулярную структуру.

Если при поиске по обычной базе находятся и документы из базы параллельного поиска, точно соответствующие запросу, то одновременно (параллельно) с обычным результатами поиска выдаётся список из нескольких найденных документов.

База параллельных источников имеет существенно меньший размер, чем база веб-поиска. Обход и индексация документов в ней осуществляются отдельным роботом, поэтому обновление базы может происходить очень быстро (вплоть до ежеминутного).

Выделяются следующие четыре базы параллельного поиска:

1. По новостям (обновление каждые 10 минут, ежедневно около 3000 новостей).
2. По товарным предложениям интернет-магазинов (ежедневное обновление приблизительно 300 000 товаров).
3. По заголовкам статей энциклопедий (обновление раз в месяц, около 200 000 статей).
4. По каталогу ("ручному" описанию веб-ресурсов).

Особый интерес с точки зрения традиционных поисковых технологий представляет техника разделения большой базы документов, т. е. собственно базы веб-страниц. Сейчас она состоит из 1 млн документов и разделена на 30 частей.

Среди особенностей текущей реализации разделения веб-коллекции можно отметить следующее:

- есть центр контроля и распределения URL;
- отсутствует репликация коллекции по машинам;
- распределение документов по коллекциям случайно.

Для выполнения поискового запроса выделяется три фазы (рис. 4).

Первая фаза обработки запроса: выбор коллекции, трансформации запроса. Пользователь может явно указать, в какой коллекции следует искать. Если этого не сделано, то на основе лингвистического (эвристического) анализа запроса поисковая система может сделать допущение о приоритете специализированной коллекции или подходящей к характеру запроса рубрики каталога.

Вторая фаза обработки запроса: раздача запроса по коллекциям. Обычно используются все коллекции. Собирающий сервер раздаёт в коллекции модифицированные запросы, в которых для каждого термина сообщается глобальное значение его обратной частоты (IDF в терминах традиционного IR). Для этого на всех "собирающих" серверах хранится глобальная статистика терминов. Она изменяется медленно, поэтому обновляется относительно редко. Статистика подсчитывается по считающейся наиболее универсальной веб-коллекции. Таким образом, каждая поисковая машина ищет ответ на запрос с назначенными "сверху" глобальными частотами, и значения релевантности, вычисляемые в разных коллекциях, можно считать последовательными и вычисляемыми "в одной системе координат". Модификации запросов этим не ограничиваются, и

для специализированных коллекций (например, "энциклопедии") могут быть и другими, в том числе и очень специфическими.

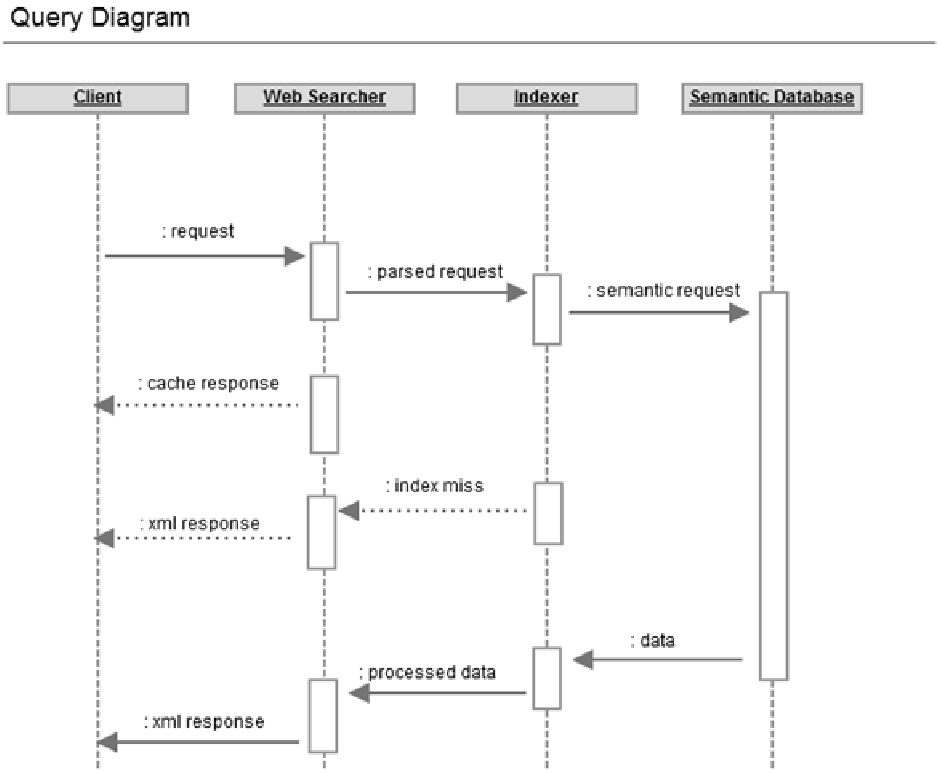


Рис. 4. Фазы обработки запроса

Третья фаза обработки запроса: исполнение и ранжирование запроса в коллекциях. Хотя в поисковой системе использовался стандартный полнотекстовый индекс, стоит упомянуть о процедуре вычисления неявных контекстных ограничений, применяемой в распределенной версии поиска. В этом случае на серверах "переднего края" производится синтаксический разбор запроса на основе ATN-грамматики, адаптированной к свободному порядку слов русского языка. В естественно-языковых фрагментах запросов выявляются несколько видов синтаксических связей (притяжение, перечисление, зависимости цели и места, счетные конструкции и др.) и устанавливаются эмпирически подобранные контекстные ограничения.

Глобальная для всех коллекций статистика слов используется как для "выравнивания" ранжирования между коллекциями, так и для корректировки контекстных ограничений в постсинтаксической фазе.

Выводы. Разработана архитектура автоматической поисковой системы. Данная архитектура состоит из двух частей – сервис индексирования и сервис поиска. В сервис индексирования входят сервисы разбора документов и построения индексов и вспомогательные сервисы, обеспечивающие сохранение, загрузку и обработку данных для индекса. Сервис поиска разработан для быстрого доступа к поисковому индексу и получения релевантных данных. Разработанная поисковая система по своим характеристикам не уступает открытому аналогу OpenSearch, а по скорости индексации разработанная система индексирует в 2,3 раза больше документов и обладает рядом качественных улучшений при ранжировании, такие как определение тематики, которые не присутствуют в OpenSearch.

Список использованных источников

1. Построение поисковых систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://habrahabr.ru/blogs/algorithm/114997.

2. Ландэ Д. В. Поиск знаний в Интернет. Профессиональная работа: пер. с англ. / Д. В. Ландэ. – М.: Диалектика, 2005. – 272 с.

3. Поисковые системы. Алгоритмы машинного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.scu.edu.au/programme/fullpapers/1938/com1938.htm.

УДК 004.934.2

Т.В. Шарий, канд. техн. наук
Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина

МОДЕЛЬ ПОСТОБРАБОТКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ FCAS

В статье рассматривается актуальный вопрос обработки параметров речевых сигналов в задаче распознавания речи. Указаны недостатки современных статистических моделей, с учетом которых предложена многоуровневая нечеткая когнитивная модель FCAS. Ядро FCAS представляет собой сеть фонетических процессоров, учитывающих вес речевого сегмента и работающих на признаковом, фонемном и словесном уровнях. Рассмотрена динамика и алгоритмы функционирования FCAS. Приведены результаты экспериментов с программной реализацией FCAS на тестовом словаре.

Ключевые слова: *речевой сигнал, когнитивное моделирование, фонема, элементарный фонетический процессор, FCAS.*

У статті розглядається актуальне питання обробки параметрів мовних сигналів у завданні розпізнавання мови. Вказано недоліки сучасних статистичних моделей, з урахуванням яких запропоновано багаторівневу нечітку когнітивну модель FCAS. Ядро FCAS являє собою мережу фонетичних процесорів, що враховують вагу мовного сегмента і діють на ознаковому, фонемному і словесному рівнях. Розглянуто динаміку й алгоритми функціонування FCAS. Наведено результати експериментів із програмною реалізацією FCAS на тестовому словникові.

Ключові слова: *мовний сигнал, когнітивне моделювання, фонема, елементарний фонетичний процесор, FCAS.*

The paper deals with an actual issue of speech signal parameters processing in context of speech recognition task. Starting with the shortcomings of state-of-the-art statistical models, pointed out in the paper, multilevel fuzzy cognitive model FCAS is proposed. The FCAS kernel is a network of elementary phonetic processors, processing the weights of speech segments and functioning at feature, phoneme and word levels. Model dynamics and algorithms are given. The results of experiments with FCAS program implementation on a test vocabulary are presented.

Key words: *speech signal, cognitive modeling, phoneme, elementary phonetic processor, FCAS.*

Постановка проблемы. Проблема построения эффективных командных систем голосового управления не перестает быть актуальной в сфере информационных технологий на протяжении нескольких десятилетий. На сегодняшний день разработано множество подходов, моделей и методов автоматического распознавания речи, но на практике они не отличаются необходимой точностью. Значительный прогресс был достигнут за последние два года благодаря технологиям GoogleVoice и Apple Siri [1], но успехи этих решений обусловлены применением облачных вычислений, а не разработкой принципиально новых и эффективных моделей и алгоритмов. Рынок русскоязычных программ представлен единичными разработками, демонстрирующими посредственные результаты даже в условиях отсутствия шума.

Анализ последних исследований и публикаций. Архитектура современных систем включает два основных модуля – модуль параметризации сигнала (front-end), производящий цифровую обработку речевого сигнала (РС) и формирующий последовательность векторов признаков (ВП) (некоторое компактное описание сигнала), и модуль постобработки сигнала (back-end) [2], выполняющий распознавание слов на основе полученных ВП и закона условных вероятностей Байеса. Такие системы сначала обучаются на многочасовых коллекциях речевых данных, и затем, на этапе распознавания, производят сопоставление входных образов с ранее вводившимися по обученным моделям.

В компьютерном распознавании речи часто делается акцент на учет особенностей слуховой и голосовой систем человека [2-8]. На этапе параметризации стандартом является применение метода MFCC (мел-частотных кепстральных коэффициентов) [2]. Данный метод позволяет получить компактное описание спектра сигнала с учетом свойственной человеку логарифмической частотной шкалы мел. Тем не менее, статис-

тический подход (Скрытые Марковские модели), используемый на *этапе постобработки*, не отражает явно ни специфики РС, ни особенностей восприятия речи человеком. Он демонстрирует хорошие результаты только при большом размере обучающих данных, собранных при большом числе различных условий. Поэтому модель постобработки РС по-прежнему открыта для исследований и модификаций.

Целью статьи является разработка и экспериментальное исследование новой модели постобработки РС, в меньшей степени зависящей от речевой статистики, в которой адекватно отображены особенности восприятия речи человеком.

Изложение основного материала статьи. В статье предлагается новая нечеткая когнитивная модель постобработки речевых сигналов FCAS (Fuzzy Cognitive Accented Speech). Структура модели FCAS отображена на рисунке 1.

Основным блоком модели является ядро FCAS, представляющее собой когнитивную сеть элементарных фонетических процессоров. Эти процессоры обрабатывают информацию, получаемую от трех моделей, – модели вычисления весов фонетических сегментов, признаковой и фонемной моделей. Также учитывается фонетическая статистика русского языка некоторой предметной области (словаря).

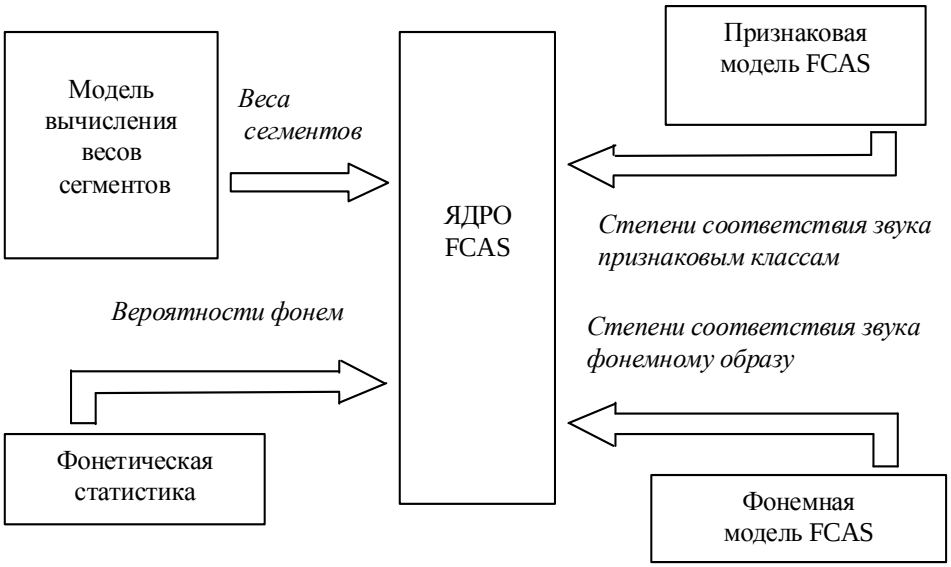


Рис. 1. Структура модели FCAS

Основным отличием предлагаемой модели от Скрытых Марковских моделей является многоуровневый учет акустико-фонетической информации на этапе постобработки речевого сигнала. В модели FCAS не только «заложена» статистика звуков, слогов и слов русской речи и их спектральные прототипы, но и предусмотрены различные параметры алгоритма обработки информации в зависимости от веса сегмента (модель вычисления весов [4]), типа сегмента (признаковая модель [5]) и последовательности сменяющихся сегментов звуков речи (ядро FCAS).

Далее в статье сосредотачивается внимание на ядре FCAS, в предположении, что степени соответствия текущего звука речи признаковым классам (в признаковой модели) и фонеме (в фонемной модели) уже вычислены, и имеется фонетическая статистика предметной области.

Формально ядро FCAS (сеть FCAS) определим как шестерку:

$$< w, \quad \{\mu_{D_i}\}_{i=1}^{N_D}, \quad \{\mu_{G_j}\}_{j=1}^{N_G}, \quad \{\Phi_k\}_{k=1}^{N}, \quad \{u_{ij}\}_{i,j=1}^{N}, \quad y >, \tag{1}$$

где w – вес речевого сегмента; μ_{D_i} – степень соответствия речевого сегмента i-ому признаковому классу (например, классы «звонкий», «гласный», «компактный» и т. д.); N_D – число признаковых классов, обрабатываемых моделью; μ_{G_j} – степень соответствия речевого сегмента j-ой фонеме (например, фонемы [а], [k], [о] и т. д.); N_G – число фонем, обрабатываемых моделью; $\{\Phi_k\}_{k=1}^{N}$ – набор элементарных фонетических процессоров (ЭФП); N – количество ЭФП в сети; u_{ij} – связь между i-м и j-м ЭФП; y – выход сети.

Первые три объекта являются входом модели ядра FCAS, поступающим от соответствующих моделей. ЭФП является узлом сети FCAS. Выход y представляет собой последовательность M распознанных текстовых символов $\{y_1, y_2, ..., y_M\}$.

На рисунке 2 приведена иллюстрация сети FCAS.

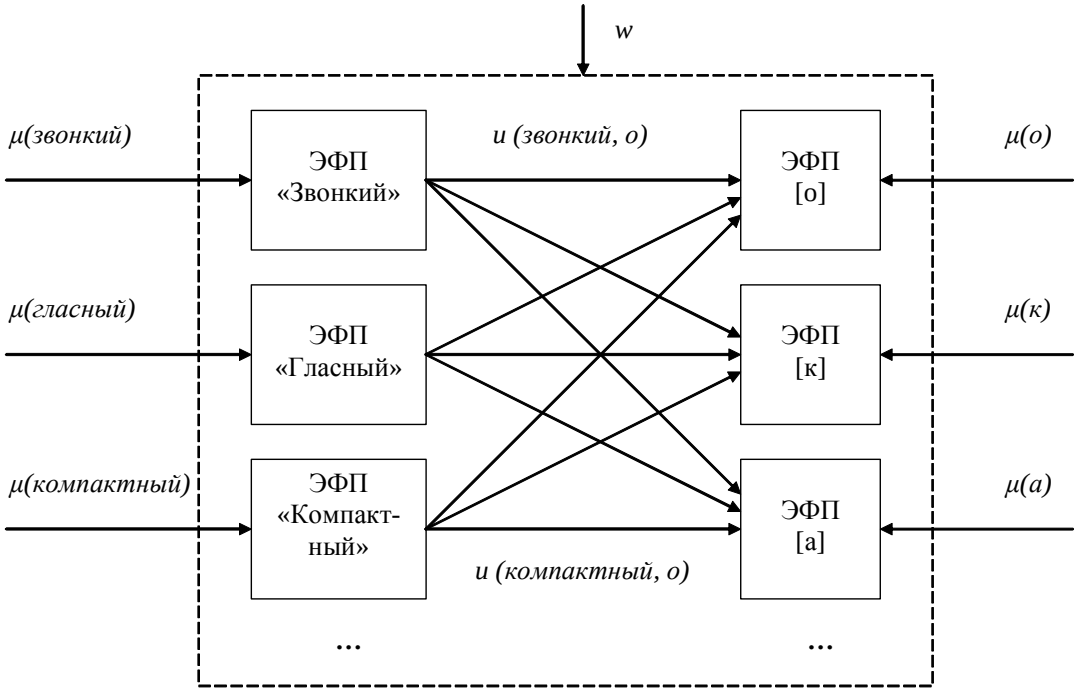


Рис. 2. Иллюстрация фрагмента сети FCAS

На рисунке 2 в левом столбце отображены три из N_D = 22 элементарных фонетических процессоров *признакового* уровня, реагирующих на присутствие определенного фонологического признака в текущем звуке речи; в правом столбце – три из N_G = 26 ЭФП *фонемного* уровня, реагирующих на сходство текущего звука речи с определенной фонемой. В таблице 1 указаны признаки и фонемы, обрабатываемые моделью FCAS. В общем случае в сети FCAS могут также присутствовать ЭФП словесного уровня, соответствующие отдельным словам из лексикона FCAS.

Речевой сигнал обрабатывается с помощью модели FCAS во времени. Сигнал поступает на обработку порциями (квантуется на перекрывающиеся фреймы длительностью 40 мс со степенью перекрытия 10 мс). Таким образом, шаг по времени Δt модели FCAS равняется 10 мс. Вычисления модели (пересчет внутренних состояний узлов сети) происходят с указанной периодичностью. Кроме того, речевой сигнал подвергается автоматической фонемной сегментации [4], в связи с чем в нем пристутствуют маркеры фонетических сегментов (границы звуков речи). Моменты времени, соответствующие данным границам, будем называть *моментами принятия фонемного решения*. В эти временные срезы модель выдает максимальные степени соответствия звучавшего речевого сегмента конкретным фонемам. Отметим, что для любого алгоритма сегментации

характерен некоторый процент лишних (вставляемых) границ сегментов. С учетом механизмов накопления / убавления состояний ЭФП эта ситуация может быть «сглажена», т. к. соседние сегменты будут считаться одной фонемой (с различными лишь, возможно, степенями соответствия). Кроме этого, как будет показано далее, модель FCAS может выдать большую степень соответствия некоторой фонеме не только в момент принятия фонемного решения, но и в любой другой момент времени t при выполнений определенных условий. Таким образом частично учитывается вторая проблема алгоритмов автоматической сегментации речевых сигналов – пропуск маркера сегментации.

Таблица 1

Перечень признаков и фонем FCAS

Признаки	Звонкий			Глухой			Нешумовой			Шумовой			Гласный			Сонорный			
	Низкий			Плавный			Носовой			Звонкий взрывной			Звонкий шипящий			Высокий диффузный			
	Низкий диффузный			Низкий компактный			Признак С			Признак Ш			Признак Ф, Х			Глухой взрывной			
	Шипящий взрывной			Высокий			Высокий компактный						Глухой шипящий						
Фонемы	и	ы	э	у	а	о	л	р	м	н	б	д	г	з	ж	в	п	т	
	ш	ф	х	ц	й	к	ч	с											

Всей сети узлов присвоено название «когнитивной», т. к. активация элементов, отвечающих за восприятие, производимая входным речевым сигналом, оставляет за собой «след» анализа входа на каждом из уровней обработки (фонетическом, признаковом, словесном). Этот след особый в том смысле, что он динамический, т. к. он складывается из активаций элементарных фонетических процессоров, а эти элементы продолжают взаимодействовать в течение времени. Различие между восприятием и первичной памятью полностью размыто, т.к. объект восприятия развертывается в тех же структурах, которые служат и в роли памяти, и перцептивная обработка ранних порций данных продолжается, даже когда в систему поступают новые порции. Такие продолжающиеся взаимодействия теоретически позволяют модели учитывать эффекты с «правым контекстом», а также конкретные аспекты кратковременной памяти, такие как факт, что в короткие промежутки времени можно сохранить больше информации, если она представлена единым связным целым. С этой точки зрения данная модель концептуально напоминает модель TRACE, предложенной Макклелландом и Элманом в [6]. Однако непосредственно алгоритмы обработки акустической и фонетической информации, рассматриваемые далее, принципиально отличаются. Кроме того, в отличие от модели FCAS, в модели TRACE отсутствует учет весов речевых сегментов, и в ней фиксированы фонемные интервалы, что накладывает ограничения на ее практическое использование.

ЭФП признакового уровня (рис. 3) определим как пятерку:

$$D = < w, \mu_D, s_D, y_D, A_D >, \quad (2)$$

где w – вес текущего речевого сегмента; μ_D – степень соответствия текущего речевого сегмента признаку D; s_D – состояние признакового ЭФП; y_D – выход признакового ЭФП; A_D – алгоритм, вычисляющий значение выхода признакового ЭФП:

$$A_D : w, \mu_D, s_D \rightarrow y_D . \quad (3)$$

Алгоритм A_D включает три шага:

1. Накопление состояния. Состояние s_D ЭФП изменяется по формуле:

$$s_D(t) = s_D(t-1) \oplus \mu_D , \quad (4)$$

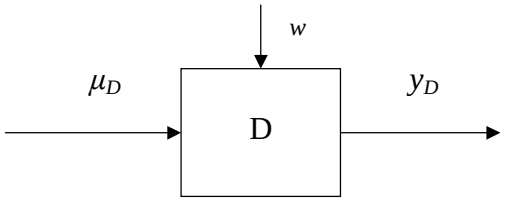


Рис. 3. Схематическое изображение ЭФП признакового уровня

где запись $s_D(t)$ означает состояние ЭФП в момент времени t. Операция $\oplus$ – это операция накопления. В когнитивной психологии предложена и исследована модель обработки информации человеком, известная как модель логогена Мортона [7], отражающая процессы, в результате которых человек приходит к принятию решения с учётом многих факторов: входной сенсорной информации, поступающей порциями во времени, контекста и накопленной ранее уверенности. Логоген – это абстрактная конструкция, которая определенным образом суммирует информацию, пока не будет накоплена уверенность, достаточная для реакции (ответа на вопрос или принятия решения). Такая модель обработки информации положена в основу формализованной модели логогена и хорошо зарекомендовала себя при решении ряда прикладных задач. В теории логогена предлагается следующий вид операции накопления уверенности:

$$a \oplus b = a + b - a \cdot b. \tag{5}$$

2. Расчет выхода. Выход ЭФП вычисляется по формуле:

$$y_D = s_D \cdot w. \tag{6}$$

3. «Забывание» некоторой порции информации. В качестве операции «забывания» выбрана операция вычитания:

$$s_D = \begin{cases} s_D - k_D & , \quad s_D > k_D \\ 0 & , \quad s_D \le k_D \end{cases}. \tag{7}$$

В формуле (7) k_D – это коэффициент забывания (для ЭФП признакового уровня), вещественное число из диапазона [0,1]. Все признаковые ЭФП должны регулярно уменьшать свои состояния на некоторые небольшие значения во избежание насыщения нескольких ЭФП к моменту принятия фонемного решения. В работе применяется значение k_D = 0,15.

ЭФП фонемного уровня (рис. 4) определим как шестерку:

$$G = < w, \mu_G, \{v_{iG}\}_{i=1}^{N_D}, s_G, y_G, A_G >, \tag{8}$$

где w – вес текущего речевого сегмента; μ_G – степень соответствия текущего речевого сегмента фонеме G; v_{iG} – вход с i-го ЭФП признакового уровня (зависящий от связи между выходом i-го признакового ЭФП и данным фонемным ЭФП); s_G – состояние фонемного ЭФП; y_G – выход фонемного ЭФП; A_G – алгоритм, вычисляющий значение выхода фонемного ЭФП:

$$A_G : w, \mu_G, \{v_{iG}\}_{i=1}^{N_D}, s_G \to y_G. \tag{9}$$

Связи между ЭФП являются по сути активационными:

$$u_{ij} = u(D_i, G_j). \tag{10}$$

Связь (10) отражает активацию фонемного ЭФП G_j от признакового ЭФП D_i. Каждая связь имеет свой вес. Если фонема G не обладает фонологическим признаком D (например, фонема [к] не является звонкой), то значение веса связи равно 0,0. В противном случае вес активационной связи равен вероятности P корректного выделения фонологического признака (данная статистика берется из признаковой модели FCAS).

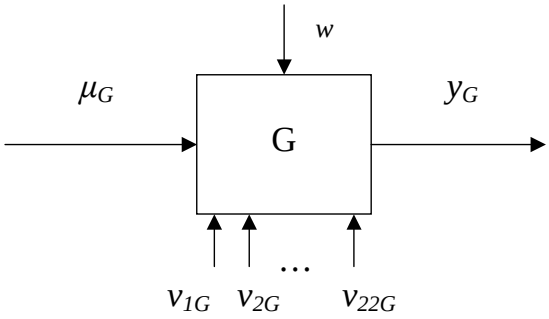


Рис. 4. Схематическое изображение ЭФП фонемного уровня

Значения признаковых входов фонемного ЭФП *G* рассчитываются по формуле:

$$v_{iG} = u_{iG} \cdot y_{Di} \cdot k_D, \tag{11}$$

где u_{iG} – вес активационной связи между выходом *i*-го признакового ЭФП и фонемным ЭФП *G*; y_{Di} – выход *i*-го признакового ЭФП; k_D – коэффициент, характеризующий степень влияния признакового уровня вообще на принятие фонетического решения (свободный параметр модели FCAS).

Алгоритм A_G включает четыре шага:

1. Вычисление суммарной степени активации от признакового уровня.

$$v_{total} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} v_{iG}, \tag{12}$$

2. Накопление состояния. Состояние s_G ЭФП изменяется по формуле:

$$s_G(t) = s_G(t-1) \oplus (\mu_G \cdot v_{total}), \tag{13}$$

где запись $s_G(t)$ означает состояние фонемного ЭФП в момент времени t. Операция $\oplus$ – это операция накопления (5).

3. Расчет выхода. Выход ЭФП вычисляется по формуле:

$$y_G = s_G \cdot w. \tag{14}$$

4. «Забывание» некоторой порции информации. В качестве операции «забывания», как и на признаковом уровне, используется операция вычитания:

$$s_G = \begin{cases} s_G - k_G & , \quad s_G > k_G \\ 0 & , \quad s_G \le k_G \end{cases}. \tag{15}$$

В формуле (15) k_G – это коэффициент забывания (для ЭФП фонемного уровня), вещественное число из диапазона [0,1]. Все фонемные ЭФП должны регулярно уменьшать свои состояния на некоторые небольшие значения во избежание насыщения нескольких ЭФП к моменту принятия фонемного решения. В работе применяется значение k_G = 0,15.

Выходом модели FCAS является последовательность текстовых символов. С выходом каждого фонемного ЭФП связан «генерируемый» им текстовый символ из алфавита фонем русского языка (табл. 1). В момент принятия фонемного решения происходит выполнение двух действий:

1) вычисление величины «скачка состояний ЭФП»:

$$tv = \frac{1}{N_G} \sum_{i=1}^{N_G} \Delta s_{G_i}. \tag{16}$$

Если значение *tv* не превышает некоторого порога ε_{tv}, то выход FCAS не изменяется (добавление нового символа к выходной последовательности не происходит). В противном случае, к выходной последовательности добавляется символ, генерируемый фонетическим процессором с максимальным накопленным состоянием;

2) сброс состояний всех ЭФП (уменьшение значений в K_{reset} раз):

$$s_{G_i} = s_{G_i} / K_{reset}, \qquad i = 1..N_G. \tag{17}$$

Таким образом, состояния ЭФП не обнуляются при переходе к обработке следующего речевого сегмента, что отражает свойства восприятия человеком речи и взаимовлияния соседних фонем [2; 6].

Моменты принятия фонемных решений дополняются также теми моментами времени, когда выполняется условие большого скачка состояний ЭФП при большом весе сегмента:

$$(w > \delta_w) \& (tv > \delta_{tv}), \tag{18}$$

где δ_w – порог веса сегмента; δ_{tv} – порог скачка состояний. При выполнении условия (18) к выходной последовательности символов также добавляется текстовый символ, генерируемый фонемным ЭФП с максимальным накопленным состоянием.

Особенно полезным в модели FCAS является учет фонетической статистики русского языка той или иной предметной области. Как известно, фонемы встречаются в тексте и, в особенности, следуют друг за другом, с определенными вероятностями [7; 8]. Например, следование гласного звука после звонкого шипящего гораздо более вероятно, чем следование после него глухого взрывного и т. д. В модель FCAS включен учет моментов такого рода: в момент принятия фонемного решения все признаковые и фонемные ЭФП, которые будут работать на следующем этапе (речевом сегменте), получают дополнительную активацию, в зависимости от текущего звука речи.

Эта дополнительная активация пропорциональна условным вероятностям появления конкретного признака после текущего признака:

$$s_{D_i} = s_{D_i} \oplus k_{PD} \cdot P(D_i \setminus D_{cur}), \tag{19}$$

где $P(D_i \setminus D_{cur})$ – условная вероятность появления признака D_i после текущего признака D_{cur}; k_{PD} – коэффициент пропорциональности.

Аналогично, дополнительная активация фонемных ЭФП пропорциональна условным вероятностям появления конкретной фонемы после текущей фонемы:

$$s_{G_i} = s_{G_i} \oplus k_{PG} \cdot P(G_i \setminus G_{cur}), \tag{20}$$

где $P(G_i \setminus G_{cur})$ – условная вероятность появления фонемы G_i после текущей фонемы G_{cur}; k_{PG} – коэффициент пропорциональности.

ЭФП словесного уровня определим как пятерку:

$$W = < \{w_t\}_{t=1}^n, \{d_t\}_{t=1}^n, \{g_t\}_{t=1}^n, y_W, A_W >, \tag{21}$$

где $\{w_t\}_{t=1}^n$ – последовательность весов речевых сегментов в интервале между двумя моментами принятия фонемного решения на словесном уровне (иначе говоря, последовательность весов предполагаемых фонем в слове); $\{d_t\}_{t=1}^n$ – последовательность выходных значений признаковых ЭФП, соответствующих фонетическим признакам, присутствующим в данном слове; $\{g_t\}_{t=1}^n$ – последовательность выходных значений фонемных ЭФП, генерирующих текстовые символы, входящие в слово, представленное данным ЭФП словесного уровня; n – число предполагаемых фонем в слове, представ-

ленном данным ЭФП словесного уровня; y_W – выход словесного ЭФП; A_W – алгоритм, вычисляющий значение выхода словесного ЭФП:

$$A_W : \{w_t\}_{t=1}^{n}, \{d_t\}_{t=1}^{n}, \{g_t\}_{t=1}^{n} \to y_W. \quad (22)$$

На рисунке 5 проиллюстрирована модель ЭФП словесного уровня, генерирующего слово «ОДИН». Моментами принятия фонемного решения на уровне словесных ЭФП, в простейшем случае, можно считать речевые сегменты пауз.

Алгоритм A_W включает три шага:

1. Вычисление суммарного состояния ЭФП по признакам:

$$s_{WD} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} w_t \cdot d_t. \quad (23)$$

2. Вычисление суммарного состояния ЭФП по фонемам:

$$s_{WG} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} w_t \cdot g_t. \quad (24)$$

3. Расчет выхода:

$$y_W = \frac{s_{WD} + s_{WG}}{2}. \quad (25)$$

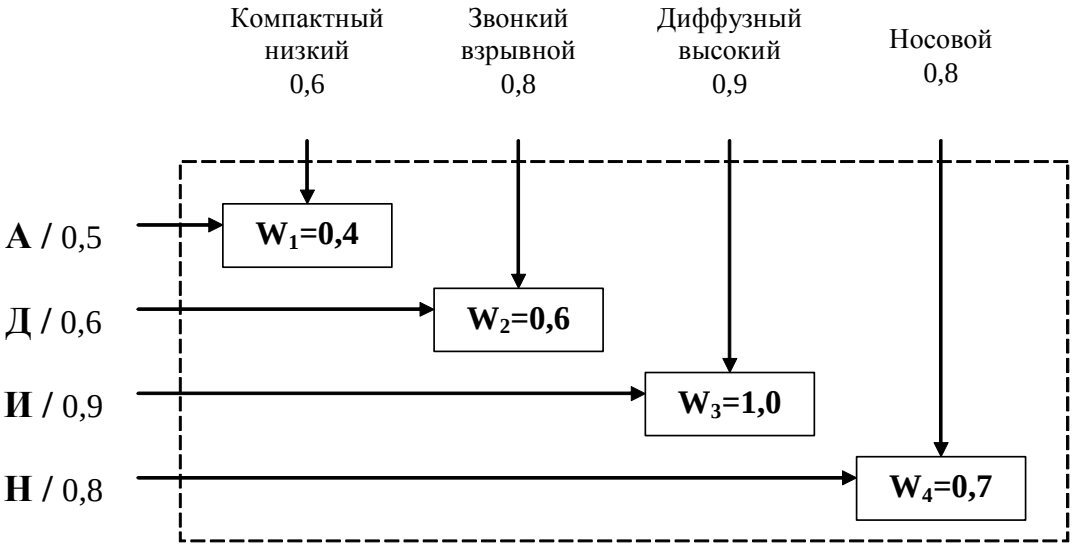


Рис. 5. Схематическое изображение словесного ЭФП

Если максимальный выход среди всех ЭФП словесного уровня превышает порог k_W, к выходной последовательности FCAS добавляется последовательность символов, представляющая слово, генерируемое данным ЭФП. В противном случае (слово отсутствует в лексиконе FCAS) к выходной последовательности добавляются текстовые символы, сгенерированные на фонемном уровне FCAS.

Эксперименты с FCAS. Модель была реализована программно и проверена на небольшом словаре (табл. 2), с использованием бюджетного микрофона и звуковой карты. В таблице 2 D – число удалений слов (число случаев, когда система не выдала никакого слова на выходе); S – число неверно распознанных слов; WER (Word Error Rate) – процент ошибок распознавания слова. В экспериментах участвовали 3 диктора (мужские голоса), произносившие все слова из таблицы по 50 раз.

Как видно из таблицы 2, показатель WER различается для разных слов, но не превышает 10 % (WER короткого слова «ДВА»); среднее значение WER составило 5 %. Это можно считать хорошим результатом, несмотря на ограниченность эксперимента (малые размер словаря и число дикторов), т. к. система не требует ни обучения на многочасовых коллекциях речевых данных, ни подстройки под диктора. Кроме того, предложенная в статье конфигурация модели – лишь одна из многих возможных (блоки на рисунке 1 являются взаимозаменяемыми).

Таблица 2

Результаты экспериментов

Слово	D	S	WER	Слово	D	S	WER
Ноль	1	10	7,33	Шесть	0	2	1,33
Один	0	7	4,67	Семь	0	4	2,67
Два	2	13	10	Восемь	0	6	4
Три	0	10	6,67	Девять	0	8	5,33
Четыре	0	3	2	Отмена	1	10	7,33
Пять	0	4	2,67	Вызов	0	9	6

Выводы и предложения. В статье рассмотрена модель постобработки РС, которая, в отличие от современных аналогов, не базируется исключительно на статистическом подходе к извлечению и представлению речевой информации. В модели FCAS отражены данные мировых исследований нескольких десятилетий, касающихся просодических, фонологических признаков речи (наряду с традиционно используемыми мел-частотными кепстральными), а фонетическая статистика используется как вспомогательный инструмент. Любой блок модели может быть заменен или удален для конкретной практической задачи. Достоинством модели является также ее относительно малая вычислительная сложность (отсутствие времяемких операций), что позволяет применять ее в критичном к ресурсам аппаратном обеспечении.

Предложенную модель можно рассматривать как перспективный вариант для построения более точных систем, а также для интеграции с современными статистическими моделями постобработки речи. Одним из направлений усовершенствования модели FCAS является адаптивная настройка коэффициентов модели и применение робастных методов извлечения признаков.

Список использованных источников

1. Apple Siri [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.apple.com/iphone/features/siri.html / 25.05.2012.

2. Huang X. Spoken Language Processing: A guide to theory, algorithm, and system development / X. Huang, A. Acero, H. Hon. – Prentice Hall. – 2001. – 980 p.

3. Шарий Т. В. О проблеме параметризации речевого сигнала в современных системах распознавания речи / Т. В. Шарий // Вісник Донецького національного університету. Серія А. Природничі науки. – Вип. 2 (2). – 2008. – С. 536-541.

4. Каргин А. А. Анализ речевых сигналов с учетом просодических характеристик / А. А. Каргин, Т. В. Шарий // Сборник трудов X международной конференции «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2010». – К., 2010. – С. 339-344.

5. Каргин А. А. Применение нечеткой логики в системах фонологической классификации звуков речи / А. А. Каргин, Т. В. Шарий // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 210-219.

6. McClelland, J. L. The TRACE Model of Speech Perception / J. L. McClelland, J. L. Elman// Cognitive Psychology. – Vol. 18. – 1986. – P. 1-86.

7. Morton, J. Word recognition / J. Morton, J. C. Marshall // Psycholinguistics 2: Structures and Processes. – 1979. – P. 107-156.

8. Klatt, D. Speech perception: A model of acoustic-phonetic analysis and lexical access / D. Klatt // Journal of Phonetics. – Vol. 7. – 1979. – P. 279-312.

УДК 004.658

Я.І. Корнага, ст. викладач
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗАПИСУ ТА ПОШУКУ ДАНИХ У БАЗАХ ДАНИХ

Запропоновано нові методи оптимізації запису та пошуку інформації в базах даних. Проведено аналітичне та експериментальне дослідження збільшення швидкості запису та пошуку інформації. Здійснене порівняння швидкості пошуку зі стандартними методами, що базуються на основі індексів, які складаються з B+-дерев.

Ключові слова: *запис даних, пошук даних, індекси, B-дерева.*

Предложены новые методы оптимизации записи и поиска информации в базах данных. Проведено аналитическое и экспериментальное исследование увеличения скорости записи и поиска информации. Осуществлено сравнение скорости поиска со стандартными методами, которые базируются на основе индексов, какие складаються из B+-деревьев.

Ключевые слова: *запись данных, поиск данных, индексы, B-деревья.*

There are represented new methods of record optimization and information retrieval in the database. An analytical and experimental study of speed recording and retrieval information increase was conducted. The comparison of new retrieval rate methods with the standard one (have B+-trees index base) had been done.

Key words: *data recording, data retrieval, indexes, B-tree.*

Вступ. Найбільш важливими процесами в роботі з базами даних є запис інформації та пошук її в базі даних. Основною характеристикою цих процесів є швидкість. У сучасних СУБД при кожному зберіганні даних у таблицю відбувається перебудова індексів, що значно впливає на швидкість запису в БД. Клієнт змушений витрачати час на закінчення попереднього збереження та перебудову індексів. Іноді час затримки перед наступною операцією запису (модифікації) даних доходить до кількох хвилин, що не зовсім допустимо при роботі баз даних, в яких кілька сотень клієнтів [1; 2; 3]. А якщо їх тисячі і мільйони, то збереження буде тривати досить тривалий час та продуктивність роботи серверу відповідно буде падати [4; 5; 6]. Таким чином, є потреба в створенні методів підвищення ефективності запису та пошуку в базах даних.

Метод об'єднаних індексів. Для підвищення ефективності швидкості пошуку однакових даних у різних таблицях створюються об'єднуючі індекси. Це ефективно в тому випадку, коли в базі даних присутнє використання однакових полів у різних таблицях [7].

У листі дерева такого об'єднаного індексу потрібно зберігати запис-посилання на однакове поле в різних таблицях у форматі, як для звичайних B+-дерев, але з тією відмінністю, що запис, крім посилання на розміщення даних у таблиці, повинен містити ще і посилання на саму таблицю, як це показано на рисунку 1.

ключ 1 запис 1.i	ключ 2 запис 2.j	…	ключ k запис k.m

Рис. 1. Структура листової сторінки дерева об'єднаного індексу.

Значення запису-посилання 1, 2,…,k показують конкретне посилання на дані, а значення запису-посилання i, j,…, m – номер таблиці, в якій знаходяться дані.

Це дає можливість суттєво економити час пошуку даних у різних таблицях одночасно, адже посилання на записи будуть зберігатися в одному місці.

Для описання алгоритму використання цього об'єднаного індексу приведемо приклад його роботи. Будемо проводити пошук-порівняння всіх студентів, які навчаються, та студентів, які працюють в університеті. Для цього приведемо приклад запиту, за яким буде відбуватися пошук цієї інформації:

«SELECT прізвище, ім'я, по батькові студента

FROM таблиця Студенти, таблиця Співробітники

WHERE прізвище студента = прізвище співробітника та ім'я студента = ім'я співробітника та дата народження студента = дата народження співробітника»

З цього запиту видно, що в зв'язку з тим, що пошук відбувається за двома таблицями, то відповідно будуть використовуватися індекси, які створенні по полях "прізвище" та "ім'я", двох таблиць. При використанні об'єднаного індексу запит буде використовувати один і той самий індекс, який буде читатися в оперативну пам'ять один раз та швидше видасть результат співпадання ПІБ, що й призведе до зменшення часу пошуку майже вдвоє.

Після розгляду прикладу приведемо метод пошуку на основі алгоритму використання об'єднаних індексів:

1. Клієнт створює запит на пошук даних за кількома таблицями.
2. Запит обробляється компілятором та перевіряється на наявність об'єднаних індексів за даними полів та таблиць.
3. У разі наявності об'єднаного індексу, використовується він, а якщо об'єднаний індекс відсутній, то використовують стандартні табличні індекси для пошуку даних.
4. Клієнт отримує результати пошуку даних за кількома таблицями.

Метод хешування індексів. При частому пошуку даних і використанні одних і тих самих індексів доцільно було б зберігати найчастіше використані індекси в оперативній пам'яті, це б зменшило час доступу до фізичного диску і відповідно зменшило б час, потрачений на пошук інформації.

Наприклад, для практично всіх таблиць БД характерною особливістю є наявність ідентифікаторів, адже порівняння таблиць, для вибору даних з них, проводиться практично завжди саме за допомогою ідентифікаторів основних полів.

Для написання алгоритму методу хешування індексів визначимо основні причини зберігання індексів у пам'яті:

1. Часте використання їх для пошуку даних.
2. Зчитування індексу з жорсткого диску займає набагато більше часу, ніж з оперативної пам'яті.
3. Після операцій запису (модифікації) даних проводиться перебудова індексів, яка займає набагато більше часу, ніж пошук даних.

Відповідно до названих причин створимо метод пошуку на основі алгоритму використання методу хешування індексів за умови, що індекси, які використовуються найчастіше, зберігаються в оперативній пам'яті:

1. Запит, що був створений клієнтом БД, про пошук даних передається на оброблення компілятором.
2. Компілятор визначає таблиці та індекси в них, за допомогою яких потрібно проводити пошук.
3. Перевіряє наявність чи відсутність індексу в оперативній пам'яті.
4. У разі, якщо індекс присутній в оперативній пам'яті, пошук проводиться по ньому, а якщо відсутній, то проводиться зчитування його в пам'ять для подальшого проведення пошуку.
5. Знайдені дані передаються клієнту БД.

Під час запису (модифікації) даних проводяться ті самі операції, що і під час пошуку, з тією відмінністю, що спочатку дані обробляються, а потім відбувається перебудова індексів.

Метод тимчасових таблиць. Для того, щоб не відбувалось затримок у роботі серверу БД, потрібно створити тимчасові таблиці для зберігання даних. Потік інформації з запитами запису, який іде від клієнтів, буде записуватися в них. Тимчасові таблиці створюватимуться для таблиць, в які проводяться операції запису даних найчастіше та в яких використовується багато індексів для проведення пошуку даних.

Тимчасові таблиці створюються на основі існуючих основних таблиць та мають абсолютно ідентичний вигляд з ними. Єдиною відмінністю може бути додавання службо-

вих полів для визначення історії записів, у які можуть входити: час запису та ідентифікатор користувача, який проводив запис.

Наприклад, під час сесії користувачі БД активно вносять оцінки протягом робочого часу в таблицю *Відомості*. Доцільно створити тимчасову таблицю *Відомості_тимчасова_N (де N – номер тимчасової таблиці),* як зображено на рисунку 2, в якій будуть зберігатися предмети з оцінками, які було введено протягом робочого дня та службові поля (ІД користувача, час внесення зміни), а в період найменшої активності користувачів проводити перенесення даних з тимчасової таблиці в основну.

Таблиця Відомості_тимчасова_N

ІД студента	ІД відомості	ІД дисципліни
Оцінка	Оцінка ECTS	Кількість балів
Номер перездачі	Тип занять	Семестр
ІД Викладача	Дата проведення	Дата видачі
Факультет	Курс	Сесія
Підстава перездачі	Навчальна група	ІД користувача
Час внесення змін		

Рис. 2. Приклад тимчасової таблиці для основної таблиці Відомості

Перенесення даних з тимчасової таблиці в основну може відбуватися за чотирма варіантами:

1. Перенесення за кількістю полів заповнення тимчасової таблиці.
2. Перенесення за плином часу заповнення.
3. Перенесення при найменшій активності користувачів.
4. Перенесення за вимогою адміністратора (користувача) БД.

Перший варіант перенесення в основну таблицю здійснюється при перевищенні мінімальної кількості записів у тимчасовій таблиці. Перед початком перенесення завершуються всі транзакції та створюється нова тимчасова таблиця, в яку і будуть писатися дані. Перенесення даних відбувається звичайним дописування в кінець таблиці. Після перенесення обов'язково відбувається перебудова індексів основних таблиць, в які було записано дані.

Другий варіант аналогічний першому, тільки замість мінімального заповнення тимчасової таблиці точкою перенесення є проходження заданого проміжку часу.

При третьому варіанті основною характеристикою процесу перенесення даних є активність користувачів бази даних. Перенесення відбувається при найменшій активності. В основному найменша активність користувачів БД припадає на нічну частину доби, а також, як запасний варіант, під час обідньої перерви.

Четвертий варіант служить як резервний, тому що зазвичай його використовують під час роботи з таблицями у відключеній від користувачів базі даних та проведення профілактики чи відновлювання даних. Тоді для збереження цілісності даних потрібно перенести всі дані з тимчасових таблиць в основні та аж потім проводити роботу з ними.

Для кращого розуміння роботи тимчасових таблиць опишемо їх життєвий цикл, який показаний на рисунку 3.

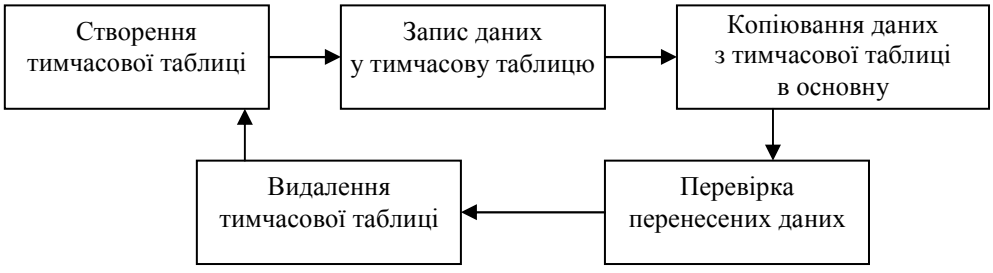


Рис. 3. Схема роботи тимчасових таблиць

Для того, щоб почати роботу з тимчасовими таблицями, СУБД створює їх у форматі, який описаний вище, та фізично розміщує у робочому табличному файлі. Дані, які потрапляють на сервер від користувачів, записуються в них протягом часу, аж поки не настане момент копіювання даних в основні таблиці. Перед самим початком копіювання створюється нова тимчасова таблиця для того, щоб не переривалася робота по внесенню даних користувачами СУБД. Після завершення копіювання даних в основну таблицю відбувається перевірка даних, що були перенесенні. У разі, якщо все пройшло успішно, то відбувається перебудова індексів основної таблиці. Після проведення всіх вищевказаних операцій тимчасова таблиця видаляється, у зв'язку з тим, що на її місці уже працює нова тимчасова таблиця, в яку уже заповнюються нові дані.

Враховуючи вищесказане, опишемо метод запису (модифікації) даних на основі алгоритму використання методу тимчасових таблиць відповідно до варіантів перенесення даних до основних таблиць:

1. Клієнт створює запит на запис даних.
2. Компілятор обробляє запит та визначає таблиці, в які потрібно проводити запис (модифікацію).
3. Якщо для таблиці, в яку потрібно проводити запис, існує тимчасова таблиця, то запис проводиться у неї, а якщо відсутня – то запис проводиться в основну таблицю.
4. Якщо дані, які потрібно модифікувати, знаходяться в основній таблиці, то проводиться модифікація даних та перебудова індексів основної таблиці, а якщо дані, які потрібно модифікувати, не було знайдено в основній таблиці, то проводиться пошук і модифікація даних у додатковій таблиці.
5. Після завершення запису (модифікації) клієнту передається кількість даних, які були записані (модифіковані).

Аналітична оцінка параметрів методів запису та пошуку даних. Під час розрахунку часу пошуку даних за ***методом об'єднаних індексів (МОІ)*** візьмемо до уваги той факт, що, як зображено на рисунку 4, пошук може відбуватися за двома варіантами. Для першого варіанта характерно те, що пошук посилань на дані з різних таблиць у дереві відбувається по одних і тих самих вузлах, тоді економиться час $T_Д$ на зчитування з жорсткого диску вузлів індексу (дерева) для однієї з таблиць, у зв'язку з тим, що вони уже були зчитані для другої таблиці. Відповідно, час пошуку $T_{ПО}$ буде розраховуватися за формулою:

$$T_{ПО} = m(T_Д + 2T_В), \quad (1)$$

де $T_Д$ – час зчитування вузлів дерева індексу пошуку з жорсткого диску, $T_В$ – час пошуку у вузлі дерева для першої та другої таблиці та m – висота дерева.

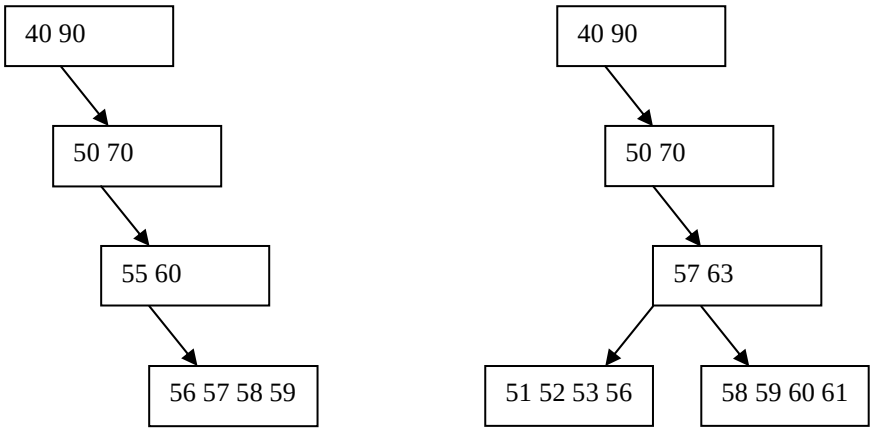


Рис. 4. Приклади пошуку даних у деревах за методом об'єднаних індексів

Для другого варіанта характерно те, що пошук посилань на дані з різних таблиць у дереві відбувається не по одних і тих самих вузлах, тоді економиться час тільки на зчитування з жорсткого диску вузлів індексу (дерева) для однієї з таблиць до того моменту, поки не розходяться шляхи пошуку по дереву. Відповідно, час пошуку $T_П$ буде розраховуватися за формулою:

$$T_{ПО} = m(T_Д + 2T_В) + dT_Д, \quad (2)$$

де $T_Д$ – час зчитування вузлів дерева індексу пошуку з жорсткого диску для першої таблиці, $T_В$ – час пошуку у вузлі дерева для першої та другої таблиці, m – висота дерева та d – кількість вузлів, що додатково потрібно зчитати з жорсткого диску (d завжди менше m).

Отже, для розрахунку часу пошуку даних за методом об'єднаних індексів, потрібно використовувати формулу 2, а в разі відсутності розбіжності у вузлах пошуку, то d = 0 та час пошуку розраховується за першим варіантом.

Фактично відбувається економія часу пошуку даних, що складає: для першого варіанта розрахунку $mT_Д$, а для другого варіанта – $(m\text{-}d)T_Д$.

Для оцінки часу пошуку при застосуванні ***методу хешування індексів (МХІ),*** потрібно враховувати той факт, що перед застосування індексу потрібно один раз потратити час $T_{ДЗ}$ для знаходження та зчитування індексу з жорсткого диску. В подальшому буде використовуватися тільки час $T_В$ на пошук у вузлах дерева індексу, яке зберігається в оперативній пам'яті. Відповідно до формули оцінки часу $T_П$ пошуку даних у таблиці можна виключити $T_{ДЗ}$, так як він тратиться тільки один раз. Отже, формула оцінки часу пошуку даних за методом хешування індексів має такий вигляд:

$$T_{ПХ} = mT_В, \quad (3)$$

де $T_В$ – час пошуку у вузлах дерева та m – висота дерева.

Застосування методу хешування індексів дозволяє значно економити час пошуку, підвищити ефективність застосування індексів у БД та в зв'язку з малою кількістю звернень зменшує навантаження на жорсткий диск.

Для оцінки параметрів запису інформації в БД за допомогою ***методу тимчасових таблиць*** потрібно ввести такі позначення:

$T_З$ – час запису інформації в БД,

$T_{ПР}$ – час однієї перебудови індексів для відповідної таблиці,

$T_{ЗТ}$ – час одного запису інформації,

$T_{ПД}$ – час переносу даних з тимчасової таблиці в основну,

n – кількість записів, які проводяться у відповідну таблицю.

У загальному випадку під час запису даних час запису розраховується за формулою:

$$T_З = n(T_{ЗТ} + T_{ПР}), \quad (4)$$

тобто, під час кожного запису витрачається час на сам запис інформації $T_{ЗТ}$ та час на перебудову індексів $T_{ПР}$.

Для методу використання тимчасових таблиць характерною особливістю є відсутність багаторазової перебудови індексів для таблиці, тому формула часу запису інформації в БД матиме вигляд:

$$T_З = nT_{ЗТ} + T_{ПР} + T_{ПД}, \quad (5)$$

тобто, замість виконання n перебудов індексів ми перебудовуємо їх тільки один раз.

Так як час $T_{ПР}$ перебудови індексів значно більший за час $T_{ПД}$ запису з тимчасової таблиці в основну, то $T_{ПД}$ можна знехтувати, тоді виграш часу запису даних з використання методу тимчасових таблиць складає $(n\text{-}1)T_{ПР}$, що дозволяє виконувати більше операцій запису одночасно.

Експериментальні оцінки параметрів методів пошуку даних. Візьмемо час $T_Д$, за який відбувається пошук та зчитування відповідного вузла дерева на жорсткому диску рівним 10 мс, а час $T_В$ пошуку у цьому вузлі рівним 2 мс та підставимо його у формули для розрахунку методів пошуку і порівняємо їх з часом пошуку по B+-деревах (табл. 1).

Таблиця 1

Час пошуку в мс для різної кількості записів та середньої наповненості дерева

Кількість записів	B+-дерева	MOI	MXI
5000	24	7	2
10000	24	10.5	3
50000	24	10.5	3
100000	24	10.5	3
500000	36	10.5	3
1000000	36	14	4
5000000	36	14	4

На рисунку 5 зображений графік, який показує відмінність у часі пошуку для різних методів пошуку.

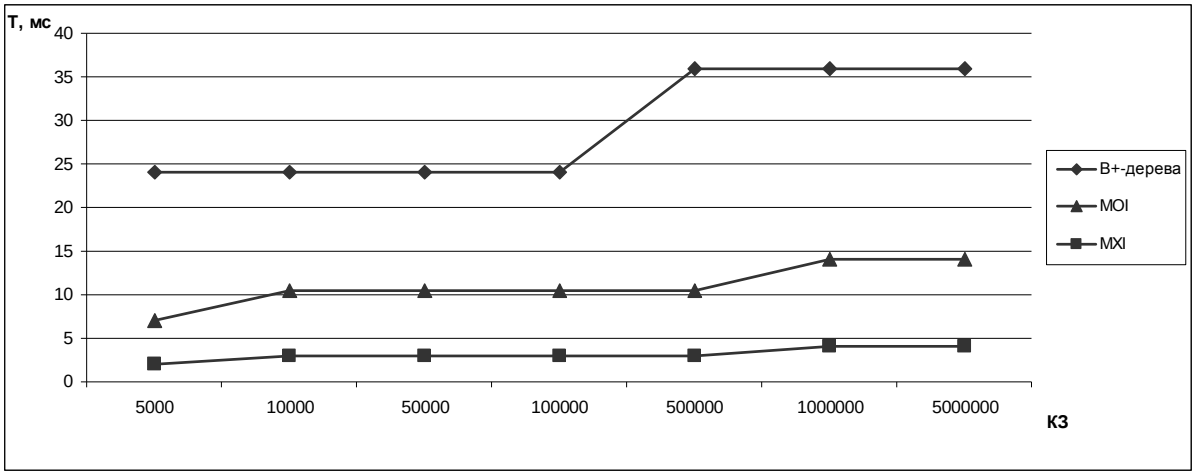


Рис 5. Залежність часу пошуку від кількості записів для різних методів

Висновки. Пошук на основі методу об'єднаних індексів доцільно використовувати, для тих таблиць, які найчастіше попадають під пошук та поля, в яких найчастіше порівнюють між собою. Зазвичай він буде використовуватися для двох таблиць, але зі збільшенням об'ємів БД та розподіленістю її елементів він може використовуватися і для більшої кількості таблиць. Використання методу хешування індексів призводить до покращення часу пошуку та швидкості перебудови індексів під час запису (модифікації) даних у БД у тих випадках, коли один і той самий індекс використовується в багато разів за короткий проміжок часу. Використання методу тимчасових таблиць для запису даних у БД веде до зменшення часу запису, в зв'язку з відсутністю в тимчасовій таблиці БД індексів та потребою в їх перебудові.

Таким чином, вибір певного методу запису та пошуку даних залежить від декількох параметрів побудови бази даних, а саме: кількості таблиць та записів у них, кількості звернень до відповідної таблиці, кількості побудованих індексів на відповідну таблицю та типів даних у відповідних полях БД.

Список використаних джерел

1. Кренке Д. Теорія й практика побудови баз даних / Д. Кренке. – СПб.: Питер, 2008. – С. 800.
2. Хомоненко А. Д. Бази даних / А. Д. Хомоненко, В. М. Циганок, М. Г. Мальцев. – СПб.: Корона, 2007. – С. 736.
3. Портякин І. Ввведення в системи баз даних / І. Портякін. – М.: Вільямс, 2006. – С. 1328.

4. Джен Л. Проектування реляційних баз даних / Л. Джен, С. Харрингтон. – М.: Лорі, 2006. – С. 230.
5. Горєв А. Ефективна робота із СУБД / А. Горєв, Р. Ахаян, С. Макашарипов. – СПб., 2006. – С. 704.
6. Коннолі Т. Бази даних. Проектування, реалізація та супровід / Т. Коннолі, К. Бегг. – М.: Вільямс, 2008. – С. 1440.
7. Мишра С. Секрети Oracle SQL / С. Мишра, А. Бьюли. – СПб.: Символ-плюс, 2006. – С. 368.

УДК 519.161

А.Н. Подоляка, ст. преподаватель
НАУ «ХАИ», г. Харьков, Украина

О.А. Подоляка, канд. техн. наук
ХНАДУ, г. Харьков, Украина

Е.В. Скакалина, канд. техн. наук
ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, г. Полтава, Украина

ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОКРЫТИЯ ДВУДОЛЬНОГО ГРАФА ЗВЕЗДАМИ И НЕКОТОРЫХ ЕЕ ОБОБЩЕНИЙ

В работе рассматривается класс полиномиально разрешимых задач, сводимых к задаче покрытия двудольного графа звездами, а также некоторые похожие труднорешаемые задачи, в частности, коммивояжёра, трехмерного сочетания и задача о покрытии множеств.

***Ключевые слова**: реберное покрытие графа, звезды, циклы, паросочетания.*

У роботі розглядається клас поліноміально вирішуваних задач, які зводяться до задачі покриття дводольних графа зірками, а також деякі схожі складновирішувані задачі, зокрема, комівояжера, тривимірного сполучення і задачі про покриття множин.

***Ключові слова:** реберне покриття графа, зірки, цикли, паросполучення.*

We consider the class of polynomial problems reducible to the problem of the bipartite graph stars covering, as well as some of hard problems: traveling salesman, three-dimensional machining and the set covering problem.

***Key words:** edge graph covering, stars, cycles, machining.*

Постановка задачи покрытия двудольного графа звездами. Рассмотрим оптимизационную задачу покрытия взвешенного двудольного графа $G(V_1,V_2)$ звездами одинаковой степени.

h-звезда – это связный двудольный граф $G_{1,h}$, одна из долей которого имеет степень равную h и называется вершиной звезды, а каждая из вершин другой доли – единичную степень. Звезду можно также рассматривать как дерево, у которого количества ребер и листьев равны степени звезды.

h-звездным покрытием графа назовем множество $E_h \in E$ ребер графа инцидентных звездам, степень которых не превосходит h.

Пусть w – весовая функция, тогда вес звездного покрытия определяется как сумма весов его ребер.

$$w(E_h) = \sum_{e \in E_h} w(e). \qquad (1)$$

Наибольшим h-звездным покрытием (НЗП) графа назовем h-звездное покрытие $E_h^{'} \in E$ максимальной мощности, т.е. для любого $E_h^{'}, \left|E_h^{'}\right| \geq \left|E_h\right|$. НЗП, покрывающее все вершины графа, назовем *совершенным ЗП*. Множество всех возможных наибольших h-звездных покрытий графа обозначим $E_h^{'all}$.

В рассматриваемой задаче первой доли исходного графа соответствуют вершины звезд, а вершины второй доли – это листья звезд. Для удобства будем считать, что ко-

личества вершин второй V_2 и первой доли V_1 кратны степени звезды, т. е. $|V_2| \geq |V_1|$, $|V_2| = h \cdot |V_1|$, $h \in N$.

Выполнение этого условия можно всегда обеспечить путем добавления недостающего количества фиктивных вершин и ребер.

Пусть оптимальным считается звездное покрытие, сумма весов ребер которого минимальна.

$$w\left(E_h^*\right) = \min_{E_h^{'} \in E_h^{'all}} \left(w\left(E_h^{'}\right)\right). \quad (2)$$

Это функционал задачи поиска *наибольшего звездного покрытия в двудольном графе* НЗПдг экстремального веса.

Одна из практических интерпретаций задачи может быть следующей. Пусть в организации имеется *m* автобусов по *h* посадочных мест в каждом, и задана матрица, определяющая стоимость перевозки пассажира на соответствующем автобусе. Требуется перевезти максимальное число пассажиров по минимальной стоимости (с максимальной для автопредприятия прибылью).

Анализ исследований и связь НЗПдг с другими задачами. Следует отметить, что задача НЗПдг весьма похожа на хорошо известную задачу о назначениях (ЗН). Потешной интерпретацией ЗН является задача о брачном агентстве (или *бракосочетаниях*). В дискретной математике – это задача поиска максимального паросочетания экстремального веса во взвешенном двудольном графе. Она эффективно решается на основе теоремы Форда-Фалкерсона о максимальном потоке и минимальном разрезе. В свою очередь теорему Форда-Фалкерсона принято считать реберной формой фундаментальной теоремы Менгера, определяющей меру реберной связности графа.

Теорема Менгера. *Максимальное число реберно-непересекающихся цепей, соединяющих две различные вершины a и b графа, G равно минимальной мощности ab-разделяющего множества* (*ab-разделяющее множество* – это множество ребер, после удаления которых вершины *a* и *b* становятся несвязными).

У Форда-Фалкерсона максимальное число реберно-непересекающихся цепей – это разрез, *ab*-разделяющее множество называется потоком. Эта теорема устанавливает верхнюю границу потока, но ничего не говорит о том, как его искать. Для поиска цепей используют алгоритмы обхода графа.

Чтобы решить задачу ЗН, необходимо уметь находить множества ребер двудольного графа, не имеющих общих концов или *паросочетания*. Для этого строится сеть невзвешенного двудольного графа. Вершины первой доли связываются с истоком s, а второй со стоком t и затем ищется максимальный поток. Значение найденного потока определяет число ребер наибольшего паросочетания (НП), а ребра двудольного графа, формирующие реберно-непересекающиеся цепи, образуют наибольшее паросочетание.

Обычно поиск паросочетания осуществляется алгоритмами, использующими чередующиеся цепи. Эти алгоритмы являются, по сути, модификациями общего алгоритма поиска потока.

Известны следующие алгоритмы поиска паросочетаний:

1. Куна (чередующиеся цепи) $O(VE)$.
2. Микали-Визирани $O\left(\sqrt{V}E\right)$.
3. Матвани-Федера $O\left(\sqrt{V}E\frac{log\left(V^2/E\right)}{logV}\right)$.

Следует отметить, что задачу НЗПдг невозможно решить на основе подобного подхода, т. к. решение задачи образуют реберно-**пересекающиеся** цепи. На языке теории потоков это означает, что для данной задачи не соблюдается фундаментальный закон сохранения потока. Можно сказать, что в этом случае коэффициент умножения потока равняется степени звезды.

Очевидно, что паросочетание просто найти по звездному покрытию, для этого нужно выбрать по одному произвольному ребру каждой найденной звезды. Также отметим, что классическая задача поиска наибольшего паросочения является частным случаем задачи поиска наибольшего звездного покрытия, т. к. любое ребро паросочетания можно рассматривать как вырожденную звезду $G_{1,1}$. Поэтому все множество задач, приводимых к задаче поиска наибольшего паросочения, может быть решено алгоритмом поиска звездного покрытия. Приведем наиболее известные задачи и основные минимаксные теоремы, с помощью которых они решаются.

Эффективно решаемые задачи, моделирующие отношения один к одному:

1. Наибольшее паросочетание (НП), чередующиеся цепи (теорема К. Бёрджа). Совершенное паросочетание (теорема Ф. Холла).

2. Задача о назначениях (ЗН) и задача о назначениях на узкое место (Венгерская теорема Д. Кёнига, Э. Эгервари).

3. Трансвенсали, трансвенсальный матроид (теорема Дж. Эдмондса, Д. Фалкерсона, теорема Р. Радо).

4. Цепи и антицепи (теорема Л. Дилворта).

5. Поиск наименьшего вершинного покрытия двудольных графов (теорема Кёнига-Эгервари).

Похожие труднорешаемые задачи:

6. Трехмерное сочетание (3-С).

7. О покрытии множествами (ТП-3).

8. Гамильтонов цикл и циклические перестановки, задача коммивояжёра (ЗК). Вычисление верхней оценки в методе ветвей и границ с помощью решения ЗН.

Новые эффективно решаемые задачи, моделирующие отношения один ко многим:

9. Задача поиска наибольшего звездного покрытия в двудольном графе.

10. Задача поиска наибольшего звездного покрытия в двудольном графе на узкое место.

11. Задача поиска наибольшего покрытия звездами различной степени в двудольном графе.

Новые эффективно решаемые задачи, моделирующие отношения многие ко многим

12. Задача поиска множества наибольших покрытий двудольного графа.

Следует отметить, что задачи 3, 4, 5 эквивалентны задаче поиска паросочетания 1. Формулировки теорем, многие ключевые положения и доказательства собраны в работах [3; 6; 4]. Теорию сложности и классификацию трудных задач можно найти в работах [1; 6; 2].

Трудную задачу 3-С хотелось бы выделить отдельно, т. к. она в некоторой мере похожа на задачу о назначениях и задачу покрытия двудольного графа звездами $G_{1,2}$. Эта задача является одной из шести базовых NP-полных задач по классификации Гери и Джонсона. По аналогии с разрешенными законодательно бракосочетаниями (ЗН), задача 3-С формулируется авторами [1] как задача поиска наибольшего числа законодательно запрещенных бисексуальных групп (сочетаний по три) в трехдольном графе, каждая доля которого соответствует определенному сексуальному типу.

Может показаться, что матрица трехдольного графа $G_{n,n,n}$ напоминает матрицу двудольного $G_{n,2*n}$ и каждая из упомянутых троек представляет собой звезду $G_{1,2}$. И, следовательно, задача 3-С может быть решена как задача НЗПдг. Алгоритм НЗПдг не может эффективно решить данную задачу, поскольку каждая тройка трехмерного сочетания – это цикл. Поэтому 3-С – это задача покрытия трехдольного графа тройными циклами. Кроме того, в НЗПдг следует найти максимальное количество ребер звезд и не требуется, чтобы звезды были максимально полными.

Поэтому рассмотрим более «простую» задачу об автомобилях и однотипных пассажирах. Пусть ее представляет двудольный граф $G_{n,h*n}$, где h – степень звезды. Требование максимальной полноты звезд в этой задаче на практике может означать, что нужно перевезти максимальное количество пассажиров минимальным числом автомобилей (минимум звезд). Этому случаю соответствует один из видов другой сложной задачи, которая называется задачей о покрытии множеств (ТП-3). Здесь покрытие множества – это максимальное число пассажиров, а наименьшее покрытие –это минимальное число ограниченных по мощности подмножеств, или звезд, или трехместных автомобилей. В работе [1] показано, что ТП-3 есть обобщение задачи 3-С. В общем случае эта задача не может быть приведена к задаче НЗПдг, т. к. в ней не учитывается полнота звезд.

Приведенные рассуждения позволяют сформулировать очевидную лемму.

Лемма. *Решения задач НП, ТП-3 и 3-С являются подмножествами решений задачи НЗПдг.*

Следует отметь, что задачи 9-11, в отличии от задач 1-8, моделируют на порядок более сложное отношение – один ко многим. Данное отношение определяет практические задачи, в которых одному исполнителю назначается несколько работ. Практические постановки указанных задач непосредственно следуют из штатных расписаний, нормативных, технических требований и т. п. Например, один терапевт должен обслуживать n пациентов, одна бригада выполняет n строительных проектов, каждый компьютер кластерной вычислительной системы выполняет заданное число задач.

Задача 12 непосредственно связана с циклическими задачами. Частным случаем этой задачи является задача поиска двух реберно-непересекающихся паросочетаний в двудольном графе, решение которой представляет собой покрытие данного графа циклами (т. к. каждая вершина произвольного цикла имеет вторую степень). Можно также сказать, что решением этой задачи являются сильно связные компоненты графа.

Основные теоретические положения. Ключевой целью работы является разработка алгоритма решения задачи покрытия двудольного графа звездами и ее обобщений 10-12. Идея алгоритма заключается в поиске множества элементов матрицы β, которые формируют множество оптимальных решений или *оптимальное множество* Q^*. Отметим, что каждое отдельное оптимальное решение эффективно может быть построено из элементов множества Q^*.

В основе алгоритма лежит обобщенная теорема Холла, которая определяет условия существования совершенного звёздного покрытия в невзвешенном двудольном графе. На основании этой теоремы формируется оптимальное множество Q^*.

Обобщенная теорема Холла. Совершенное h-звездное покрытие в двудольном графе $G(V_1,V_2)$, $h\cdot|V_1|=|V_2|$ существует тогда и только тогда, когда $\forall A\in V_1\ h\cdot|A|\le|\Gamma(A)|$, где $|\Gamma(A)|$ – количество вершин второй доли графа смежных некоторому подмножеству A вершин первой доли.

В ходе работы алгоритма полиномиальное число раз выполняются две ключевые процедуры:

1. Запрещение. Поиск элемента $\overline{\beta_{ij}} \in \overline{Q*}$, не принадлежащего оптимальному множеству Q^*, и его запрещение.

2. Нормализация – уменьшение значения запрещенного элемента $\overline{\beta_{ij}}$, при котором оптимальное множество Q^* не изменяется.

Ясно, что при выполнении этих процедур элементы матрицы, входящие в оптимальные решения, не изменяются, а значения остальных запрещенных элементов будут уменьшены. Момент, когда дальнейшее уменьшение станет невозможным, отражен в минимаксной лемме останова, которая является одной из форм обобщения фундаментальной теоремы Менгера для двудольных графов. Поэтому в основе алгоритма лежат три типа теорем.

1. Теоремы запрещений, на основании которых выполняется поиск элемента $\overline{\beta_{ij}} \in \overline{Q*}$.

2. Теоремы нормализации.

3. Лемма останова.

Алгоритмизация теорем запрещений сводится к поиску экстремальных элементов мультимножеств, которые в работе названы линейными парами.

Линейные пары. Пусть $\beta_{a,d} \wedge \beta_{c,b}$ - пара элементов (ребер графа) некоторого решения задачи НЗП и существует ее замена $\beta_{a,b} \wedge \beta_{c,d}$, которая улучшает или не ухудшает исходное решение. Эта операция сводится к перестановке элементов решения по два и может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} &\beta_{a,b}+\beta_{c,d} \le \beta_{a,d}+\beta_{c,b};\\ &\left(\beta_{a,b}-\beta_{c,b}\right) \le \left(\beta_{a,d}-\beta_{c,d}\right). \end{aligned} \qquad (1)$$

Понятно, что выражение (3) определяет путь построения лучшего решения задачи, ключевым звеном этого пути является элемент, называемый линейной парой (ЛП). Элементы формулы (3): $\left(\beta_{a,b},\beta_{c,b}\right)$ и $\left(\beta_{a,d},\beta_{c,d}\right)$ – это *линейные пары*. Они позволяют сравнивать решения и соответственно выбирать среди них перспективные и отбрасывать однозначно недопустимые.

Пусть $w\left(L_j^{cs}\right)$ – весовая функция ЛП, тогда *значением линейной пары* строк с и s матрицы будем называть:

$$l_j^{cs} = w\left(L_j^{cs}\right) = \beta_{cj} - \beta_{sj},\ j \in [0, N-1]. \qquad (4)$$

Элемент β_{cj} будем называть *клиентским значением* линейной пары, а β_{sj} – *серверным значением*. Если удобно, индексы клиентской и серверной строк в значении ЛП можно явно не указывать – L_j. Абстрактный тип данных ЛП формируют три обязательных поля: *индекс клиентской строки (c), индекс серверной строки(s)* и *индекс их столбца (j)*. Эквивалентные обозначения ЛП $L_j^{cs} \Leftrightarrow L\left(\beta_{cj},\beta_{sj}\right) \Leftrightarrow \left(\beta_{cj},\beta_{sj}\right)$.

Расстояние между ЛП $\left(\beta_{ab},\beta_{cb}\right)$ и $\left(\beta_{a,d},\beta_{c,d}\right)$ определим следующим образом.

$$d\left(a,c,b,d\right) = l_b^{ac} - l_d^{ac} = \left(\beta_{ab} - \beta_{cb}\right) - \left(\beta_{ad} - \beta_{cd}\right). \qquad (2)$$

Следует отметить, что в качестве основного критерия, по которому осуществляется сравнение пар, выступает значение ЛП. Поэтому расстояние между ЛП определяет их упорядочение. Однако могут быть и другие дополнительные критерии, в которых учитываются комбинации запрещений клиентских и серверных значений ЛП. Такие пары называются типизированными и в настоящей работе не рассматриваются.

Свойства ЛП:

1. Если к серверному и клиентскому значению ЛП добавить произвольную константу C, то значение ЛП не изменится.

2. Если к серверным или клиентским значениям последовательности ЛП добавить произвольную константу C, то расстояние между линейными парами последовательности не изменится.

Мультимножество линейных пар (МЛП) – это последовательность линейных пар двух заданных строк. Одна из строк является клиентской, т. к. содержит клиентские значения ЛП, а другая, соответственно, серверной. Нужно понимать, что последовательность пар является мультимножеством (не множеством), т. к. их упорядочение осуществляется на основе значений ЛП, которые могут быть одинаковыми.

Приведенный алгоритм решения НЗП реализует процедуру поиска недопустимых ребер, которая определяет индексы столбцов экстремальных по значению линейных пар в соответствующих МЛП. Следует отметить, что мультимножества имеют ряд особенностей, которые нужно учитывать [7]. Поэтому для МЛП нужно определить понятия экстремального элемента мультимножества, грани и т. п. Приведем эти определения.

Пусть *кратность элемента x* в множестве A есть $k_A(x)=k,\ k\in N+\{0\}$.

Пусть *оператор разбиения мультимножества* S обозначается $ext(S, f, k_A(f))$. Он делит S относительно значения *грани* f на два непересекающихся подмультимножества A и B такие, что: $\forall a\forall b(a\le b),\ A\bigcap B=\varnothing, S=A\bigcup B, f\notin B$. Так как $f\notin B$, возможны два варианта разбиения:

1. Все элементы B строго больше грани f:

$S=B^{>}\bigcup A^{\le},\ \forall a\forall b(a<b), k_B(f)=0$.

2. Все элементы B больше или равны грани f:

$S=B^{\ge}\bigcup A^{<}, \forall a\forall b(a\le b), k_B(f)>0\wedge k_B(f)=k_S(f)-k_A(f)$.

Таким образом, *подмножество максимальных ЛП*($B^{\ge}$) – подмножество элементов МЛП больших или равных по значению некоторой грани. *Подмножество наибольших ЛП* ($B^{>}$) – подмножество элементов МЛП строго больших по значению некоторой грани. *Подмножества минимальных ЛП* ($A^{\le}$) *и наименьших ЛП* ($A^{<}$) элементов определяются аналогично.

Обозначим подмножества индексов столбцов максимальных, наибольших, минимальных и наименьших элементов МЛП некоторой клиентской строки c, соответственно: $J_c^{\ge}, J_c^{>}, J_c^{\le}, J_c^{<}$.

Теперь сформулируем теоремы запрещения ребер взвешенного двудольного графа, которые сводят воедино линейные пары и обобщенную теорему Холла проверки существования НЗП.

Теорема 1. Строгое запрещение ребер. *Если в каждом из* ***n*** *различных мультимножеств линейных пар некоторой клиентской строки* ***c*** *существует одно и то же подмножество столбцов* $J_c^{>}$ *мощности* $\left|J_c^{>}\right|\le n*h$, *которое определяет клиентские значения наибольших ЛП в каждом из мультимножеств, то все элементы клиентской строки* c *с индексами столбцов* $J_c^{>}$ *не могут формировать оптимальные решения задачи НЗПдг.*

Теорема 2. Нестрогое запрещение ребер. *Если в каждом из* ***n*** *различных мультимножеств линейных пар некоторой клиентской строки* ***c*** *существует одно и то же подмножество столбцов* $J_c^{\ge}$ *мощности* $\left|J_c^{\ge}\right|\le n*h$, *которое определяет клиентские значения максимальных ЛП в каждом из мультимножеств, то запрет элементов кли-*

ентской строки c *с индексами столбцов* $J_c^{\geq}$ *не изменяет вес оптимального решения задачи НЗПдг.*

Запрет элемента строки можно трактовать как удаление ребра графа или установку бесконечного веса ребра.

Запрет ребер по теореме 2 может привести к потере некоторых оптимальных решений, но теорема гарантирует, что, по крайней мере, одно оптимальное решение останется.

Следует отметить, что тривиальный случай теоремы при $n=1$ выглядит весьма конструктивно, т. к. утверждает, что с помощью одного МЛП (пары строк матрицы) за линейное время можно запретить h элементов матрицы, или исключить из рассмотрения соответствующие h ребер двудольного графа. Запрещенный элемент матрицы (ребро) обозначим $\overline{\beta_{ij}}$.

Нормализация запрещенных элементов. *Нормализация* – процедура эффективного изменения весов запрещенных ребер. Нормализация состоит из двух действий: запрет элемента и изменение его значения на допустимую величину. Следовательно, теоремы запрещения и нормализации тесно связаны. Цель нормализации – рациональное переупорядочение МЛП, при котором возможно запрещение новых недопустимых элементов.

Пусть $J_c^{>}$, мощности $\left|J_c^{>}\right| \leq n*h$ множество индексов столбцов наибольших элементов n различных МЛП некоторой клиентской строки c. Ребра с индексами $\beta[c, J_c^{>}] = \beta_{J_c^{>}}$ можно запретить по строгой теореме 1. Отметим, что $J_c^{>}$ определяет подмножество наибольших ЛП $B_{ci}^{>}$ в каждом из $S_{ci} \in S$, $|S| = n$ мультимножеств, и подмножество минимальных элементов $A_{ci}^{\leq}$.

Пусть грань $f_{ci} = max(A_{ci})$, тогда $\forall a \forall b (a < b), a \in A_{ci}^{\leq}$, $b \in B_{ci}^{>}, S_{ci} = B_{ci}^{>} \bigcup A_{ci}^{\leq}$, $f_{ci} \in A_{ci}$.

Расстояние между подмножествами A_{ci} и B_{ci} мультимножества S_{ci} определим следующим образом $d_{ci} = d(A_{ci}, B_{ci}) = \min(B_{ci}) - \max(A_{ci}) = \min(B_{ci}) - f_{ci}$.

Минимальное расстояние (по всем МЛП)

$$d_{\min} = \min_{i \in n}\left(d_{ci}(A_{ci}, B_{ci})\right) = \min_{i \in n}\left(\min(B_{ci}) - f_{ci}\right). \quad (3)$$

Линейную пару f_{ci}, у которой $d_{ci}(A_{ci}, B_{ci}) = d_{\min}$, назовем *нормализатором* и обозначим f_{ci}^{norm}.

Теорема 3. Нормализации. *Если подмножество столбцов* $J_c^{>}$ *клиентской строки* c*, найденное по теореме запрещений, определяет множество элементов* $\overline{\beta_{J_c^{>}}}$ *матрицы* β*, которые не могут формировать оптимальные решения задачи, то значения этих элементов можно нормализовать по формуле*

$$\beta_{cj}^{norm} = \beta_{ij} + f_{ci}^{norm} + \varepsilon,\ j \in J_c^{>}, i \in I_c, \quad (4)$$

где ε – бесконечно малая величина, I_c – множество серверных строк c, f_{ci}^{norm} – ЛП определяющая грань, которая делит МЛП строк c и i на подмножества A_i и B_i, $A_i < B_i$.

Числа вида $x + k \cdot \varepsilon$, где x – основное значение, а $k \cdot \varepsilon$ – дополнительная часть, назовем *близкими*. Они реализуются в виде класса с множеством соответствующих операций.

Замечания.

1. Нормализованные ребра считаются допустимыми (в терминах УПК – условно осужденными) для построения решений, в противном случае в доказательствах теорем возможны «сюрпризы».

2. Нормализацию, при которой бесконечно малая величина не учитывается ($\varepsilon = 0$), назовем *нестрогой*. Отметим, что такая нормализация не изменяет длину оптимального решения задачи.

3. Для реализации алгоритма достаточно нестрогой нормализации.

4. Если подмножество запрещенных элементов найдено по строгой теореме запрещений, то после нормализации значения этих элементов будут уменьшены.

5. Если подмножество запрещенных элементов найдено по нестрогой теореме запрещений, то после нормализации значения запрещенных элементов, которые формируют ЛП, равные f_{ci}^{norm} будут увеличены на ε, остальные значения будут уменьшены.

6. В абстрактном типе данных ЛП бесконечно малая величина ε может быть представлена логическим значением (ban), которое следует понимать как коэффициент перед ε.

Остановка алгоритма. Понятно, что после нормализации решения задачи становятся одинаковыми, т. к. становятся равными соответствующие ЛП. Возникает вопрос – когда этот процесс останавливается? Ответ очевиден – этот момент наступит, когда нормализация станет невозможна, т. е. когда она не приводит к уменьшению запрещенных элементов. Это случится, если линейные пары всех МЛП M строк или N столбцов будут равны. Упомянутая ситуация отражена в лемме останова.

Лемма останова (минимаксная форма). *Если в каждом из n-1 различных МЛП матрицы β значение минимальной ЛП равно значению максимальной ЛП, то все решения являются равными и оптимальными.*

Заключение. Следует отметить, что приведенные в работе теоремы являются обобщением классических теорем Холла и Форда-Фалкерсона для двудольных графов, поэтому представляют собой определенный научный интерес. С их помощью можно эффективно решать известные классические задачи на двудольных графах, моделирующих отношения вида: одна машина – одна работа, а также решать задачи, моделирующие сложные отношения вида: одна машина – много работ.

Некоторые обобщения задач покрытия звездами, в частности, задача поиска множества (нескольких) наибольших покрытий двудольного графа может быть использована для эффективного поиска сильносвязных компонент графа.

Представленные результаты исследования могут быть использованы при разработке систем календарного планирования и оперативного управления на транспорте, систем управления гибкими автоматизированными системами для предприятий с дискретным характером производства и решения прикладных задач распределения ресурсов [2].

Список использованных источников

1. Гери М. Р. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Р. Гери, Д. С. Джонсон. – М.: Мир, 1982. – 416 с.

2. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. – М.: МЦНМО, 2000. – 956 с.

3. Ловас Л. Прикладные задачи теории графов. Теория паросочетаний в математике, физике, химии / Л. Ловас, М. Пламмер. – М.: Мир, 1998. – 653 с.

4. Пападимитриу Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц. – М.: Мир, 1985. – 510 с.

5. Петровский А. Б. Пространства множеств и мультимножеств / А. Б. Петровский. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 248 с.

6. Хопкрофт Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений / Д. Хопкрофт, Р. Мотвани, Д. Ульман. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2002. – 528 с.

7. Эвнин А. Ю. Вокруг теоремы Холла: учебное пособие / А. Ю. Эвнин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 71 с.

УДК 681.51

М.О. Ігнатенков, аспірант
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОНОХРОМНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ТА ПОБУДОВА «ЦИФРОВОЇ КАРТИ» ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИК

Запропоновано застосування методу багаторазового циклічного переведення фотографічного зображення поверхні з багатокольорової палітри у бінарну форму для вирішення завдання автоматизованого визначення її характеристик, зокрема, стосовно шорсткості.

Ключові слова: *шорсткість поверхні, «цифрова карта», оптичний метод, матриця-модель, автоматизована обробка.*

Предложено применение метода многоразового циклического перевода фотографического изображения из многоцветной палитры в бинарную форму для решения задачи автоматизированного определения ее характеристик, в частности, относительно шероховатости.

Ключевые слова: *шероховатость поверхности, «цифровая карта», оптический метод, матрица-модель, автоматизированная обработка.*

Application of method of multiple cyclic translation of photographic image is offered from a multicoloured palette in a binary form for the decision of task of the automated determination of its descriptions, in particular, in relation to a roughness.

Key words: *roughness of surface, «digital karta», optichniy method, matrix-model, automated treatment.*

Постановка проблеми. Автоматизоване визначення характеристик поверхонь, зокрема, побудови моделей шорсткості, картографічних моделей місцевості тощо є актуальним питанням для ряду галузей діяльності. Одним з важливих завдань при розробці методик визначення параметрів поверхні є побудова масиву, який відображає висоту рельєфу поверхні та придатний для подальшої обробки. Як такий масив може служити масив чисел певної розмірності, кожне з яких відповідає і відображає висоту розташування певної точки поверхні. У картографії такий масив чисел називають «цифровою картою» поверхні [1]. У машинобудуванні він відображає характеристики шорсткості поверхні. Тому автоматизована побудова такого масиву на основі вихідних даних, одержаних простими та доступними засобами, є шляхом вирішення вищезазначеного питання.

Аналіз досліджень і публікацій. Методи для вимірювання характеристик поверхні, зокрема, моделей місцевості [1], шорсткості [2], залежно від конструктивних особливостей приладів поділяють на контактні та безконтактні. При тому, зважаючи на можливості мікропроцесорної обробки, останні мають суттєву перевагу та поділяються на візуальні, лазерні та оптичні [2].

Найбільш вживаним наразі, зокрема у машинобудуванні, є порівняльний безконтактний метод, заснований на порівнянні реальної поверхні виробу зі зразками шорсткості, які мають стандартні значення параметрів Ra та Rz (ГОСТ 9378-93) і виготовляються для певних способів обробки матеріалів. Недоліком методу є суб'єктивність та обмеженість характеристик шорсткості параметрами Ra та Rz.

Найбільш точними на сьогодні є безконтактні методи вимірювання із застосуванням лазера, однак складність вимірювань, потреба у спеціальних вартісних приладах обмежують їх застосування.

Оптичні безконтактні методи реалізуються при вимірюванні параметрів поверхонь порівняно доступними оптичними приладами (аерофотозйомкою, подвійними мікроскопами, мікроінтерферометрами та ін.). Оптичні прилади для вимірювання параметрів шорсткості поверхні (ГОСТ 9847-79) засновані на принципі одночасного перетворення профілю поверхні і призначені для вимірювання параметрів Ra та Rz за ГОСТ 2789-73.

Для вимірювання параметрів шорсткості оптичними приладами найбільшого поширення набули методи світлового перетину, тіньового перетину, мікроінтерференційні, із застосуванням растрів [3].

Зважаючи на це, порівняльні та оптичні безконтактні методи є найбільш перспективними як найбільш прості і вимагають найменших затрат.

У світлі сказаного прийнятним є подальший розвиток оптичних пристроїв в напрямку зйомки поверхні різноспрямованими світловими потоками з подальшою комплексною обробкою даних вимірювань [5]. Це дає можливість використання простих оптичних пристроїв з подальшою ємною математичною обробкою результатів зйомки за допомогою програмних засобів.

Мета статті. Метою статті є підвищення точності і достовірності вимірювання характеристик поверхні, представленої у вигляді даних, отриманих методами фотозйомки, на основі побудови «цифрової карти» та розробки програмного забезпечення, що дозволяє здійснити математичну обробку інформації «цифрових карт» .

Виклад основного матеріалу. Побудова «цифрової карти» поверхні, представленої фотознімком, здійснюється шляхом розбиття рельєфу поверхні по висоті на певне число зрізів з розділенням на кожному зрізі точок із загального масиву, що належать зрізу, на яскраві та темні [8]. Такий підхід дає можливість монохромного подання зрізів поверхні на всій висоті рельєфу, що може служити основою для побудови «цифрової карти» поверхні, тобто оцифровування зображення.

Кольорова модель зображення. Загальновизнаною моделлю кольорового цифрового представлення зображення (один з найбільш поширених форматів опису зображення) є кольорова модель RGB, відповідно до якої кольори отримують шляхом додавання до чорного, початкового кольору, елемента червоної (red), зеленої (green) і синьої (blue) складових. Останні в цифровому вигляді відображаються в бітової мапі - матриці, що зберігає значення елементів зображення (пікселів). Одному пікселю може відповідати один або більше бітів пам'яті при відображенні інформації на екрані дисплея [7].

Спрощено можна представити будь-яке зображення як матрицю [n x n], що використовує кольорову модель RGB (рис. 1).

У представленій таблиці кожна клітинка являє собою опис одного пікселя цифрового зображення.

$(R, G, B)_{11}$	$(R, G, B)_{12}$	…	$(R, G, B)_{1n}$
$(R, G, B)_{21}$	$(R, G, B)_{22}$	…	$(R, G, B)_{2n}$
…	…	…	…
$(R, G, B)_{n1}$	$(R, G, B)_{n2}$	…	$(R, G, B)_{nn}$

Рис. 1. Бітова мапа зображення (матриця-модель RGB)

Число бітів, що відповідають кольоровим характеристикам, розрізняється залежно від обраної кольорової палітри і бажаної точності відображення кольору. В монохромних кольорових схемах число бітів, що відповідають кожному елементу зображення, визначає кількість рівнів сірого. Якщо одному пікселю відповідає один біт, зображення буде однобітним бінарним, тобто «чорно-білим», складеним з елементів зображення всього двох можливих кольорів. Якщо одному пікселю відповідає 8 біт (1 байт), то зображення буде напівтоновим, який містить 256 відтінків рівня сірого.

Монохромне представлення зображення. Монохромне представлення зображення, поданого як кольорова RGB-модель, здійснюється шляхом переводу зображення з останньої у кольорову модель YUV, де колір представляється на основі яскравості Y та двох кольоровідрізнених компонент U и V [8].

Така методика може бути використана для згаданого вище монохромного представлення зрізів поверхні, при цьому для визначення точок як «яскраві» або «неяскраві», достатньо Y-складової вказаної моделі.

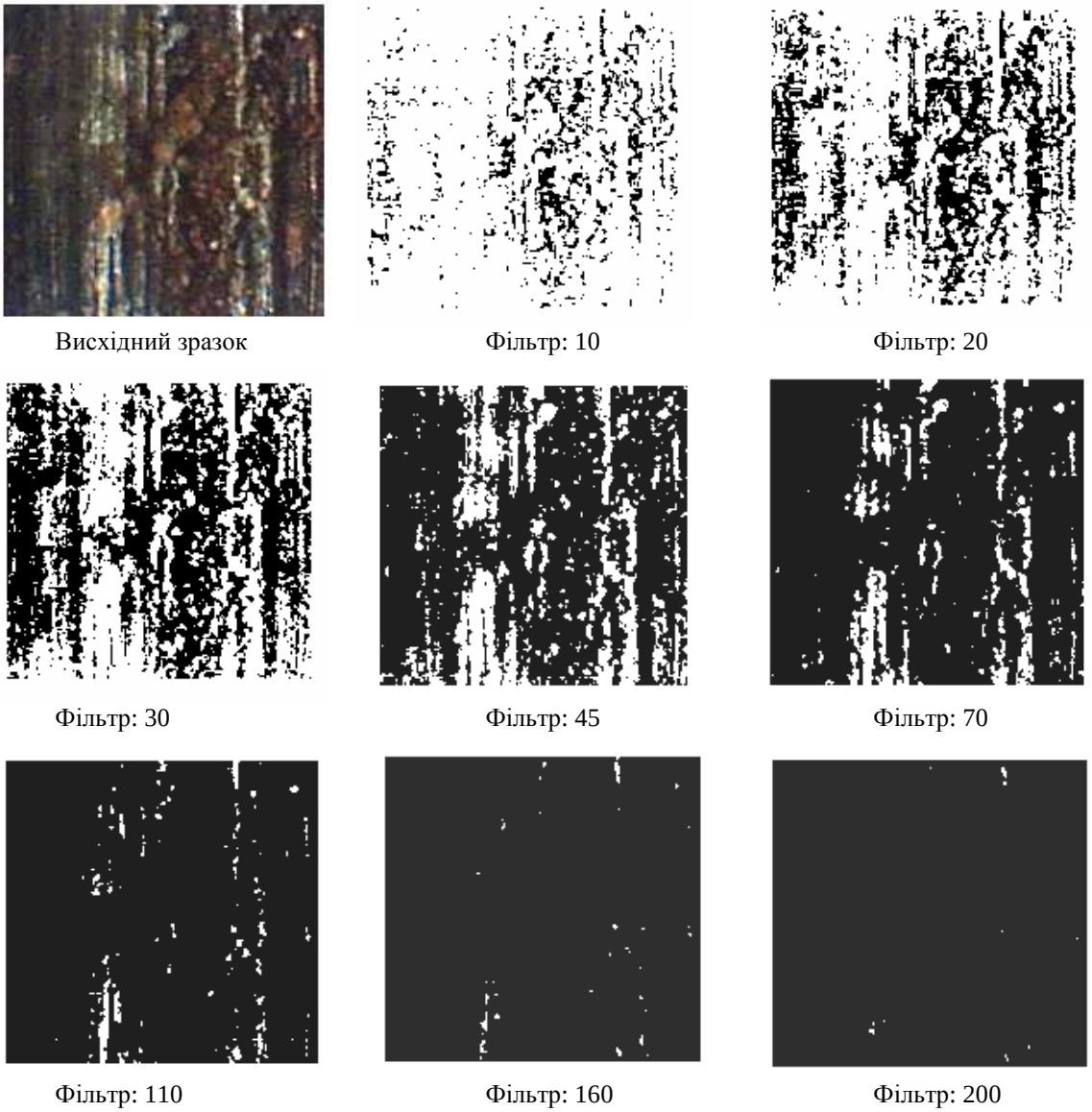


Рис. 2. Монохромні зрізи поверхні

Для переводу зображення, що оцифровується з багататокольорової RGB-палітри у монохромну, може бути використана формула обчислення яскравості точки кольорової моделі YUV, яка використовується у телебаченні при зберіганні/обробці відеоданих [8]:

$$Y = 0{,}299 * R + 0{,}587 * G + 0{,}114 * B,$$

де R, G і B – цифрові характеристики кольорових складових RGB-моделі, які відображені в її бітовій карті.

Побудова «цифрової карти» поверхні. На основі вищевикладеного здійснюється побудова «цифрової карти» шорсткості поверхні за допомогою багаторазового циклічного переводу зображення з багатокольорової палітри у бінарну форму з різними коефіцієнтами межі темного/світлого полів. При цьому на кожній ітерації переводу здійснюється «зріз поверхні» з відділенням точки, що знаходиться нижче певної висоти, від точок, що знаходяться на вказаному рівні або вище.

Для здійснення розділення точок виконується переведення кожного пікселя з багататокольорової RGB-палітри у монохромну. Після цього одержане значення відтінку сірого порівнюється зі значенням межі на цій ітерації. Якщо значення нижче граничного значення, то відповідному їй «пікселю» на «цифровій карті» присвоюється значення

0 (чорний). Якщо ж значення не менше граничного значення, то «піксель» зараховується до «білих» та йому присвоюється значення 255 (білий).

Таким чином, з поодинних ітерацій побудови «цифрової карти» можуть бути одержані монохромні зображення, що представляють «зрізи поверхні» на певній висоті. Результати описаної обробки представлені на рисунку 2.

Об'єднання останніх представляє цифрову карту в цілому, а за умови визначення одного з параметрів шорсткості (максимальна або середня висота мікронерівнот) іншими методами (наприклад, оптичним) може бути обчислена товщина шарів, а, надто, цифрова карта може бути переведена з умовного розбиття у розмірне з подальшим визначенням шорсткості та інших характеристик поверхні.

Висновки. Запропонований метод моделювання поверхні забезпечує можливість здійснення автоматизованої (мікропроцесорної) обробки результатів безконтактного дослідження останньої (наприклад, фотозйомки) з метою визначення її шорсткості та інших характеристик.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 28441-99. Картография цифровая. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 28441-90; введ. 2000-07-01. – М.: Стандартинформ, 2005.

2. Егоров В. А. Оптические и щуповые методы для измерения шероховатости поверхности / В. А. Егоров. – М., 1965. – С. 115-117.

3. Методы исследования и контроля шероховатости поверхности металлов и сплавов / Ю. Ф. Назаров, А. М. Шкилько, В. В. Тихоненко, И. В. Компанеец // Физическая инженерия поверхности. – 2007. – Т. 5, № 3-4. – С. 207-216.

4. Обрадович К. А. Способ измерения шероховатости сверхгладких поверхностей: а. с. 815492, МКл G01b 11/30 / К. А. Обрадович, Ф. М. Солодухо. – Заявл. 03.04.1979, Б.И. №11, 1981 г.

5. Топорец А. С. Оптика шероховатой поверхности / А. С. Топорец.– Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 191 с.

6. Яковлев В. В. Способ определения чистоты обработки поверхности: а. с. 508670, МКл G01b 11/30 / В. В. Яковлев, С. Е. Ярцева. – Заявл. 29.09.1972, Б.И. №12, 1976 г.

7. Dictionary of Computing, 2-nd Edition, Oxfor University Press, 1985.

8. Digital Video and HDTV. Algorithms and Interfaces. by Charles Poynton, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2003.– 736 pages.

УДК 004.7:537.8:622.1

А.А. Кудряшов, аспирант
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ЗАТУХАНИЕ РАДИОВОЛН И БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ ДИАПАЗОНА 2,4 ГГц

Произведён сравнительный обзор различных стандартов беспроводной передачи данных. Рассмотрена возможность использования беспроводных сетей ZigBee для построения промышленных сетей. Представлены результаты исследования влияния влажности и свойств материалов, используемых в строительстве, на затухание электромагнитных волн диапазона 2,4 ГГц.

***Ключевые слова**: беспроводная сеть, затухание, электромагнитная волна.*

Зроблений порівняльний огляд різних стандартів бездротової передачі даних. Розглянуто можливість використання бездротових мереж ZigBee для побудови промислових мереж. Представлено результати дослідження впливу вологості і властивостей матеріалів, які використовуються в будівництві, на затухання електромагнітних хвиль діапазону 2,4 ГГц.

***Ключові слова**: бездротова мережа, затухання, електромагнітна хвиля.*

A comparative overview of the different standards of wireless data. The possibility of using ZigBee wireless networks to build industrial networks. The results of studies of the effect of electromagnetic waves attenuation range of 2.4 GHz depend upon moisture and construction materials properties are presented.

***Key words**: wireless, attenuation, electromagnetic wave.*

Введение. В последнее время активно применяются беспроводные стандарты передачи данных. Широкое распространение в промышленности получили беспроводные

стандарты класса IEEE 802.1x (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee). Общим для этих стандартов есть возможность использования безлицензионного для Украины диапазона частот 2,400 – 2,485 ГГц [1], дешевизна разработки продукта и широкая поддержка иностранных производителей микросхем. Основная проблема создания радиосети малого радиуса действия – это влияние преград различного рода на распространения электромагнитных волн. Особенно остро задача стоит при использовании диапазона 2,4 ГГц, так как проводилось достаточно мало исследований о затухании радиоволн данного диапазона. Необходимость исследований такого рода малоактуальна для бытовых устройств, ввиду отсутствия необходимости гарантировать покупателю точное расстояние и качество связи. В промышленности – данные о стабильности и качестве связи дают важную информацию для проектировщиков радиосетей и разработчиков беспроводного телеметрического оборудования. Стабильность, качество связи, а также хорошая предсказуемость зон покрытия даёт возможность использовать беспроводные устройства для создания сетей мониторинга подвижных объектов и значительно сэкономить средства и время развёртывания таких сетей.

Технологии беспроводных сетей. Одной из важнейших частей автоматизированной системы производства есть сети передачи данных. Для связи всех систем промышленной автоматики в единую структуру и дальнейшей обработки полученных данных используются различные промышленные проводные и беспроводные сети. Примером таких проводных сетей могут быть CAN, Profibus, Modbus, Industrial Ethernet и так далее. Эти сети были созданы для удовлетворения нужд производства различного рода в различное время развитий технологий и значительно отличаются по своей структуре. Для централизованной обработки данных приходится использовать различные интерфейсы, что усложняет процесс разработки информационной системы, удорожает центр сбора и обработки информации, за счёт наличия большого количества преобразователей интерфейсов. В большинстве случаев передача данных на большие расстояния через проводные сети датчиков невозможна.

Использование проводных сетей требует значительных материальных затрат, а в некоторых случаях становиться и вовсе невозможным (например, если речь идёт о мониторинге персонала шахты). Значительное снижение стоимости беспроводных решений, широкая поддержка со стороны производителей микросхем, открытые стандарты протоколов передачи данных позволяют отказаться от сбора телеметрической информации проводным путём.

Очевидно, что исключение использования проводных линий убирает некоторые ограничения при построении сетей мониторинга объектов и управления производством.

В основном беспроводные сети малого радиуса действия представлены протоколами Bluetooth, UWB, ZigBee и Wi-Fi которые описываются стандартами IEEE 802.15.1, 802.15.3, 802.15.4 и 802.11a/b/g/n соответственно.

Диапазон частот 2,4 ГГц является наиболее интересным для использования его в промышленных беспроводных сетях, так как он наименее «зашумлен» посторонними сигналами и не требует лицензирования для использования на территории Украины [1].

Рассмотрим Bluetooth, ZigBee и Wi-Fi протоколы, что соответствуют IEEE 802.15.1, 802.15.4 и 802.11b/g стандартам соответственно. Протоколы UWB и Wi-Fi/802.11a/n рассмотрению не подлежат ввиду необходимости лицензирования рабочего диапазона частот на территории Украины.

Стандарты IEEE определяют только физические (PHY) и MAC-уровни. Bluetooth/IEEE 802.15.1 стандарт радиосвязи ближнего радиуса действия и предназначен для замены кабелей в компьютерной периферии [2]. И относиться к беспроводным персональным сетям (WPAN). В Bluetooth существуют две топологии сети: пикосети и расп-

ределённые сети. Пикосеть образовывает WPAN сеть с одним ведущим и остальными ведомыми устройствами. Скачкообразной перестройкой частоты канала ведущее устройство определяет каждый адрес ведомого устройства пикосети. Все устройства, участвующие в коммуникации, синхронизированы с ведущим устройством. Ведомые устройства обмениваться информацией только с ведущим устройством. Передача информации может осуществляться либо в режиме точка-точка, либо в режиме точка-многоточка, и происходит только при участии ведущего устройства. Помимо активного режима, все ведомые устройства сети могут находиться в режиме пониженного энергопотребления. Распределённая сеть – это сеть, состоящая из нескольких пикосетей. Bluetooth устройство может находиться в нескольких пикосетях одновременно, что даёт возможность передавать информацию за пределы покрытия одной пикосети. Устройство в распределённой сети может быть ведомым в нескольких пикосетях, но ведущим только в одной.

Протокол Wi-Fi включает в себя стандарты IEEE 802.11 b/g для беспроводных локальных сетей (WLAN). Основой стандарта сети IEEE 802.11 называется ячейка базового набора услуг (BSS), которая может быть представлена мобильными или стационарными станциями. Если станция выходит из BSS, она больше не может напрямую общаться с другими членами BSS. Стандарт IEEE 802.11 предусматривает конфигурацию сети как независимая ячейка базового набора услуг (IBSS) и ячейка расширенного набора услуг (ESS).

Конфигурация сети IBSS позволяет станциям сети IEEE 802.11 общаться напрямую, без точки доступа, этот тип работы сети часто называют одноранговой сетью. Кроме того, существующие независимо друг от друга BSS могут являться компонентом распределённой сети. Для соединения BSS вместе требуется система распределения. Система распределения с точками доступа стандарта IEEE 802.11 позволяет создать сеть ESS произвольного размера и сложности. Такие сети часто называют инфраструктурами.

ZigBee/IEEE 802.15.4 – это стандарт низкоскоростных WPAN сетей (LR-WPAN), разработанный для поддержки устройств с малым потреблением электроэнергии. ZigBee обеспечивает создание самоорганизующейся мульти-хоп сети и включает надежные сетевые сетки с длительным временем жизни [3]. Два типа устройств могут находиться в LR-WPAN сети: полнофункциональные устройства (FFD) и устройства с уменьшенной функциональностью (RFD). FFD могут работать в трех режимах, выступающих в качестве координатора PAN, маршрутизатора или устройства. FFD может общаться с RFD или FFD, а RFD может общаться только FFD. RFD предназначен для простых приложений, таких как датчик света, выключатель и так далее. В этих устройствах нет необходимости посылать большие объемы данных и общаться с FFD постоянно. Следовательно, устройство RFD может быть создано с использованием минимальных вычислительных ресурсов и памяти. При первом включении FFD, устройство может создать собственную сеть и стать координатором PAN. RFD может подключиться к сети и образовывать узел на конце ветки. Любой из FFD может выступать в качестве маршрутизатора и обеспечивать связи между другими устройствами или другими координаторами.

Для беспроводных сетей датчиков и в системах промышленного контроля и управления в большинстве случаев объём данных, как правило, небольшой, и потребность в высокоскоростных сетях отсутствует. С точки зрения сложности и ресурсоемкости Bluetooth является наиболее сложным протоколом с 188 примитивами. С другой стороны, ZigBee является наиболее простым и содержит только 48 примитив, которые определены в стандарте IEEE 802.15.4. По сравнению с Bluetooth и Wi-Fi, простота протокола ZigBee делает его весьма эффективным для сенсорных сетевых приложений в связи с их ограниченным объемом памяти и вычислительной мощности.

С точки зрения потребляемой мощности ZigBee наиболее подходит для приложений с батарейным питанием и почти в два раза эффективнее Bluetooth [4].

В промышленности большое количество устройств разного рода ставило задачи использования сетей и протоколов различного рода. В случае замены всех проводных сетей на предприятии – формировалось огромное количество устройств, что требовало достаточно сложной и масштабируемой топологии сети. Рассмотренные протоколы позволяют формировать достаточно большие сети. Однако именно протокол ZigBee даёт на порядки большее количество узлов в одной ячейке. Возможность формировать ячейки с большим количеством узлов (устройств) делает сеть менее сложной для построения. Так как количество узлов в ячейке определяется на PHY и MAC уровнях это не влечёт за собой увеличения вычислительных ресурсов конечного устройства.

Распространение радиоволн диапазона частот 2,4 ГГц. Важной частью построения беспроводной сети является планирование количества повторителей (репитеров, маршрутизаторов) сигнала для формирования требуемого радиуса действия сети, что значительно влияет на окончательную цену сети. Важно учитывать и радиус действия устройства беспроводной сети. В случае построения сети мониторинга или управления подвижных объектов требуется создать зоны гарантированного покрытия сетью предполагаемых трасс движения объектов. При создании зон покрытия следует также учитывать топологию сети, скорость движения объекта и время, необходимое для совершения обмена данными с устройством. Конечно в большинстве случаев время обмена данными составляет микросекунды, однако если таких объектов десятки, то время опроса каждого суммируется.

В спецификациях предоставляемыми разработчиками и производителями беспроводного оборудования зачастую не указывается радиус действия, а указывается выходная мощность.

На радиус покрытия беспроводного устройства сети влияет наличие преград на пути распространения электромагнитных волн, выходная мощность, диаграмма направленности, среда распространения и тип используемой антенны (учёт характеристик антенны).

В диапазоне частот 2,4 ГГц достаточно мало проведено исследований затухания электромагнитных волн в различных средах и материалах. Это, прежде всего, обусловлено наличием значительного количества готовых решений, отсутствием необходимости лицензирования данного диапазона частот по всему миру (что даёт возможность наращивать объёмы производства беспроводных решений) и широкой поддержкой со стороны производителей. Таким образом, проводить исследования не представляет особого интереса со стороны производителей, а со стороны потребителей все исследования ограничиваются опытными испытаниями и отсутствием систематического подхода.

Ввиду сложившейся ситуации было произведено исследование затухания электромагнитной волны в диапазоне частот 2300-3000 МГц. Это полностью перекрывает безлицензионный диапазон 2,4 ГГц, а также даёт представление о целесообразности использования диапазона частот 2,4 ГГц для построения беспроводной системы радиосвязи в закрытых пространствах при наличии преград.

Для проведения исследования была собрана система панорамного измерителя для измерения частотной характеристики ослабления проходящей мощности.

Структурная схема панорамного измерителя ослабления в полосе частот представлена на рисунке 1. Панорамный измеритель состоит из генератора качающейся частоты ГКЧ-53, индикатора КСВ и ослабления Я2Р-67, коаксиально-волноводного перехода, направленного ответвителя (НО) две детектирующие головки (ДГ) и исследуемого образца.

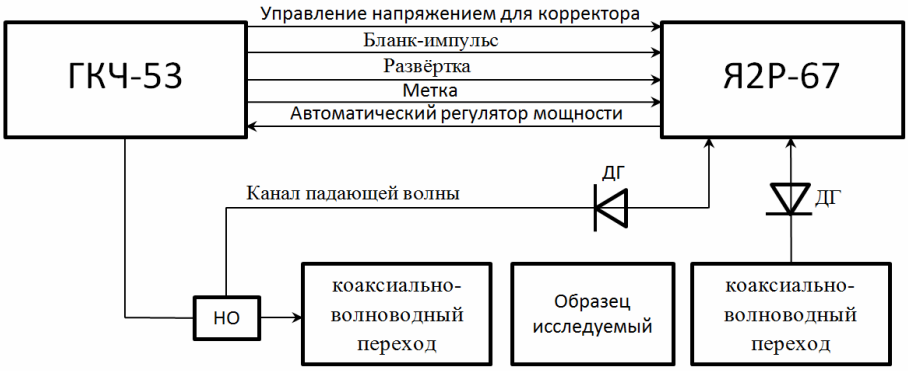


Рис. 1. Структурная схема панорамного измерителя

Все исследования образцов проводились при постоянной температуре и давлении. Перед началом каждого измерения образца строился начальный график. Начальный график строился на результатах измерения свободного распространения электромагнитной волны (при отсутствии исследуемого образца). При проведении исследования были соблюдены инструкции по эксплуатации приборов, а погрешности, вносимые соединительными муфтами, затуханием в кабеле, отражением электромагнитных волн, носили постоянный характер, о чём свидетельствует совпадения начальных графиков каждого измерения. Результаты измерений носили относительный характер и высчитывались по следующей формуле:

$$A_к = A_н - A_о, \quad (1)$$

где $A_к$ – относительная амплитуда электромагнитной волны;

$A_н$ – амплитуда электромагнитной волны без образца;

$A_о$ – амплитуда электромагнитной волны с образцом.

Коаксиально-волноводные переходы были разнесены на расстояние 30 см. При проведении измерений особое внимание уделялось полосе частот от 2400 до 2485 МГц, и замеры амплитуды проводились каждые 5 МГц. Плоскость поляризации открытого конца волновода была вертикальной. Размещение образцов происходило вплотную к излучающему концу волновода, что исключало эффекты дифракции электромагнитных волн, а размер образцов был подобран так, что происходило полное перекрытие излучающего конца волновода.

На рисунке 2 представлены графики зависимости затухания электромагнитной волны вертикальной поляризации от ориентации волокон деревянной преграды и влажности. Измерение влажности дерева проводилось прибором DT-129, который позволяет измерять влажность от 6 % до 99,9 %. Значение влажности сухого образца составило 7,2 %, а влажного образца – 18,4 %. Толщина образца – 12 мм.

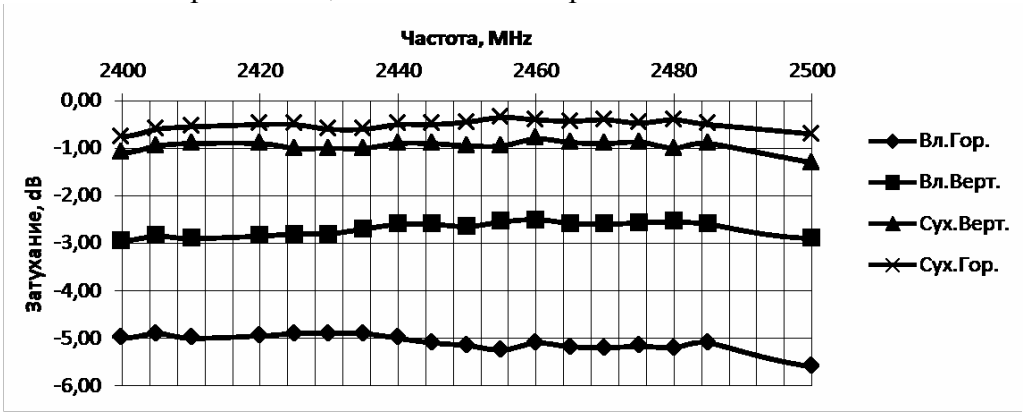


Рис. 2. Зависимость затухания от влажности и плоскости ориентации волокон деревянной преграды

В ходе эксперимента установилась зависимость затухания электромагнитной волны от ориентации волокон деревянного образца относительно плоскости поляризации электромагнитной волны. Значения «Вл.Гор.» – влажный образец с горизонтально ориентироваными волокнами, следовательно «Вл.Верт.» – влажный образец с вертикально ориентированными волокнами, «Сух.Верт.» – сухой образец с вертикально ориентированными волокнами, «Сух.Гор.» – сухой образец с горизонтально ориентированными волокнами. Из графиков видно, что в сухом состоянии (7,2 % влажности) при совпадении плоскости поляризации и ориентации волокон затухание было меньше чем при несовпадении на 0,5 дБ в среднем. Однако во влажном (18,4 % влажности) состоянии ситуация изменилась на противоположную, при несовпадении плоскостей поляризации электромагнитной волны и ориентации волокон дерева затухание было меньше на 2-2,5 дБ, чем при совпадении плоскостей. В основной полосе частот (2,400-2,485 ГГц) изменение затухания были незначительны, в пределах 0,5 дБ, значит полоса частот достаточно стабильна для использования. Под стабильностью имеется ввиду одинаковое затухание в полосе частот, а значит при использовании технологии ZigBee (или схожей, в этом диапазоне) выбор канала не будет влиять на качество связи.

На рисунке 3 представлены графики зависимостей затухания от типа материала, которые наиболее распространённые в строительстве, а именно:

- бетон марки М300 (соответствует классу бетона В22,5 по прочности) 82×82×17 мм;
- кирпич М75 82×82×18 мм;
- гипс марки Г-10 75×82×18 мм;
- пенобетон марки D800 (соответствует классу бетона В5 по прочности) 78×83×21 мм.

Материалы были максимально высушены, однако о содержании влаги в них ничего известно не было. Так как условия проведения эксперимента были одинаковы, а именно влажность температура и время проведения эксперимента, то можно пренебречь абсолютной влажностью каждого образца и отнести это к свойствам самого материала.

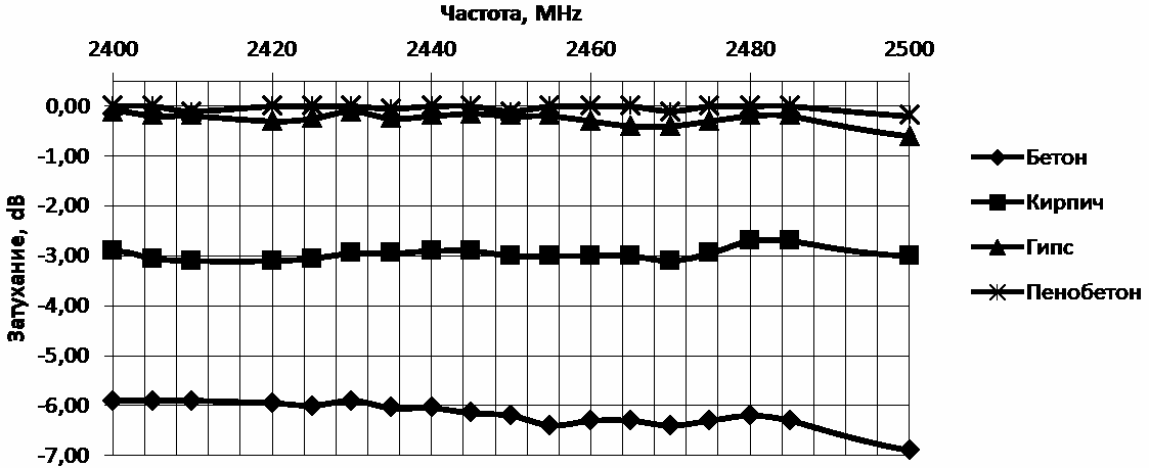


Рис. 3. Зависимость затухания от частоты в строительных материалах в неувлажнённом состоянии

В исследуемой полосе частот затухание достаточно равномерно. Максимальное затухания наблюдается у бетона, что можно объяснить максимальным количеством связанной воды в материале. Вода в этом диапазоне частот является одним из основных поглотителей. Пенобетон и гипс влияли на затухание незначительно. На рисунке 4 представлены графики зависимостей затухания от типа материала в увлажнённом состоянии. Увлажнение производилось погружением образца в воду на 15 минут. А измерение влажности было относительным, производилось взвешивание высушенного об-

разца, а затем взвешивание увлажнённого. Процентное увлажнение относительно высушенного образца приведено ниже:

- кирпич – 2,362%;
- пенобетон – 13,149%;
- гипс – 5,219%;
- бетон – 0,796%.

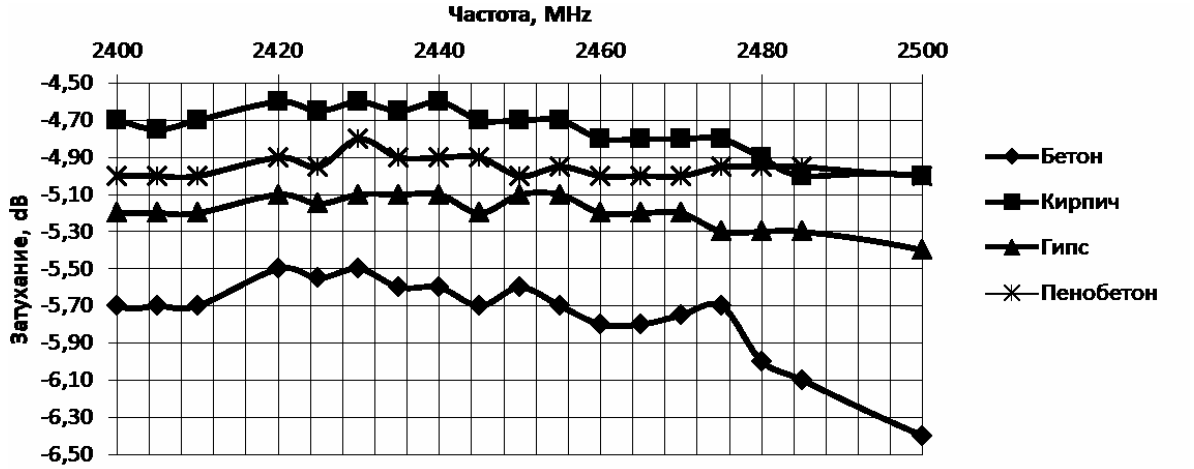


Рис. 4. Зависимость затухания от частоты в строительных материалах в увлажнённом состоянии

Как видно из вышеприведенных графиков, равномерность затухания исчезла, а в полосе частот 2,480-2,500 ГГц в бетоне затухание резко возрастает. В полосе частот 2,425 ГГц наблюдается значительное уменьшение затухания, что говорит о целесообразности использовать данную полосу при наличии преград подобного рода.

На рисунке 5 показана полоса частот 2300-3000 МГц. Это позволяет судить об актуальности использования частоты 2400-2485 МГц, а не другой близкой.

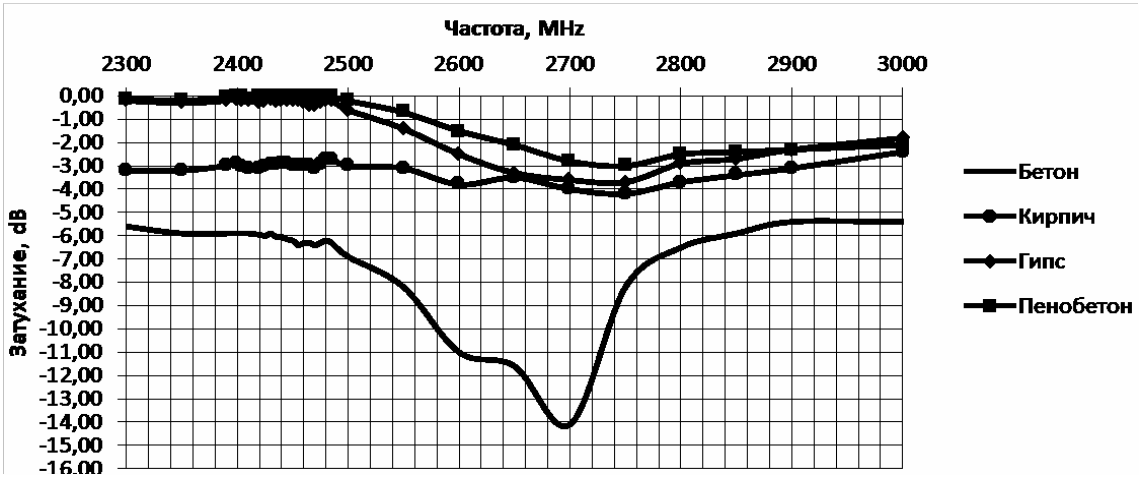


Рис. 5. Затухание в строительных материалах 2,3-3 ГГц

Равномерность затухания обеспечивается в полосе частот от 2300 -2490 МГц. При повышении частоты затухание резко возрастает. Такой провал можно объяснить присутствием воды в образцах. Бетон имеет наибольшее количество связанной воды, а значит и картина более явная. Выбор частоты 2,4 ГГц для промышленных сетей более чем оправдан. Хотя для бетона более приемлемая частота 2900-3000 МГц, этот диапазон частот требует лицензирования в большинстве стран.

Выводы. Использование беспроводных технологий для построение промышленных сетей значительно упрощает процесс создания сети, делает сеть легко масштабируемой и

дешёвой, однако надёжность беспроводной сети в значительной мере зависит от качества и устойчивости связи. При построении высоконадёжной беспроводной сети и обеспечении гарантированных зон покрытия сетью, необходимо учитывать как среду распространения (температуру, влажность наличие различных фракций в воздухе, флуктуаций), так и тип преград на пути распространения. Полученные результаты эксперимента не поясняют в полной мере причины затухания. Результаты можно пояснить двумя способами. Первое – это непосредственно затухание в материале, то есть материал поглощает электромагнитную волну, что есть самым простым и понятным эффектом. Второе – это рассматривать исследуемый образец как рассеивающую линзу, можно предположить, что материал, вносимый на пути распространения, рассеивает электромагнитную волну. Изменение затухания можно отнести к свойствам материала. Увлажнение материала приводит к изменению плотности и диэлектрической проницаемости материала. Зависимость плоскостей ориентации волокон дерева и поляризации электромагнитной волны можно отнести к свойствам материала вращать плоскость поляризации. В менее структурированных материалах эффект вращения плоскости поляризации менее заметен. Исследовать причины затухания не представлялось интересным, так как целью эксперимента было оценить влияние материалов и среды распространения на уровень сигнала. В реальных условиях эксплуатации беспроводных сетей данного диапазона частот, эффекты затухания, наблюдаемые в лабораторных условиях, предположительно будут схожи. При достаточном увлажнении материалов затухание увеличивается на единицы дБ, а значит могут свести на нет усиливающий эффект антенн. В основном антенны с усилением более 3 дБ не используются, а значит изменение или исключение преград на пути может быть приемлемее использование (покупки) мощных антенн (например, изменение места расположения приёмопередатчика).

Бетон показал наиболее высокое затухание электромагнитной волны, хотя толщина образца составила всего 17 мм затухание составляло более 5 дБ. На практике толщина бетонных перекрытий значительно превышает 17 мм, а значит можно говорить, что бетон является непроходимой преградой для длин волн диапазона частот 2,4 ГГц. Преграды такого материала практически полностью поглощают либо отражают электромагнитные волны исследуемого диапазона, применение бетонных перекрытий или стен изолирует зоны покрытия и требует дополнительных приёмопередатчиков. Аналогичная ситуация складывается и с кирпичом, при исследовании образца толщиной 18 мм затухание составило более 3дБ, а толщина кирпича значительно превышает толщину образца. В промышленности и в быту стены строят из кирпича (в основном), а перекрытия бетонные, зона покрытия одного передатчика ограничивается одним помещением. На практике зоны покрытия значительно превышают территорию одного помещения, что легко пояснить эффектом отражения электромагнитной волны и преодоления таких преград, как деревянные двери и окна. На производствах, к примеру в цехах, территория помещения достаточно велика, а значит использование приемопередатчиков более эффективна. В шахтных выработках покрытие стен – бетонное либо схожее, а опоры деревянные, что не мешает распространению радиоволн диапазона 2,4 ГГц. Если принимать во внимание изгибы туннелей и отражение радиоволн, можно говорить о качественной зоне покрытия даже без прямой видимости. Наличие дисперсий горных пород в воздухе рассеивает радиоволны, мера влияния дисперсий на распространение радиоволн требует дополнительного исследования.

Для построения беспроводных сетей предпочтительно использовать деревянные, гипсовые либо пенобетонные стены.

Список использованных источников

1. Про радіочастотний ресурс України: Закон України; План використання радіочастотного ресурсу України: затв. постановою Кабінету Міністрів України від 09.06.2006 № 815.

2. 802.15.1-2002 - IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN - Specific Requirements - Part 15: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs).

3. 802.15.4-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs).

4. Baker, N. "ZigBee and Bluetooth: Strengths and weaknesses for industrial applications," IEE Computing & Control Engineering, vol. 16, no. 2, pp 20-25, April/May 2005.

UDC 004.738.5.057.4

Volodymyr Kazymyr, Ph. D. Sc.
Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

Mariya Tevkun, Ph.D. student
Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

John N. Davies, principal lecturer
Creative and Applied Research for the Digital Society, Glyndŵr University, Wrexham, United Kingdom

Paul Comerford, research student
Creative and Applied Research for the Digital Society, Glyndŵr University, Wrexham, United Kingdom

COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF IPV4 & IPV6

The performance issues, associated with converting an IPv4 network to an IPv6 network, were discovered. To eliminate the uncertainties related to the Internet performance a set of experiments was conducted in the laboratory network to compare the delays experienced by packets traversing IPv4 network, IPv4 network with NAT, IPv6 network and mixed networks with utilizing tunnels. Very significant variations in the delays were found when using anything other than an IPv4 network.

***Key words**: internet-protocol, IPv4 address exhaustion, IPv6, IPv4 tunnels, IPv6 tunnels, NAT, network performance.*

Досліджено проблеми продуктивності, пов'язані з переходом від IPv4-мереж до IPv6-мереж. Для усунення невизначеностей, пов'язаних із впливом різних типів мереж на продуктивність мережі Інтернет, у лабораторних умовах була проведена серія експериментів, щоб порівняти затримки, що виникають при транспортуванні пакетів в IPv4-мережі, IPv4-мережі з використанням NAT, IPv6-мережі, а також змішаних мережах, які здійснюють передачу пакетів за допомогою технології статичного тунелювання. При використанні не IPv4-мереж були виявлені значні варіації в затримках.

***Ключові слова**: інтернет-протокол, вичерпання IPv4 адрес, IPv6, IPv4 тунелі, IPv6 тунелі, NAT, продуктивність мережі.*

Исследованы проблемы производительности, связанные с переходом от IPv4-сетей на IPv6-сети. Для устранения неопределённостей, связанных с влиянием различных типов сетей на производительность сети Интернет, в лабораторных условиях была проведена серия экспериментов, чтобы сравнить задержки, возникающие при транспортировке пакетов в IPv4-сети, IPv4-сети с использованием NAT, IPv6-сети, а также смешанных сетях, осуществляющих передачу пакетов при помощи технологии статического тунелирования. При использовании не IPv4-сетей были обнаружены значительные вариации в задержках.

***Ключевые слова**: интернет-протокол, исчерпание IPv4 адресов, IPv6, IPv4 туннели, IPv6 туннели, NAT, производительность сети.*

Introduction. The problem of IPv4 address exhaustion is a well known problem that first appeared in the 1980s due to a large unexpected increase in the number of Internet users. The problem has been exasperated by the rate of take up of the internet in developing countries, the introduction of smart mobile devices that are capable of accessing the Internet using IP addresses and virtualization technology. Despite the use of various technologies to mitigate the problem, such as CIDR and NAT, in April 2011 the first Regional Internet Registry (RIR) for the Asia/Pacific Region (APNIC) exhausted its pool of allocated addresses [1]. Additionally RIPE (Réseaux IP Européens) the European RIR ran out of addresses in September 2012. It is predicted that the American Registry for Internet Numbers (ARIN) region will run out of addresses by January 2014. Figure 1 shows the rate of allocation of IPv4 addresses. So dealing with this problem has become high priority in many countries worldwide. IPv6, a new version of the IP protocol, was developed to solve this problem. To highlight the importance of the change from IPv4 to IPv6 a launch test day was announced "Happy World IPv6 Launch Day (June 6, 2012)" to encourage users to test their IPv6 Connections. The main advantage of the IPv6 is the bigger address field, 128 bytes. It allows creation of larger number of the IP addresses [2].

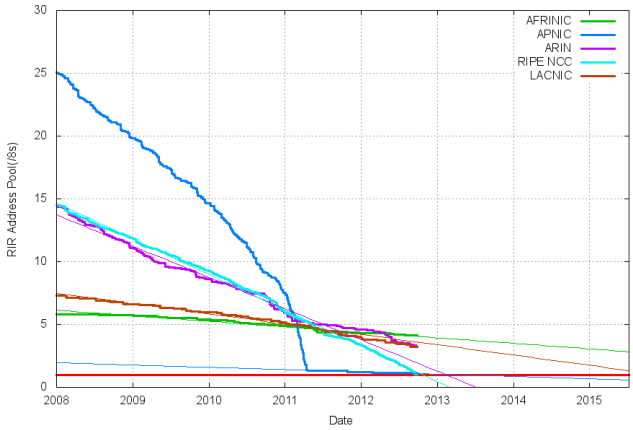


Fig. 1. IPv4 Address exhaustion

However, it is not possible to complete transition from IPv4 to IPv6 addressing in one simple upgrade due mainly to the number of hosts, servers and infrastructure devices that make up the Internet. Coordinating this change is a massive task so this means that both IPv4 and IPV6 protocols will be exist simultaneously on the Internet [3]. Since this will require converting IPv4 packets to IPv6 packets and vice versa it is likely that there will be an effect on the overall performance of the Internet. This paper investigates the performance issues associated with running both protocols at the same time. Investigations will be conducted on both IPv4 and IPv6 networks and in the use of tunneling through the network.

Related work. Despite the fact that the IPv6 protocol has existed for more than 10 years, there are not many academic papers investigating the performance issues between the different networks types. This is a short review of the work.

In 2003 Zeadally et al. performed the series of experiments to discover the performance of IPv4/IPv6 on Windows 2000, Solaris 8 and RedHat 7.3 Operating Systems. [4][5] The papers considered the CPU utilization, latency and throughput of the Operating systems. The main feature of current research is the investigation with both TCP and UDP protocols. Their findings were that there was only a small effect on the performance of the Operating systems with IPv4 and IPv6 networks. A similar set of the experiments to discover IPv4 and IPv6 performance was conducted in 2007 in the Central University of Venezuela [6]. Gamess and Morales conducted the experiments with point-to-point connection using two identical PCs to discover the performance of IPv6 and IPv4 on such operating systems as Windows XP SP2, Solaris 10, and Debian 3.1, for IPv4 and IPv6. The comparison was carried out on the throughput of TCP and UDP protocols. The results of the experiments presented, that a greater throughput was obtained using IPv4 in both UDP and TCP variants than IPv6 [7].

In 2007 in the Chinese University of Hong Kong the performance of the tunneling was investigated by Law et al. [8]. Experiments were conducted over a 6 month period using 7 IPv6/IPv4 dual-stack machines running Windows XP and Fedora Core 5. The results showed that of the 10,534 hosts randomly chosen only 2,014 were reachable from both IPv4 and IPv6. As a result it was concluded that the Windows-based clients using IPv6 showed much lower performance than Unix-based clients. The effect of tunneling IPv6 and native IPv6 are very similar.

Arthur Berger conducted a set of experiments in 2011 to discover the performance of the IPv4 and IPv6 networks [9]. Measurements of the performance of the tunneled networks compared to the native networks was also performed. Another important feature of this investigation was the analysis by geographical areas. The results of the current research showed that the performance of the tunneled network was higher than that of the native IPv6 network.

Research work presented in this paper concentrates on the performance of the network and the infrastructure devices rather than the Operating Systems of the host machines. For these

tests Cisco 2600 series routers were used with and advanced IOS Operating system necessary for the support of IPv6.

Investigations. When considering performance of networks there are many variables to be considered however to make results meaningful it is necessary to eliminate some of these variables by keeping them constant. The performance of the IPv4, IPv6 and mixed networks was evaluated using delays caused by the network components.

Laboratory network. This was carried out in laboratory conditions to eliminate the uncertainties due to the Internet variations. A network was built based on the topology covered in the paper Principles of Eliminating Access Control Lists [10]. Results obtained were then extrapolated to the real network. The structure of the used network can be seen in figure 2.

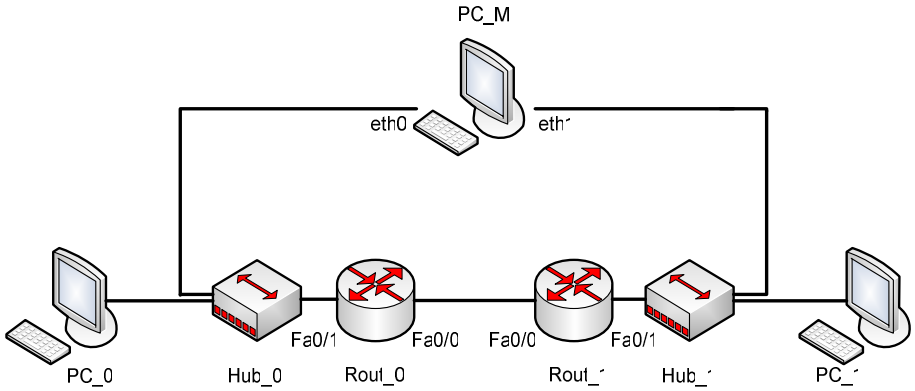


Fig. 2. Network, used in the investigation

Network traffic was generated by the use of the ping utility which sends ICMP Request packets from PC_0 to PC_1 and receives ICMP packets back from PC_1. These packets are captured using the Wireshark utility run on a dual ported Linux machine PC_M. This is quite a unique technique to use since it ensures that time values obtained from either side of the network are synchronized. An initial experiment was conducted to identify the accuracy of the measurements and the delay, which theoretically should be 0 µs but in reality was on average 6 µs. This would be the error bar for the all the results obtained in the work. Statistical parameters such as minimum, maximum, average, mode and standard deviation were used for comparison.

IPv4, NAT and IPv6 tests. All tests were carried out using the same equipment the only difference being the configurations of the router to support the native protocols. As part of the initiative to save IPv4 addresses Network Address Translation (NAT) with private IPv4 Addresses is standard practice in most networks with Internet connectivity. So to make an initial comparison of the basic delays experienced by packets in the network experiments were carried out with IPv4 native network and IPv4 network with NAT enabled and IPv6 native. Table 1 contains the results obtained.

Table 1

Delay in µs for IPv4, IPv4 with NAT and IPv6 network

	Min	Max	Average	Standard Deviation
IPv4 native network	158	373	256	~33
IPv4 network with NAT	358	634	459	~38
IPv6 native network	1110	3048	1318	~232

It can be seen that there is a significant difference between the delay when using IPv4 with NAT and IPv6 networks. Based on the average values the delay in an IPv4 network with NAT are approx. 80 % longer than for the IPv4 native network. Additionally when using a native IPv6 network the difference in the average delay over values, is around 415 %.

Delays were obtained from the times collected in PC_M, Fig 1, using (Teth1 – Teth0). These results were also analyzed using a histogram process and plotted in Fig 3. This makes

the comparison to be more easily seen. The x-axis is delay in µs and y-axis is the number of times this value was obtained, 1000 packets were analysed for each network configuration.

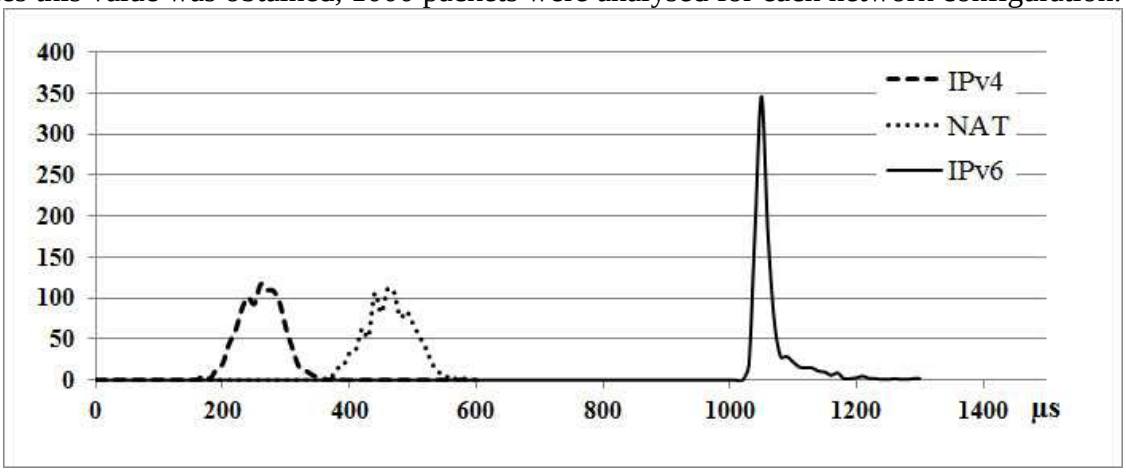


Fig. 3. Comparison of the delay for IPv4, IPv4 with NAT and IPv6

It has been clearly demonstrated that there is an increase in delay when NAT or IPv6 networks are configured.

Performance of IPv4 and IPv6 networks using tunnels. As discussed previously, it is not practical to convert the network in easily so both IPv4 and IPv6 protocols will exist on the same network. Further investigation were conducted to determinate the performance of a networks that contained a mixture of IPv4 and IPv6 protocols. All tests were carried out using the same equipment the only difference being the configurations of tunnels between the routers. In the first set of tests the protocol used was either IPv4 or IPv6 however, these tests use the static tunnel functionality provide in routers. Initially the routers were configured to accept IPv6 packets then pass them through an IPv4 tunnel before being converted back to IPv6 packets referred to as IPv6-IPv4-IPv6 mixed network in table 2. Following this IPv4 packets were passed through an IPv6 tunnel, these are referred to as IPv4-IPv6-IPv4 mixed network in table 2.

Table 2

Delay in µs for IPv4 and IPv6 tunneled networks

	Min	Max	Average	Standard Deviation
IPv6-IPv4-IPv6 mixed network	1952	3369	2131	~166
IPv4-IPv6-IPv4 mixed network	2189	6319	2459	~243

This shows that the IPv4-IPv6-IPv4 network has the largest delay and when compared with an IPv4 network the delay is increased by more than 850 %.

A histogram of the results has been plotted in figure 4 from which it can be clearly seen that the IPv4 network has the best performance.

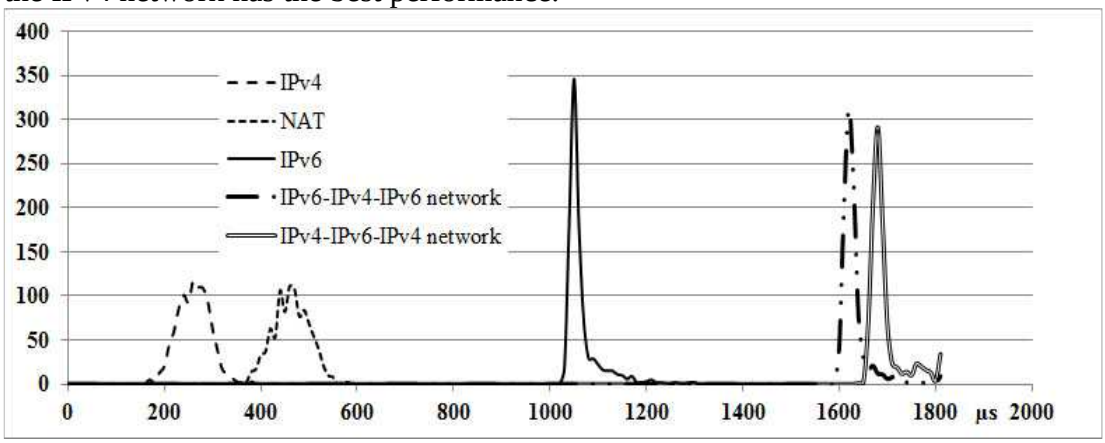


Fig. 4. Delays for Ipv4, IPv6 and tunnel networks

All the technologies designed to solve the problem of the IPv4 addresses space exhaustion impact on the network performance. In fact there is a significant difference between the performances of the different network types. Even the IPv6 native network creates five times longer delay, than IPv4 native network and almost 3 times longer delay than IPv4 network with NAT.

Conclusions. IPv4 address space exhaustion is a very important problem that can no longer be forgotten about. Several technologies, such as NAT, were proposed to solve this, but only the replacement of the old IPv4 version of the IP protocol by the new IPv6 version can completely solve the problem. Converting networks to use the IPv6 protocol involves reconfiguring or replacing every device in the network infrastructure, as well as the servers and host devices. So carrying out this upgrade has to be carried out as a phased project due to the sheer number of devices involved. Hence IPv6 networks and IPv4 network will have to operate simultaneously for the foreseeable future. To accommodate this tunneling technologies are used. All the present technologies and networks will allow the networks to work in the new concurrently but there are performance issues associated with using these conversion techniques.

By carrying out experiments in a laboratory conditions this investigation show that each attempt to deal with the address problem requires the network to be modified and results in increased network delays. Due to the variations in the times that are taken to handle the packets statistical techniques have been used to analyze the data. Average delays for the networks have been calculated and are used as an indication of the typical delay.

The average delay through the IPv4 native network was found to be 256 microseconds and that when using IPv4 network with NAT is almost twice longer, 459 microseconds. However when IPv6 is used in the network the delay is increased to 1318 microseconds, which is 5 times longer than for IPv4. So converting an IPv4 network to a IPv6 network with present routers and Operating systems will have an adverse effect on the performance and hence a great deal of consideration needs to be given before taking this step.

Due to the requirement that IPv4 and IPv6 would have to coexist on the network then a consideration has to be given to the performance of tunnels. These investigations show that this scenario produces the worst performance. A mixed IPv6-IPv4-IPv6 network with static tunnel creates the average delay of 2131 microseconds, and the mixed IPv4-IPv6-IPv4 network with static tunnel creates the average delay of 2460 microseconds. Table 3 shows the % by which the average delay through the network, in Figure 1, is increased above that of an IPv4 network.

Table 3

Comparison of % increase in delay above IPv4 network

	Compared to IPv4 network
IPv4 network with NAT	>80%
IPv6 native network	>415%
IPv6-IPv4-IPv6 mixed network	>730%
IPv4-IPv6-IPv4 mixed network	>850%

Finally it can be concluded that unless it is absolutely necessary then converting from an IPv4 to an IPv6 network utilizing the present equipment is not recommended.

References

1. APNIC IPv4 Address Pool Reaches Final /8, Asia-Pacific Network Information Centre, 2011.

2. M. Townsley (2011), World IPv6 Day: Working Together Towards a New Internet Protocol. [Online]. Available: http://blogs.cisco.com.

3. Dual stack technology (RFC4213). [Online]. Available: http://tools.ietf.org/

4. S. Zeadally and I. Raicu, “Evaluating IPv6 on Windows and Solaris”, IEEE Internet Computing 7(3): 51-57. May 2003.

5. S. Zeadally, R. Wasseem, and I. Raicu, “Comparison of End-System IPv6 Protocol Stacks”, IEEE Proceedings Communications 151(3): 238-242. May2004.

6. E. Gamess and N. Morales, “Implementing IPv6 at Central University of Venezuela”, In Proceedings of LANC’07 (the 4th International IFIP/ACM Latin America Networking Conference), San José, Costa Rica. October 2007.

7. E. Gamess and R. Surós, “An Upper Bound Model for TCP and UDP Throughput in IPv4 and IPv6”, Journal of Network and Computer Applications 31, pp 585–602. 2008.

8. Yuk-Nam Law, Man-Chiu Lai, Wee Lum Tan and Wing Cheong Lau, Empirical Performance of IPv6 vs. IPv4 under a Dual-Stack Environment, Department of Information Engineering The Chinese University of Hong Kong, Shatin, Hong Kong 2007.

9. A. Berger, Comparison of Performance over IPv6 versus IPv4, Akamai Technologies, 2011.

10. John N. Davies, Paul Comerford and Vic Grout, “Principles of Eliminating Access Control Lists within a Domain”, Future Internet 2012, 4, 413-429. April 2012.

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.316.722.2

Ю.А. Денисов, д-р техн. наук
С.А. Степенко, аспирант
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ВХОДНОЙ ТОК РАЗОМКНУТОГО КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ С КВАЗИРЕЗОНАНСНЫМ И ОБЫЧНЫМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ КЛЮЧЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Проанализирован входной ток разомкнутого корректора коэффициента мощности с квазирезонансным и обычным импульсными преобразователями. Предложено использование интеллектуального регулятора для обеспечения устойчивости системы.

Ключевые слова: *корректор коэффициента мощности, квазирезонансный импульсный преобразователь.*

Проаналізовано вхідний струм розімкнутого коректора коефіцієнта потужності з квазірезонансним та звичайним імпульсними перетворювачами. Запропоновано використання інтелектуального регулятора для забезпечення стійкості системи.

Ключові слова: *коректор коефіцієнта потужності, квазірезонансний імпульсний перетворювач.*

The input current of the open-loop power factor corrector with quasi-resonant and common pulse converters has been analyzed. Use of intelligent controller has been proposed to provide a sustainability of the system.

Key words*: power factor corrector, quasiresonant pulse converter.*

Постановка проблемы. В корректорах коэффициента мощности (ККМ) в качестве ключевых элементов применяют параллельные импульсные преобразователи (ИП). В [1] показано, что значительное повышение коэффициента полезного действия (КПД) ККМ может быть достигнуто при переходе на параллельные квазирезонансные импульсные преобразователи, переключаемые при нулевом токе (КРИП-ПНТ).

Анализ исследований и публикаций. Помимо КПД важнейшей характеристикой КРИП-ПНТ является коэффициент мощности, который определяется коэффициентом искажения потребляемого тока и его сдвигом относительно напряжения сети. Приближение потребляемого тока по форме и по фазе к эталонному синусоидальному напряжению, которое формируется из напряжения сети, осуществляется при введении в систему ККМ обратных связей по току и по напряжению. Необходимого качества энергетических характеристик добиваются за счет придания системе соответствующих динамических свойств. Исходными данными для улучшения энергетических показателей ККМ является спектр потребляемого тока в разомкнутой системе. Чем меньше искажение потребляемого тока в разомкнутой системе, тем проще добиться его дальнейшего снижения в замкнутой системе. Эти возможности определяются особенностями параллельного ИП как звена замкнутой системы регулирования. В обычном параллельном ИП осуществляется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Наличие накопительного дросселя делает ИП неустойчивым даже в разомкнутом состоянии, если скважность $\gamma = tu/T \geq 0{,}5$. Здесь tu – время накопления энергии в дросселе, T – период переключения. Эта особенность объясняется действием внутренней обратной связи, которая при $\gamma \geq 0{,}5$ становится положительной с единичным коэффициентом усиления. С ростом скважности он увеличивается, что приводит к потере устойчивости [2]. Для повышения устойчивости задают искусственный угол наклона коммутируемого тока. Однако такое решение не является эффективным, поскольку вследствие сложной нелинейности процессов, протекающих в системе ККМ, проблематично установить адекватный закон «программирования тока» при изменении скважности регулирования.

Очевидно, что в результате существенной нелинейности процесса ШИМ и регулировочной характеристики параллельного ИП в замкнутой системе проблематично добиться высоких динамических свойств без ограничения диапазона регулирования. При этом

спектральный состав потребляемого тока будет ухудшаться. Переход в ККМ с обычных параллельных ИП на КРИП-ПНТ приводит к частотно-импульсной модуляции, которая, в отличие от ШИМ, нелинейна даже «в малом», что усложняет достижение необходимого качества динамики, но позволяет получить более благоприятный спектр потребляемого тока за счет высокой частоты коммутации. Очевидно, что использование КРИП-ПНТ в ККМ вместо обычных ИП может привести к обратному эффекту – к снижению качества потребляемого тока в результате ограниченной возможности получения высоких динамических характеристик замкнутой системы. Помимо этого сохраняется и негативное влияние внутренней положительной обратной связи, как в обычном ИП. По нашему мнению эффективным средством преодоления такой ситуации является применение в системе ККМ законов управления на основе нечеткой логики [3]. В этом случае построение ККМ на основе КРИП-ПНТ позволяет добиться высокого коэффициента мощности как за счет повышения частоты переключения, так и за счет достижения высоких динамических свойств на основе нечетких законов управления – быстродействия, минимального перерегулирования, достаточного запаса устойчивости.

Постановка цели и заданий исследования. Имея в виду в дальнейшем реализацию ККМ на основе КРИП-ПНТ, проведем сравнение потребляемого им тока с аналогичным током обычного параллельного ИП – при одинаковых условиях в установившемся режиме. Фактически анализ сводится к установлению влияния резонансного контура КРИП-ПНТ на потребляемый ток. В обычном параллельном ИП такой контур отсутствует.

Изложение основного материала исследования. Ниже показаны схемы КРИП-ПНТ (рис. 1, *а*) и обычного параллельного ИП (рис. 1, *б*).

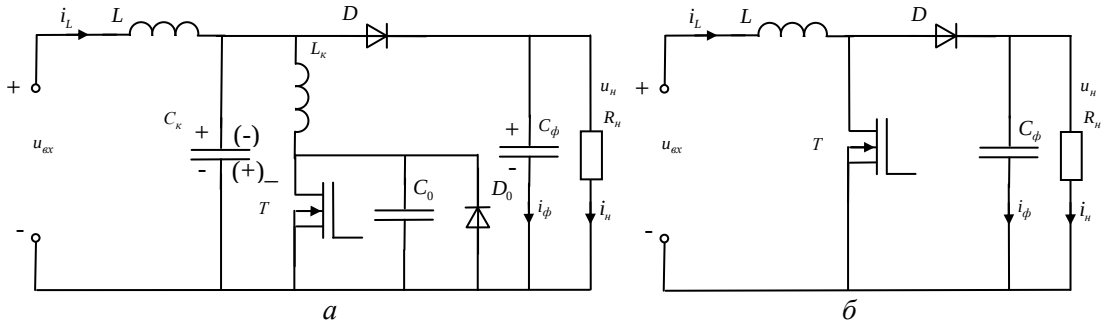


Рис. 1. Схемы квазирезонансного импульсного преобразователя переключаемого при нулевом токе (а) и обычного параллельного импульсного преобразователя (б)

В схеме КРИП-ПНТ (рис. 1, а) LKCK – резонансный контур, влияние которого на потребляемый ток iL необходимо установить. Наличие контура приводит к появлению дополнительного коммутационного интервала, которого в схеме ИП (рис. 1, б) нет. В ней имеются два коммутационных интервала, связанных с накоплением энергии в дросселе L и ее передачей в нагрузку. Подробный анализ коммутационных процессов в схеме КРИП-ПНТ с параллельным контуром выполнен в [1]. Его первый коммутационный интервал начинается с момента включения транзистора Т. При этом конденсатор контура СК перезаряжается через дроссель контура LK. На этом интервале происходит накопление энергии в дросселе L за счет тока источника питания, замыкающегося через дроссель LK и транзистор Т.

На втором коммутационном интервале происходит повторный перезаряд СК через LK, обратный диод D0, а также через источник питания и дроссель L, в котором продолжается накопление энергии. В [1] показано, что длительность интервала накопления энергии в дросселе L определяется периодом колебаний контура LKCK. Поэтому первый и второй коммутационные интервалы КРИП-ПНТ можно объединять в один интервал и в дальнейшем рассматривать два коммутационных интервала по аналогии с обычным параллельным ИП. Один интервал связан с накоплением энергии, а второй – с передачей энергии в нагрузку.

Анализ входного тока ККМ в установившемся режиме. Найдем закономерности изменения входного тока ККМ при наличии в его структуре КРИП-ПНТ и обычного параллельного ИП. В отличие от [1] анализ входного тока выполним с учетом того, что на вход ККМ подается выпрямленное (нефильтрованное) напряжение от однофазного двухполупериодного выпрямителя. Для этого на кривой входного напряжения uвх(t) (рис. 2), на произвольном n-ом периоде переключения выделим два коммутационных интервала: при $Tn \le t \le Tn + tu$ идёт накопление энергии в дросселе, а при $Tn + tu \le t \le Tn + T$ происходит передача энергии в нагрузку. На этих интервалах приложенное напряжение повторяет форму выпрямленного напряжения uвх(t).

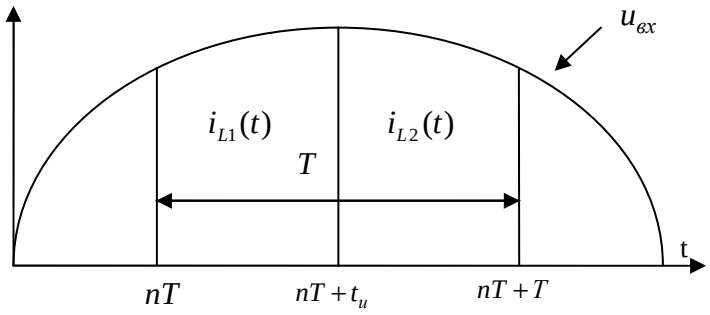


Рис. 2. Напряжение на входе корректора коэффициента мощности

Импульс входного напряжения ККМ представляет собой произведение единичного импульса прямоугольной формы $u_1(t) = 1(t-t_1)-1(t-t_2)$ и синусоидального напряжения $u_{вх}(t) = E\cdot\sin(\omega t)$.

Их изображения:

$$u_1(p) = \frac{e^{-pt_1} - e^{-pt_2}}{p},$$

$$u_{вх}(p) = \frac{E\omega^2}{p^2 + \omega^2}.$$

В соответствии с теоремой свертки:

$$L[u_1(t)u_{вх}(t)] = \sum_{k=1}^{m} \operatorname{Re} s(u_1(p-\delta)u_{вх}(\delta)\Big|_{\delta = \delta_к},$$

где m – число полюсов. В нашем случае полюса $\delta_{1,2} = \pm j\omega$.

В результате получено изображение импульса напряжения на входе ККМ для соответствующего коммутационного интервала:

$$u_{вх}(p) = E\frac{p(e^{-pt_1}\sin\omega t_1 - e^{-pt_2}\sin\omega t_2) + \omega(e^{-pt_1}\cos\omega t_1 - e^{-pt_2}\cos\omega t_2)}{p^2 + \omega^2}.$$

Для первого коммутационного интервала $t_1 = nT, t_2 = nT + t_u$, а для второго $t_1 = nT + t_u, t_2 = nT + T$, где t_u – длительность первого коммутационного интервала.

а) ККМ с КРИП-ПНТ.

С учётом результатов [1] изображение входного тока на первом коммутационном интервале:

$$i_{L1}(p) = \omega_к \frac{M(p)(1+p^2L_кC_к) + i_L(nt)(1+p^2L_кC_к)(p^2+\omega^2) - p(p^2+\omega^2)L_кC_кR_нi_{L1}(nT)}{L(p^2+\omega^2)(p^2+\omega_к^2)p}, \quad (1)$$

где $M(p)=E\left[p(e^{-pt_1}\sin\omega t_1-e^{-pt_2}\sin\omega t_2)+\omega(e^{-pt_1}\cos\omega t_1-e^{-pt_2}\cos\omega t_2)\right]$; $\omega_к=\frac{1}{\sqrt{L_к C_к}}$; $i_L(nT)$ – ток дросселя L в момент $t=nT$.

В (1) учтено, что $u_н(nT)=u_{сф}(nT)=i_L(nT)R_н$, т. к. $i_L(nT)>>i_{сф}(nT)$. Оригинал тока дросселя:

$$i_{L1}(\bar{t})=\frac{E}{\omega L}M_1(\bar{t},\bar{\omega},\gamma)+i_L(n)\left[1-\frac{R_н}{\omega_к L}\sin\omega_к(\bar{t}-n)\right], \quad (2)$$

$n\le\bar{t}\le n+\gamma$,

где $\bar{t}=\frac{t}{T};\bar{\omega}=\omega T;\gamma=\frac{t_u}{T};\bar{\omega_к}=\omega_к T;$

$M_1(\bar{t},\bar{\omega},\gamma)=\sin\bar{\omega}n\sin\bar{\omega}(\bar{t}-n)-\sin\bar{\omega}(n+\gamma)\sin\bar{\omega}(\bar{t}-n-\gamma)+$

$+\cos\bar{\omega}(n+\gamma)\cos\bar{\omega}(\bar{t}-n-\gamma)-\cos\bar{\omega}n\sin\bar{\omega}(\bar{t}-n).$

Для $\bar{t}=n+\gamma$:

$$i_{L1}(n+\gamma)=\frac{E}{\omega L}\left[\sin\bar{\omega}n\sin\bar{\omega}\gamma+\cos\bar{\omega}(n+\gamma)-\cos\bar{\omega}n\cos\bar{\omega}\gamma\right]+i_L(n)(1-\frac{R_н}{\omega_к L}\sin\bar{\omega_к}\gamma). \quad (3)$$

Изображение входного тока на втором коммутационном интервале:

$$i_{L2}(p)=\frac{M(p)+(p^2+\omega^2)Li_L(nT+t_u)}{L(p^2+\omega^2)(p+a)}.$$

Для $n+\gamma\le\bar{t}\le n+1$ оригинал входного тока:

$$i_{L2}(\bar{t})=\frac{E}{z}\sin(\bar{\omega}n-\psi)+M_2(\bar{t},\bar{\omega},\gamma)\frac{E}{L(a^2+\omega^2)}+$$

$$+\frac{e^{-\bar{a}(\bar{t}-n-\gamma)}E}{\omega L}\left[\sin\bar{\omega}n\sin\bar{\omega}\gamma+\cos\bar{\omega}(n+\gamma)-\cos\bar{\omega}n\cos\bar{\omega}\gamma\right]+i_L(n)(1-\frac{R_н}{\omega_к L}\sin\bar{\omega_к}\gamma\cdot e^{-\bar{a}(\bar{t}-n-\gamma)}, \quad (4)$$

где $\psi=\pi+arctg\frac{\omega L}{R_н}$, $M_2(\bar{t},\bar{\omega},\gamma)=a\left[e^{-\bar{a}(\bar{t}-n-\gamma)}\sin\bar{\omega}(n+\gamma)-e^{-\bar{a}(\bar{t}-n-1)}\sin\bar{\omega}(n+1)\right]-$

$-\bar{\omega}\left[e^{-\bar{a}(\bar{t}-n-\gamma)}\cos\bar{\omega}(n+\gamma)-e^{-\bar{a}(\bar{t}-n-1)}\cos\bar{\omega}(n+1)\right]$; $a=\frac{R_н}{L}$, $\bar{a}=aT$, $z=\sqrt{\omega^2L^2+R_н^2}$.

б) ККМ с обычным параллельным ИП.

Ток дросселя L на первом коммутационном интервале:

$$i_{L1}(\bar{t})=\frac{E}{\omega L}M_1(\bar{t},\bar{\omega},\gamma)+i_L(n), \quad (5)$$

$n\le\bar{t}\le n+\gamma$. В момент $\bar{t}=n+\gamma$:

$$i_{L1}(n+\gamma)=\frac{E}{\omega L}\left[\sin\bar{\omega}n\sin\bar{\omega}\gamma+\cos\bar{\omega}(n+\gamma)-\cos\bar{\omega}n\cos\bar{\omega}\gamma\right]. \quad (6)$$

Ток дросселя на втором коммутационном интервале определяется выражением (4) с учетом (6). Очевидно, что различие во входных токах рассматриваемых ИП состоит в наличии сомножителя $(1-\frac{R_н}{\omega_к L}\sin\bar{\omega_к}\gamma)$ при токе $i_L(n)$ на первом коммутационном интервале, который определяется выражением (2).

Поскольку $\sin\bar{\omega_к}\gamma$ в этом сомножителе может иметь различный знак, то и его влияние на величину тока дросселя будет различным. Чаще всего собственная частота

резонансного контура составляет несколько мегагерц, потому в большинстве случаев указанный сомножитель не будет оказывать заметного влияния на величину входного тока. Это влияние может быть весьма заметным при сбросе нагрузке и при снижении индуктивности входного дросселя.

Анализ спектра входного тока.

Если в (4) подставить $\bar{t} = n+1$, то получим следующее разностное уравнение:

$$i_L(n+1) - m(\gamma) = M(n),$$

где $m(\gamma) = (1 - \frac{R_н}{\omega_к L}\sin\overline{\omega_к}\gamma)e^{-\bar{a}(1-\gamma)}$ – для КРИП-ПНТ; $m(\gamma) = e^{-\bar{a}(1-\gamma)}$ – для обычного ИП.

$$M(n) = \frac{E}{z}\sin(\overline{\omega}n - \psi) + \frac{E}{L(a^2+\omega^2)}M_2{}^*(n, \overline{\omega}, \gamma),$$

где многочлен $M_2{}^*(n, \overline{\omega}, \gamma)$ получен при подстановке $\bar{t} = n+1$ в многочлен $M_2(\bar{t}, \overline{\omega}, \gamma)$. При решении разностного уравнения найдено установившееся значение тока дросселя:

$$i_L(n) = \frac{M(n)}{1 - m(\gamma)}. \qquad (7)$$

Входной ток ККМ для соответствующих преобразователей на различных коммутационных интервалах определяется выражениями (2), (4), (5) с учетом (6), что позволяет найти их спектры.

Амплитуда к-ой синусной гармоники входного тока:

$$A_{км}(s) = \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N}\left[\int_{n}^{n+\gamma} i_{L1}(\bar{t})\sin 2k\overline{\omega}\bar{t}d\bar{t} + \int_{n+\gamma}^{n+1} i_{L2}(\bar{t})\sin 2k\overline{\omega}\bar{t}d\bar{t}\right],$$

где $i_{L1}(\bar{t})$, $i_{L2}(\bar{t})$ определяются выражениями (2)-(6), N – количество периодов переключения на периоде выпрямленного напряжения. Аналогично можно найти амплитуды гармоник косинусного ряда $A_{км}(c)$, а затем найти величины комплексных амплитуд $\dot{A}_{км} = \sqrt{A^2_{км}(s) + A^2_{км}(c)}$ и их фазовые сдвиги $\varphi_к = \frac{\pi}{2} - arctg\frac{A_{км}(s)}{A_{км}(c)}$.

Приближенно амплитуды гармоник входного тока можно оценить по его максимальному значению, которое во времени соответствует амплитуде входного напряжения, т. к. их фазовый сдвиг незначительный.

В процессе частотного регулирования происходит изменение скважности, что приводит к изменению максимального значения входного тока преобразователя. В таблице 1 приведены результаты расчёта максимального значения входного тока для соответствующих значений параметров регулирования, когда частота колебаний резонансного контура $\omega_к = 1{,}57\cdot10^6$ с$^{-1}$, $R_Н = 100$ Ом, E = 10 В.

Таблица 1

Максимальный входной ток при различных параметрах регулирования

$f_к$, кГц	25	50	83,3	100	125
$T_к$, мкс	$4\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$1{,}2\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$0{,}8\cdot10^{-5}$
γ	0,1	0,2	0,,3	0,4	0,5
$\bar{a}$	4	2	1,2	1	0,8
$\overline{\omega}$, с$^{-1}$	$1{,}25\cdot10^{-2}$	$0{,}628\cdot10^{-2}$	$0{,}378\cdot10^{-2}$	$0{,}314\cdot10^{-2}$	$0{,}2512\cdot10^{-2}$
N	250	500	833	1000	1250
I_{LM}, А	0,0028	0,025	0,114	0,17	0,28

Полагая, что в процессе работы КРИП-ПНТ форма потребляемого тока близка к синусоидальной, и учитывая, что для схемы Греца с активной нагрузкой постоянная составляющая тока I0 = 2ILM/π, используя известное соотношение, можно найти амплитуду соответствующей гармоники входного тока.

Например, из таблицы 1 для $\gamma = 0{,}4$ ток ILM = 0,17 А. Его постоянная составляющая I0 = 0,108 А. Следовательно, амплитуда основной гармоники на входе преобразователя IM1 = 0,67·I0 , что составляет 0,0724 А. Это почти в два раза больше, чем амплитуда основной гармоники тока на выходе выпрямителя с активной нагрузкой, т. к. выходное напряжение КРИП-ПНТ почти в два раза больше входного.

Выводы. Как показали приведённые расчёты, повышение частоты коммутации при неизменных параметрах резонансного контура приводит к резкому увеличению максимального значения потребляемого тока. В замкнутой системе это приведет к потере устойчивости и сделает невозможным выполнение ККМ своих функций, что есть следствием известной особенности внешней характеристики параллельного ИП. Для устранения этого недостатка необходимо, чтобы при $\gamma > 0{,}5$ внешняя характеристика КРИП-ПНТ была близкой к внешней характеристике последовательного ИП с линейной зависимостью выходного напряжения от скважности регулирования.

Добиться такого результата можно в процессе регулирования коэффициента усиления, когда $\gamma > 0{,}5$. Это можно осуществить в замкнутой двухконтурной системе, построенной по принципу подчиненного регулирования. Причем внутренним контуром должен быть контур напряжения, а внешним (главным) – контур тока, в котором должна отслеживаться ошибка регулирования по току и её производная. На основании полученных результатов необходимо производить коррекцию коэффициента усиления, когда $\gamma > 0{,}5$. Наиболее эффективно эту задачу позволяет решить интеллектуальный регулятор, в частности – регулятор на основе нечеткой логики.

Список использованных источников

1. Денисов Ю. А. Статические характеристики квазирезонансного импульсного преобразователя с параллельным контуром, переключаемого при нулевом токе / Ю. А. Денисов, А. Н. Городний // Техническая электродинамика. Тем. вып. «Силовая электроника и энергоэффективность». – 2011. – Ч. 1. – С. 20-26.

2. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания: пер. с англ. / П. Четти. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 42-44.

3. Денисов Ю. А. Импульсные системы стабилизации постоянного напряжения с нечеткими и адаптивными регуляторами / Ю. А. Денисов, С. А. Иванец // Электричество. – 2007. – № 7. – С. 35-39.

УДК 621.311

Р.О. Буйний, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ОБЛАСТІ ВИКОРИСТАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК НАПРУГОЮ 330-750 кВ СИСТЕМНИХ ПІДСТАНЦІЙ З ЕЛЕГАЗОВИМИ ВИМИКАЧАМИ І КРУЕ

Розглянуто особливості використання схем електричних з'єднань розподільних установок системних підстанцій напругою 330-750 кВ та обґрунтовано область їх використання у разі застосування елегазових вимикачів і КРУЕ.

Ключові слова: *схема електричних з'єднань, розподільна установка, КРУЕ, системна підстанція.*

Рассмотрены особенности использования схем электрических соединений распределительных устройств системных подстанций напряжением 330-750 кВ и обоснована область их использования в случае применения элегазовых выключателей и КРУЭ.

Ключевые слова: *схема электрических соединений, распределительное устройство, КРУЭ, системная подстанция.*

The features of the use of circuit of electric connections in the distributive devices of system substations are considered by 330-750 kV and the area of their use is reasonable in case of application of SF6-breaker and GIS.

Key words: *electric circuit, distributive device, GIL, power substation.*

Вступ. В [1; 2] обґрунтовано перелік схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій (РУ ПС) напругою 110 кВ і більше з використанням елегазових вимикачів і елегазових РУ (КРУЕ), а також область використання цих схем за економічними критеріями. Проте критерій економічності ПС (мінімуму витрат на спорудження з урахуванням вартості землі) не завжди є вирішальним при виборі тієї чи іншої схеми, особливо на надвисоких напругах, де вагомий внесок здійснюють експлуатаційні витрати та зношуваність ресурсу комутаційної апаратури. Тому обґрунтування схем РУ на надвисоких напругах (330-750 кВ) потребує додаткових досліджень.

Основні матеріали дослідження. В [1; 2] показано, що для РУ напругою 330-750 кВ системних ПС з елегазовими вимикачами і КРУЕ доцільно використовувати три схеми, які задовольняють вимозі стійкості енергосистеми:

1) схему «330(500,750)-10» – трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі;

2) схему «330(500,750)-11» – полуторну;

3) схему «330(500,750)-11М» – полуторну з приєднанням автотрансформаторів без вимикачів до шин.

Результати розрахунку ймовірностей безвідмовної роботи цих схем з елегазовими вимикачами і КРУЕ розраховані за методикою, викладеною в [2], зведені в таблицю 1.

Використовуючи укрупнені показники вартості [3], отримано залежності вартості одного приєднання в схемах «330(500,750)-10», «330(500,750)-11» і «330(500,750)-11М» з елегазовими вимикачами і КРУЕ (рис. 1-3).

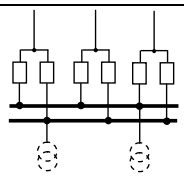
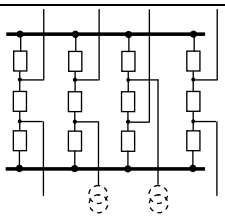
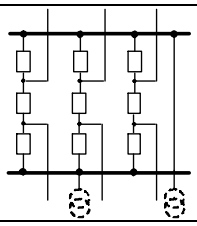
З цих трьох схем найекономічнішою є схема «330(500,750)-11М» за будь-якої кількості лінійних приєднань [2] (рис. 1-3). Проте вона не може бути застосована при 2-х лінійних приєднаннях, оскільки не буде забезпечувати нормальну роботу енергосистеми у разі відключення одного з приєднань.

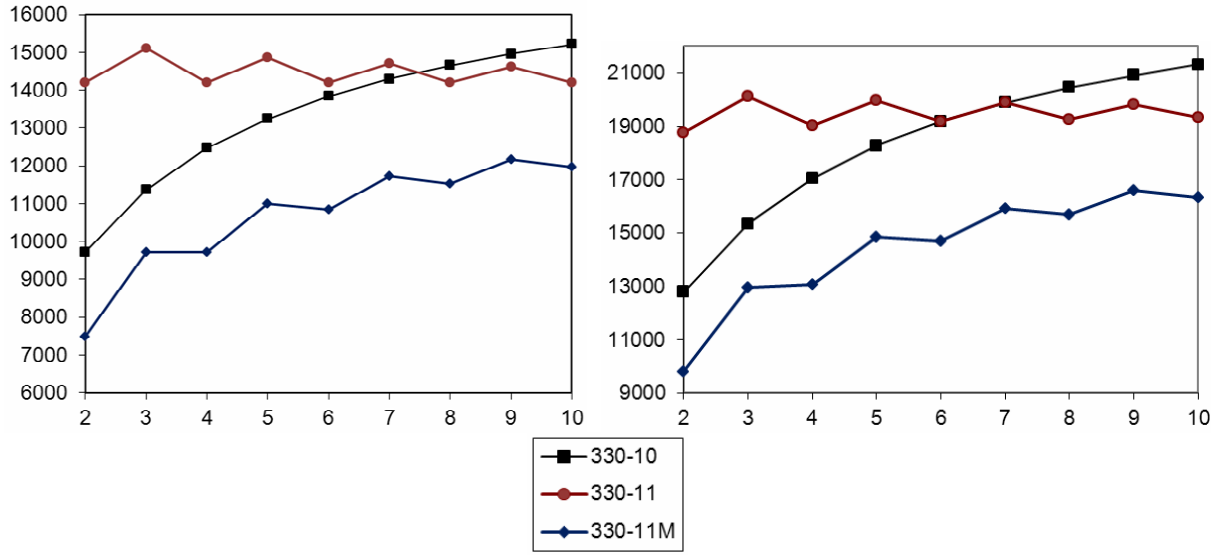
Слід зазначити, що у кожній з наведених схем при пошкодженні на шинах або при пошкодженні автотрансформатора буде спрацьовувати різна кількість вимикачів, яка залежить від кількості приєднань у схемі. Тому для визначення кількості лінійних приєднань, за якої доцільно використовувати ту чи іншу схему, введемо термін **«зношування комутаційного ресурсу вимикачів схеми»**, під яким будемо розуміти кількість відключень вимикачів у схемі за рік. Кращою буде та схема, у якої буде мінімальне зношування комутаційного ресурсу під час відключень вимикачів у разі пошкодження шин і автотрансформаторів.

У таблиці 2 наведено кількість вимикачів, що буде одночасно спрацьовувати у схемах РУ системних ПС.

Таблиця 1

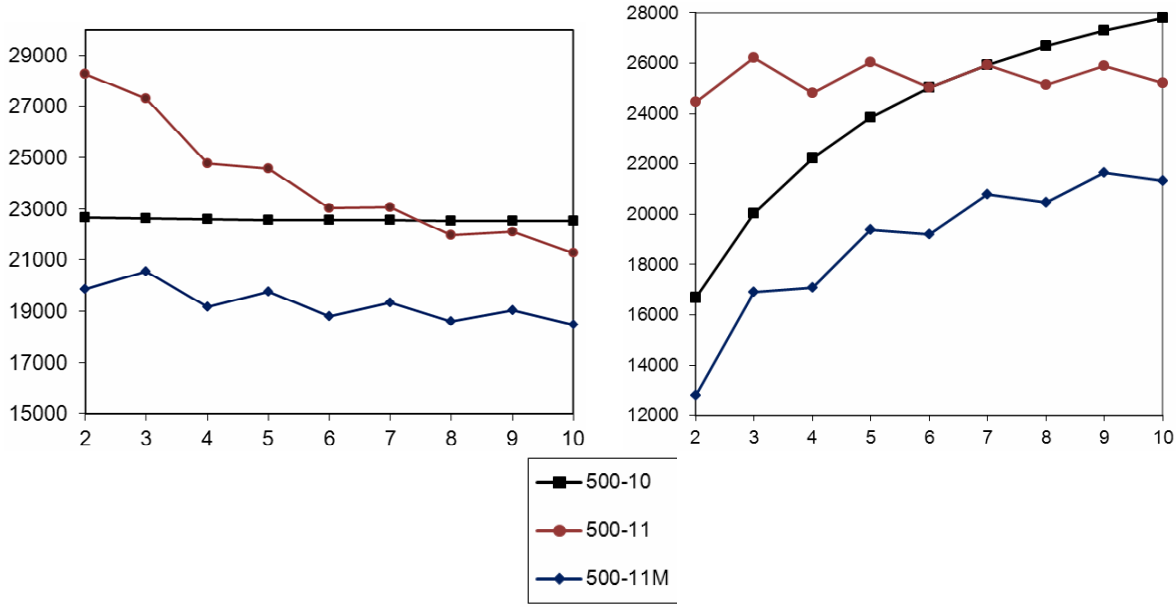
Ймовірності безвідмовної роботи схем електричних з'єднань системних ПС

Шифр схеми	Назва схеми	Умовне зображення схеми	Ймовірність безвідмовної роботи схеми протягом року з вимикачами, передача від ВН до НН / транзит через РУ ВН		
			масляними (повітряними)	елегазо-вими	КРУЕ
330-10 500-10 750-10	Трансформатор-шини з приєднанням ліній через два вимикачі		0,999985 0,9187	0,999998 0,984	0,9999998 0,9985
330-11 500-11 750-11	Полуторна		1 0,9909	1 0,9997	1 0,999997
330-11М 500-11М 750-11М	Полуторна з приєднанням автотрансформаторів без вимикачів до шин		1 0,9893	1 0,99923	1 0,999982



а *б*

Рис. 1. Залежність вартості одного приєднання (у тис. грн) від кількості лінійних приєднань у схемах «330-10», «330-11» і «330-11М» з елегазовими вимикачами (а) і КРУЕ (б)



а *б*

Рис. 2. Залежність вартості одного приєднання (у тис. грн) від кількості лінійних приєднань у схемах «500-10», «500-11» і «500-11М» з елегазовими вимикачами (а) і КРУЕ (б) (без урахування вартості шунтувальних реакторів)

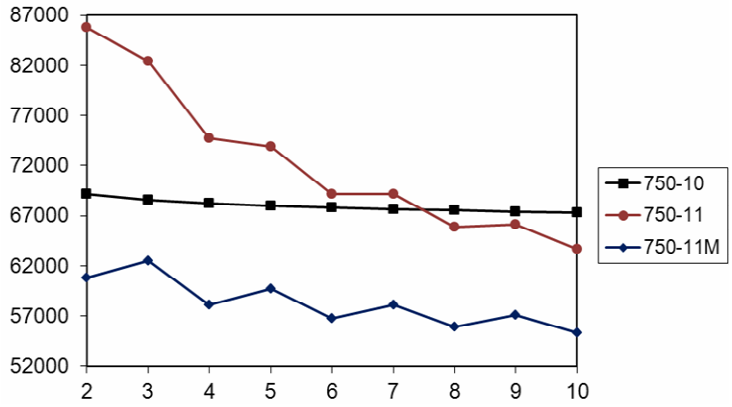


Рис. 3. Залежність вартості одного приєднання (у тис. грн) від кількості лінійних приєднань у схемах «750-10», «750-11» і «750-11М» з елегазовими вимикачами (без урахування вартості шунтувальних реакторів)

Таблиця 2

Кількість вимикачів, що одночасно спрацьовує у схемах РУ системних ПС у разі пошкодження збірних шин та автотрансформаторів

Номер схеми	**Кількість вимикачів, що одночасно спрацьовує у разі пошкодження збірних шин/автотрансформатора, шт за кількості лінійних приєднань:**								
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
«10»	2/2	3/3	4/4	5/5	6/6	7/7	8/8	9/9	10/10
«11»	2/2	3/2	3/2	4/2	4/2	5/2	5/2	6/2	6/2
«11М»		2/2	2/2	3/3	3/3	4/4	4/4	5/5	5/5

Використовуючи частоту відмов збірних шин та автотрансформаторів для схем з відкритими РУ (ВРУ) і елементів КРУЕ напругою 330-750 кВ [1] та кількість вимика-

чів, що буде одночасно спрацьовувати у вищенаведених схемах системних ПС у разі пошкодження збірних шин та автотрансформатора (таблиця 2), розраховано ***зношування комутаційного ресурсу*** схем «10», «11» і «11М» за формулами:

$$H_{Ш} = \omega_{0Ш} \cdot (n_L + n_T) \cdot N_{Ш},$$

$$H_{AT} = \omega_{AT} \cdot N_{AT},$$

де n_L, n_T – кількість лінійних та трансформаторних приєднань до збірної шини, шт;

$\omega_{0Ш}$, ω_{AT} – частота відмов шини на одне приєднання до неї та автотрансформатора відповідно, рік-1;

$N_{Ш}$, N_{AT} – максимальна кількість вимикачів, що можуть одночасно спрацьовувати у схемі при пошкодженні збірних шин та автотрансформатора відповідно (без урахування форс-мажорів: неспрацьовування одного з вимикачів), шт.

Результати розрахунків зведено до таблиць 3-4.

Таблиця 3

Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у схемах РУ системних ПС з елегазовими вимикачами

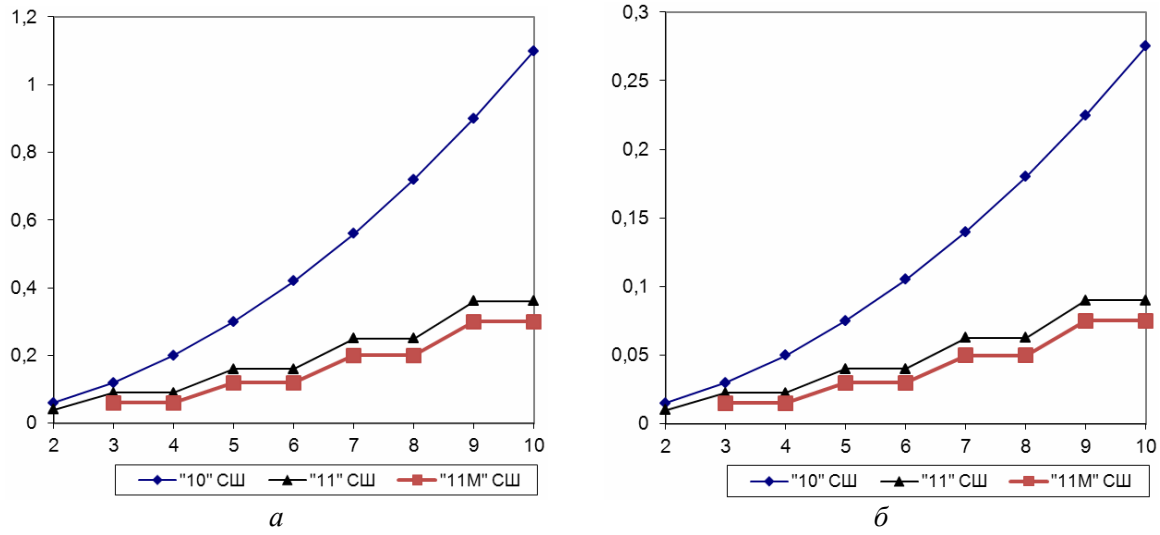
Номер схеми	**Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у разі пошкодження збірних шин/автотрансформатора, шт·разів/рік за кількості лінійних приєднань:**								
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
«10»	0,06 0,1	0,12 0,15	0,2 0,2	0,3 0,25	0,42 0,3	0,56 0,35	0,72 0,4	0,9 0,45	1,1 0,5
«11»	0,04 0,1	0,09 0,1	0,09 0,1	0,16 0,1	0,16 0,1	0,25 0,1	0,25 0,1	0,36 0,1	0,36 0,1
«11М»		0,06 0,1	0,06 0,1	0,12 0,15	0,12 0,15	0,2 0,2	0,2 0,2	0,3 0,25	0,3 0,25

Таблиця 4

Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у схемах РУ системних ПС з КРУЕ

Номер схеми	**Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у разі пошкодження збірних шин/автотрансформатора, шт·разів/рік за кількості лінійних приєднань:**								
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
«10»	0,015 0,1	0,03 0,15	0,05 0,2	0,075 0,25	0,105 0,3	0,14 0,35	0,18 0,4	0,225 0,45	0,275 0,5
«11»	0,01 0,1	0,0225 0,1	0,0225 0,1	0,04 0,1	0,04 0,1	0,0625 0,1	0,0625 0,1	0,09 0,1	0,09 0,1
«11М»		0,015 0,1	0,015 0,1	0,03 0,15	0,03 0,15	0,05 0,2	0,05 0,2	0,075 0,25	0,075 0,25

На рисунках 4-5 зображені залежності зношування комутаційного ресурсу від кількості лінійних приєднань для схем «10», «11» та «11М» з елегазовими вимикачами і КРУЕ у разі пошкодження збірних шин і автотрансформаторів.



а *б*

Рис. 4. Зношування комутаційного ресурсу для схем «10», «11» та «11М» з елегазовими вимикачами (а) і КРУЕ (б) залежно від кількості лінійних приєднань при пошкодженні збірних шин

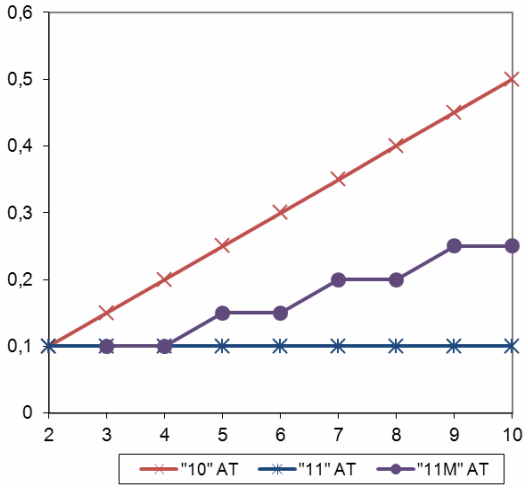


Рис. 5. Зношування комутаційного ресурсу для схем «10», «11» та «11М» з елегазовими вимикачами і КРУЕ залежно від кількості лінійних приєднань при пошкодженні автотрансформаторів

З рисунків 4-5 видно, що для випадку пошкодження збірних шин при 2-х лінійних приєднаннях мінімальне зношування ресурсу має схема «11», а при 3-х і більше – схема «11М». У випадку пошкодження автотрансформатора при 2-х лінійних приєднаннях мінімальне зношування ресурсу мають схеми «10» і «11», при 3-4-х – схеми «11» і «11М», а при 5-х і більше – схема «11».

У таблиці 5 наведено кількість лінійних приєднань, за якої доцільно використовувати одну з трьох схем для РУ системних ПС з елегазовими вимикачами та КРУЕ за різними критеріями.

Таблиця 5

Найдоцільніша схема для РУ системних ПС з елегазовими вимикачами і КРУЕ за різними критеріями

Кількість приєднань	Шифр найдоцільнішої схеми		
	За економічними міркуваннями	У разі пошкодження збірних шин	У разі пошкодження автотрансформатора
2	«10»	«11»	«10» = «11»
≥3	«11М»	«11М»	–
3-4	–	–	«11» = «11М»
≥5	–	–	«11»

Оскільки пошкодження трансформаторів бувають частіше, ніж збірних шин, то можна зробити такі висновки.

Висновки. Для РУ напругою 330-750 кВ системних ПС з елегазовими вимикачами або КРУЕ слід використовувати за кількості лінійних приєднань:

2 – схему «330(500,750)-10» – трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі;

3-4 – схему «330(500,750)-11» – полуторну;

≥5 – схему «330(500,750)-11М» – полуторну з приєднанням автотрансформаторів без вимикачів до шин.

Список використаних джерел

1. Обґрунтування переліку схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій напругою 110 кВ і більше з використанням елегазових вимикачів і КРУЕ / Р. О. Буйний, В. В. Зорін, А. О. Квицинський, В. П. Ключко // Енергетика та електрифікація. – 2012. – № 2. – С. 36-44.

2. Буйний Р. О. Обґрунтування області використання схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій напругою 110 кВ і більше з елегазовими вимикачами і КРУЕ за економічними критеріями / Р. О. Буйний, В. В. Зорін, А. О. Квицинський // Енергетика та електрифікація. – 2012. – № 6. – С. 13-21.

3. СТО 56947007-29.240.014-2008. Укрупненные показатели стоимости сооружения (реконструкции) подстанций 35-750 кВ и линий электропередачи напряжением 6,10-750 кВ.

УДК 331.45:621.316.9

Н.М. Денисова, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ ПРАЦІВНИКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

На основі аналізу умов праці працівників електроенергетичних підприємств запропоновано введення системного аналізу виробничих небезпек для оцінювання професійного ризику.

***Ключові слова**: нещасний випадок, професійний ризик, показник-ризик.*

На основании анализа условий труда работников электроэнергетических предприятий предложено введение системного анализа производственных опасностей с целью оценки профессионального риска.

***Ключевые слова**: несчастный случай, профессиональный риск, риск-показатель.*

Based on the analysis of working conditions prompted the introduction of electric utilities production system analysis to assess the risks of occupational exposure.

***Key words:** accident, occupational risk, the risk indicator.*

Вступ. Сучасне життя нерозривно пов'язане з використанням електроенергії. В умовах експлуатації потужних енергосистем, електричних машин і апаратів, розвитку обчислювальної техніки й приладобудування, роботизації та комп'ютеризації виробництва важливого значення набуває проблема в електробезпеці – захисті електротехнічного персоналу та інших осіб, які обслуговують електроустаткування від ураження електричним струмом.

Аналіз загальної кількості виробничих нещасних випадків свідчить, що кількість електротравм становить 1,0-1,5 %, а в енергетиці навіть 3-5 %. Але серед нещасних випадків зі смертельним наслідком електротравмами становлять 20-40 % на виробництві, а в енергетиці до 60 %, займаючи одне з перших місць. При цьому 60-85 % смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В (127-380 В), причинами у 75-80 % є „людський фактор".

Постановка проблеми. Дослідження професійних ризиків зв'язано в першу чергу зі становленням страхових механізмів обов'язкового соціального страхування від нещасних випадків та професійних захворювань та формуванням пенсіонних систем. Так, згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 59 від 20.12.2011"Про затверджен-

ня Порядку ведення обліку показників для визначення класу професійного ризику виробництва" використовується автоматизована система збору, накопичення та обробки даних про страхувальників – роботодавців і добровільно застрахованих осіб, що аналізує результати діяльності підприємства щодо кількості травм та професійних захворювань, на основі яких розраховується виплати підприємства у фонд. Проте з метою економії на сьогодні підприємства приховують фактичні дані травматизму та захворюваності. З іншого боку, дослідження ризиків технологічних операцій та процесів конкретних виробництв може виявити „больові" точки та попередити виникнення аналогічних ситуацій, тим самим знижуючи показники травматизму та захворюваності.

До останнього часу як показники ризику розглядалися та аналізувалися здебільшого лише коефіцієнти частоти і важкості виробничого травматизму (професійної захворюваності). На сьогодні ще не проведено оцінювання та не співставлено показники ризику для основних професій електроенергетичних підприємств, не складено класифікатор професій за критеріями ризику травмування і захворюваності. Це зумовлено багатоаспектністю цієї проблеми, практично повним ігноруванням більшістю об'єктів господарювання вимог до охорони праці майже в усіх галузях економіки та управлінській діяльності. Крім того, ризик – це складне, явище, що має безліч незбіжних, а іноді протилежних реальних основ, оскільки в літературі немає єдиного розуміння особливостей цієї проблеми [1; 6].

Отже, потрібно розробити якісно нову систему аналізу та обліку професійних ризиків, складниками якої мають стати: науковий інструментарій об'єктивного оцінювання ризиків; страхові механізми їх виявлення на виробництві; галузеві центри відстеження ризиків та потенційних небезпек; зворотні комп'ютеризовані інформаційні зв'язки від центру до робочих місць.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження системи аналізу професійних ризиків проводяться у вигляді аналізу загальних соціальних та економічних факторів і причин, що впливають або можуть впливати на ризик травмування на виробництві, не враховуючи особливості технологічних процесів [1]. Відомі дослідження закономірності впливу на ризик травмування та його безпосередні технічні, організаційні й психофізіологічні причини основних соціально-економічних показників виробництва, що характеризують його ресурсоємність, обсяги виробництва та зайнятість населення на навколишній території, не враховують формування причинно-наслідкових зв'язків у процесі виникнення нещасних випадків та професійних захворювань на виробництвах радіоелектронної галузі. Оцінка можливого зменшення збитків від виробничого травматизму внаслідок профілактичних заходів, що можуть використовуватися для оцінювання економічного ефекту, запропонована фахівцями з охорони праці лише в деяких галузях [2; 3]. Аналіз відомих бінарних залежностей „причина нещасного випадку – вид травматичної події" показав недостатність такого підходу та виявив необхідність розробки матриці ризиків травмування, визначенні методів зменшення ризику та виборі адекватних методів оцінювання ризиків [1; 6].

Мета статті. Обґрунтувати можливості застосування експертних методів оцінювання ризиків на підприємствах радіоелектронної галузі як складника методології управління професійними ризиками для усунення ризиків неприйнятного рівня.

Виклад основного матеріалу. Спеціалісти Міжнародної організації праці та Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) виділяють більше 150 класів професійного ризику і близько тисячі їх видів, що загрожують життю і здоров'ю працівників різних професій (ризик – усвідомлена кількісна оцінка ймовірності виникнення події з певними небажаними наслідками, аналіз ризику – систематичне використання інформації про ризик, порівняння його з прийнятним ризиком, обґрунтування раціональних заходів захисту). Вважають, що ця класифікація не є повною й охоплює лише окремі аспек-

ти безпеки та гігієни праці, істотна частка цих ризиків має місце у виробничих процесах електроенергетичних підприємств. Таке широке коло професійних ризиків пояснюється недостатньо високим рівнем розвитку в Україні виробництв радіоелектронної галузі та застосуванням морально і фізично застарілого обладнання з вичерпаним ресурсом (після 10-річного і більше терміну експлуатації).

Стратегія управління безпекою складних систем, якими є виробничі процеси в радіоелектронній галузі, передбачає системний аналіз, багатофакторне оцінювання і багатокритеріальну мінімізацію ризиків, що забезпечує значне підвищення їх безпеки за своєчасного виявлення ситуацій істотного, критичного і/або катастрофічного ризику та запобігання їх наслідкам.

У наукових дослідженнях управління ризиком визначається як системне регулярне дослідження виникнення ймовірних ризиків, які загрожують людині, майну, інтересам, діяльності. Дослідження ризику дозволяє заздалегідь передбачати певні тенденції розвитку небезпек, допустимості параметрів їхнього впливу на людину, навколишнє середовище.

Оцінка ступеня ризику:

$$R = n/N, \quad (1)$$

де R – ступінь ризику, n – кількість небезпек, N – максимально можлива частота виникнення небезпек за конкретний період часу.

Оцінювання ризику може здійснюватися різними методами:

1. Інженерний. Базується на використанні теорії надійності матеріалів та передбачає виявлення можливих шляхів виникнення відмов на об'єктах з розрахунком імовірності їх виникнення. При цьому ризик може оцінюватися не тільки за нормальних умов безаварійної експлуатації об'єктів, але й у разі виникнення аварійної ситуації.

2. Експертний. Полягає в проведенні оцінювання ризику з залученням експертів (спеціалістів) у тій чи іншій галузі.

3. Статистичний. Дозволяє проводити оцінювання ризику небезпеки за допомогою інформаційного матеріалу (звіти про небезпечні ситуації, які траплялися на досліджуваному об'єкті).

4. Аналоговий. Базується на використанні та порівнянні небезпек і факторів ризику, які відбувалися в подібних умовах та ситуаціях.

5. Соціологічний. Здійснюється з метою експертного оцінювання можливого виникнення ризику в працівників певних професій, спеціальностей, груп населення.

Статистичний і аналоговий методи застосовують за наявності певної вибірки аналогічних нещасних випадків чи небезпек, що не завжди можна реалізувати при роботі їх обладнання за певних умов та облаштуванні робочого місця. Тому, на наш погляд, необхідно застосовувати експертний метод, який базується на оцінках фахівцями (експертами) значущості впливу різних чинників виробничого процесу на безпеку. Для цього слід використовувати бальну шкалу вимірювання ймовірності ризику і його наслідків.

На практиці застосовують досить наближені методи оцінювання потенційних наслідків травмування, професійної захворюваності та ймовірності настання цих подій. За Британським стандартом безпеки DS-8800 ризик оцінюють за формулою:

$$R = P \cdot S, \quad (2)$$

де R – професійний ризик; P – ймовірність події; S – тяжкість наслідків.

Для оцінювання ступеня ймовірності настання нещасного випадку (травми, отруєння, розвинення професійної хвороби тощо) використовують такі позначення: A – висока ймовірність; B – середня ймовірність; C – мала ймовірність. Тяжкість наслідків оцінюють за трирівневою шкалою: I – аварія, смертельний випадок; II – важка травма; III – легка травма.

За результатами такого відокремлення встановлюють категорії ризику (табл. 1): 5 – дуже високий (неприйнятний); 4 – високий (неприйнятний); 3 – середній (прийнятний); 2 – малий (прийнятний); 1 – дуже малий (прийнятний).

Таблиця 1

Оцінки ризику настання нещасного випадку, хвороби чи аварії на виробництві

Тяжкість наслідків, рівень	**Ймовірність нещасного випадку**		
	А (висока)	**В (середня)**	**С (мала)**
Великі (I)	5 дуже високий (ризик неприйнятний)	4 високий (ризик неприйнятний)	3 середній (ризик прийнятний)
Середні (II)	4 високий (ризик неприйнятний)	3 середній (ризик прийнятний)	2 малий (ризик прийнятний)
Малі (III)	3 середній (ризик прийнятний)	2 малий (ризик прийнятний)	1 дуже малий (ризик прийнятний)

З таблиці 1 видно, що рівень ризику підвищується відповідно до збільшення ймовірності подій і тяжкості наслідків. На підставі даних цієї таблиці встановлюють категорію ризику та, за необхідності, розробляють і впроваджують запобіжні заходи (таблиця 2).

Таблиця 2

Категорії професійного ризику і запобіжні заходи

Оцінка категорії професійного ризику	**Припустимість ризику**	**Значення**	**Запобіжні заходи**
5 Надвисокий ризик	Неприйнятний	$\geq 10^{-2}$	Заплановану роботу заборонено розпочинати, поки ризик не зменшено до припустимого рівня
4 Високий ризик	Неприйнятний	$10^{-2} – 10^{-4}$	Заплановану роботу заборонено розпочинати, поки ризик не зменшено до припустимого рівня
3 Середній ризик	Припустимий	10^{-4}-10^{-6}	Потрібно вжити заходів для зниження ризику та недопущення його підвищення
2 Малий ризик	Припустимий	10^{-6}-10^{-8}	Потрібно вжити заходів для зниження ризику та недопущення його підвищення
1 Незначний ризик	Припустимий	$\leq 10^{-8}$	Не потрібно вживати жодних заходів

Реалізація завдання розроблення та впровадження заходів запобігання виробничих травм та захворювань передбачає застосування математичних методів і моделей оптимізації безпеки життєдіяльності, які дозволяють чітко уявити прогноз моделі різних небезпечних подій і на основі цього приймати оптимальні (розумні) рішення. Наприклад, під час робіт по обслуговуванню електрообладнання електромонтер піддається дії небезпечного фактора – підвищеної напруги електричного кола. В аварійному режимі роботи, при пробої однієї з фаз на корпус (ланцюг з ізольованою нейтраллю) під час перевірки індикатором наявності напруги на фазі буде показано, що напруги немає, а під час перевірки тестером лінійної напруги – встановлена наявність напруги, тому під час дотику до цієї фазі електромонтер може отримати електротравму. Тяжкість наслідків – велика (III), ймовірність події висока (А). З таблиці 1 потрібно визначити категорію ризику: 5 – дуже високий ризик (неприйнятний). Заплановані роботи заборонено розпочинати до встановлення огорожі (запобіжного кожуха).

Одним з найбільш шкідливих факторів виробничого процесу, що діють на працівників електрогенеруючих та розподільчих компаній, є підвищені рівні електромагнітних випромінювань. Частоти електромагнітних полів, під дією яких знаходяться працівники, мають широкий діапазон – від десятків до мільярдів герц, а існуючі нормативи не враховують їх комплексне взаємопроникнення в організм людини. Тому дослідження ризику цього фактора виявляється ускладненим. Крім наведених, виявляється ще

достатня кількість шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища: параметри мікроклімату, недостатні рівні освітленості, важкість та напруженість трудового процесу [5], що підвищують категорію ризику.

Враховуючи наведене, оцінювання професійного ризику повинна здійснюватися перед запуском обладнання або робочого місця в експлуатацію, а згодом – у разі впровадження змін у конструкції обладнання, організації праці, технологічному процесі, у випадку аварії чи травми працівника. Працівник повинен бути ознайомлений з результатами ідентифікації, оцінки категорії професійного ризику і проведеними заходами щодо його зменшення.

Під час вирішення питання з підвищення безпеки праці потрібно виходити з того, що існує ризиковий баланс між перевагами та недоліками (рис. 1), настає момент, коли переваги поступаються недолікам [6].

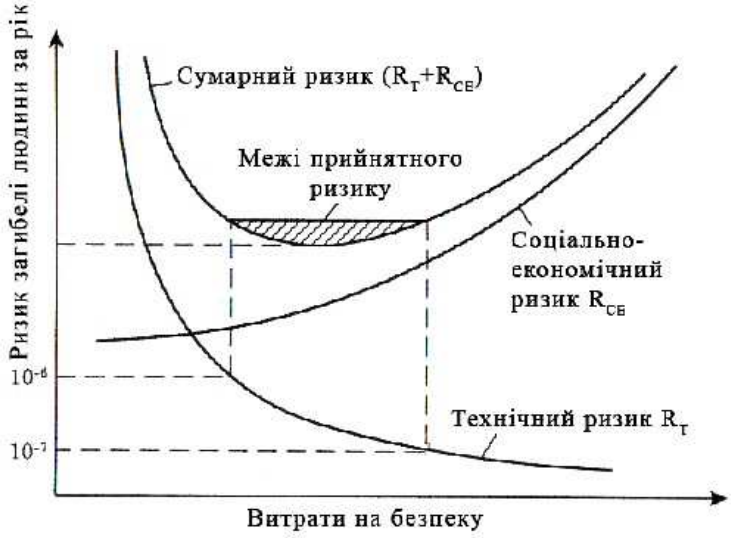


Рис. 1. Визначення прийнятного (допустимого) ризику

На підставі аналізу ризику та його кількісного оцінювання здійснюється управління ризиком (процес прийняття рішень і здійснення заходів, спрямованих на забезпечення мінімально можливого ризику). Мета управління ризиком – завчасне передбачення (прогнозування) ризику, виявлення чинників, що впливають на ситуацію, вживання відповідних заходів щодо їхнього відповідного впливу.

Управління професійними ризиками – це ітеративний процес з чітко визначеними етапами:

• встановлення (ідентифікація) небезпек і виду ризиків на робочому місці;

• аналіз ризику подій, обставин з виокремленням найбільш значущих ризиків;

• оцінювання ризиків – кількісний опис виявлених ризиків, розрахунок їх ймовірності та тяжкості наслідків;

• ранжування і відбирання ризиків – визначення ступеня значущості ризиків;

• розроблення заходів впливу на ризик для його усунення (недопущення) або зниження рівня.

Досягти зниження ризику в будь-якій системі чи ситуації можна кількома способами за рахунок (Постанова Кабінету Міністрів України № 956 від 11.07.02 «Про ідентифікації та декларування безпеки об’єктів підвищеної небезпеки»; Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування об’єктів підвищеної небезпеки):

– повної або часткової відмови від робіт, операцій, використання окремих систем, які мають високий ступінь небезпеки;

– заміни небезпечних елементів, операцій іншими – менш небезпечними;

– удосконалення технологій, систем та об'єктів у напрямі зниження ймовірності виникнення небезпек;

– організаційно-правових заходів, зокрема контролю за рівнем безпеки, навчання людей з питань безпеки, стимулювання безпечної роботи та поведінки в небезпечних ситуаціях.

Управління ризиком широко використовується в багатьох сферах науково-виробничої діяльності (техніка, економіка, екологія, психологія, соціологія та ін.). Таку методику ідентифікації та оцінювання професійного ризику у вигляді „Карти оцінювання ризику" необхідно застосовувати перед початком будь-якої роботи для ухвалення рішення про можливість її виконання чи впровадження заходів щодо зменшення категорії ризику.

Карта оцінювання ризику повинна доповнити Карту умов праці на робочому місці, що складається під час атестації робочих місць за показниками умов праці та використовується для встановлення пільг і компенсацій працівникам за роботу у шкідливих чи небезпечних умовах.

Висновки. Розглянуто можливі підходи щодо аналізу ризиків та управління ризиками у радіоелектронній галузі. Запропоновано методологію системного аналізу виробничих небезпек для оцінювання професійного ризику з урахуванням умов виконання робіт, які мають стати основою для розроблення дієвих заходів щодо збереження життя і здоров'я працівників електроенергетичних підприємств.

Список використаних джерел

1. Водяник А. О. Методологічні основи врахування фактора ризику в профілактиці виробничого травматизму: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.26.01 „Охорона праці" / А. О. Водяник. – К.: Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці, 2008. – 36 с.

2. Гогіташвілі Г. Г. Оцінка ризику – основа управління охороною праці та охорона праці / Г. Г. Гогіташвілі, В. М. Лапін //Охорона праці. – 2007. – № 4. – С. 18-19.

3. Гогіташвілі Г. Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами / Г. Г. Гогіташвілі, Е. Т. Карчевський, В. М. Лапін. – К.: Знання, 2006. – 256 с.

4. Режим доступу: http://xreferat.ru/8/1057-3-attestaciya-rabochih-mest.html.

5. Режим доступу: http://moodle.udec.ntu-kpi.kiev.ua/moodle/mod/resource/view.php?id=6080.

6. Старостина А. О. Ризик-менеджмент. Теорія та практика: навчальний посібник / А. О. Старостина, В. А. Кравченко. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2004. – 224 с.

УДК 621.396.21

І.В. Корнієнко, канд. техн. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ І СЦЕНАРІЇВ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

У статті пропонується механізм геоінформаційного моделювання та оцінювання електромагнітного забруднення навколишнього середовища. Обґрунтовуються обмеження і сценарії моделювання.

Ключові слова: *електромагнітне забруднення, геоінформаційні системи, напруженість електромагнітного поля, джерела електромагнітного випромінювання.*

В статье предлагается механизм геоинформационного моделирования и оценки электромагнитного загрязнения окружающей среды. Обосновываются ограничение и сценарии моделирования.

Ключевые слова: *электромагнитное загрязнение, геоинформационные системы, напряженность электромагнитного поля, источники электромагнитного излучения.*

A mechanism of geoinformation modeling and estimation of electromagnetic enviropment pollution is given in the article. Limits and scripts of modeling are being grounded.

Key words: *electromagnetic pollution, geoinformation systems, electromagnetic field strangth, sources of electromagnetic radiation.*

Постановка проблеми. Екологічні питання суспільного життя останнім часом набувають найбільшого загострення, що пов'язано з розширенням переліку техногенних

факторів. Крім забруднення територій токсичними речовинами, підвищеного радіаційного фону, розташування поблизу великих виробничих підприємств, комбінатів, заводів, до техногенних факторів додається чинник електромагнітного забруднення.

Медико-біологічний вплив електромагнітних хвиль на людину або екосистему пов'язаний з формуванням високочастотної енергії і прямо пропорційний потужності випромінювання (і, відповідно, напруженості електромагнітного поля (ЕМП) у точці впливу), частоти випромінювання (проникливої здатності) і часу опромінення. Доведено, що електромагнітне забруднення навколишнього середовища відбивається на нервовій, імунній, ендокринній, серцево-судинній, статевій і інших життєво важливих системах людини [1]. Особливості цього впливу ще недостатньо досліджені через можливу комбінацію параметрів електромагнітного випромінювання [2], в зв'язку з чим Всесвітня організація охорони здоров'я рекомендує максимально обмежити цей вплив на організм людини, шляхом екранування, віддалення від джерела електромагнітного випромінювання (ДЕМВ), обмеження часу опромінення. Для забезпечення цього необхідне виконання певних організаційно-технічних заходів щодо обмеження електромагнітного впливу з боку державних і приватних організацій – власників джерел радіовипромінювання (ДРВ), здійснення постійного контролю з боку відповідних державних і суспільних органів й організацій, та надання спільноті інформації про небезпечні електромагнітні ареали простору.

На сьогодні відсутній механізм, що дозволяє здійснювати оцінювання електромагнітного забруднення територій (будь-якої конкретної точки простору) та висвітлювати ці відомості з метою інформування суспільства про техногенно небезпечні зони, що і робить цю проблему актуальною.

Постановка завдання. Є екологічна загроза біологічним організмам, яка пов'язана з опроміненням високо- або низькочастотною електромагнітною енергією. Величина шкідливого впливу пов'язана з напруженістю ЕМП e_M у точці опромінення (впливу) M, частотою електромагнітної хвилі f, і часом опромінення (шкідливого впливу) t_M у точці M. Множина ДЕМВ $S=\{s_1, s_2, ..., s_n\}$ має певне просторове розташування в досліджуваній області G і характеризується просторовими координатами та множиною параметрів електромагнітного випромінювання $R=\{r_i\}$.

Необхідно розробити механізм оцінювання потенційно-небезпечного електромагнітного впливу на біологічні організми та спосіб оприлюднення інформації щодо просторових меж техногенно-небезпечних зон, а також сформулювати обмеження та сценарії, за якими здійснюється оцінювання.

Виклад основного матеріалу. Природно припустити, що механізм оцінювання значень шкідливого електромагнітного впливу на біологічні організми повинен ґрунтуватися на технологіях комп'ютерного моделювання навколишнього простору. Це пов'язано з необхідністю обробки й обчислень суттєвих масивів вихідних даних. По-перше, визначення зон небезпечного впливу передбачає оцінювання напруженості ЕМП у регулярних точках простору G, які обираються з певним дискретним кроком. По-друге, потужність ЕМП у конкретній точці простору визначається множиною параметрів випромінювання $R=\{r_i\}$, віддаленістю від джерела випромінювання та характером поширення електромагнітної хвилі у досліджуваній області G. І, по-третє, оцінюванню підлягає не електромагнітний вплив від одного окремого джерела в деякому частотному діапазоні, а певне інтегральне значення напруженості ЕМП від множини джерел випромінювання в діапазоні електромагнітних хвиль.

Для розробки механізму оцінки електромагнітної небезпеки слід розглянути декілька питань, а саме: визначити перелік ДЕМВ, їх особливості й можливості врахування їх впливу в загальний електромагнітний фон; який інструмент або технологію обрати для оцінювання електромагнітного забруднення; введення яких обмежень вимагатимуть процедури апріорної оцінки електромагнітного забруднення територій; як забезпечити оприлюднення інформації про межі зон електромагнітного забруднення і ступінь їх небезпеки; і, нарешті, яким чином здійснювати актуалізацію даних при зміні електромагнітної обстановки.

Електромагнітне випромінювання мають будь-які електронні або електричні пристрої, засоби, агрегати, дроти тощо, в яких протікає змінний або постійний електричний струм. Врахування всієї множини електронних пристроїв є потенційно-неможливим, тому для виконання оцінки необхідно визначити групи електротехнічних засобів, які слід враховувати під час прогнозування зон електромагнітного забруднення. Відомо, що шкідливість електромагнітного впливу прямо пропорційна потужності і частоті електромагнітного потоку, а також часу опромінення, тобто підлягають врахуванню групи випромінювачів, що характеризуються великими значеннями цих величин.

З іншого боку, значення напруженості ЕМП від близькорозташованого малопотужного ДЕМВ може перевищувати величину поля від потужного, але достатньо віддаленого джерела. До подібних малопотужних джерел можна віднести електропобутові пристрої, мікрохвильові пристрої, обчислювальну техніку, мобільні телефони, радіомодеми тощо. Проте ці електронні й електричні пристрої є суто індивідуальними, їх шкідливість обмежується радіусом від одиниць сантиметрів до одиниць метрів, а індивідуальний внесок у загальне електромагнітне забруднення є зневажливо малим. У радіус дії подібних пристроїв потрапляє, звичайно, безпосередньо користувач і його найближче оточення, і рішення про використання цих пристроїв приймає власник на основі його уявлень про баланс потреби у використанні і нанесеної шкоди. Крім того, хаотичність їх використання, кількість, різноманіття спектральних випромінювань та інші особливості призвели б до надмірного ускладнення обчислень при їх врахуванні. З цих міркувань виникає обмеження на поодиноке використання у розрахунках випромінюючих пристроїв цього класу. Для врахування їх частки в загальне електромагнітне забруднення можна вважати, що дані ДЕМВ утворюють певний електромагнітний шум (ЕМШ). Величину ЕМШ можна встановлювати на основі фактичних вимірів при відсутності випромінювань від потужних ДЕМВ.

В окремий клас слід виділити рухомі джерела випромінювання різної потужності. До рухомих джерел випромінювання можна віднести автомобільні, повітряні, морські, супутникові та переносні передавачі радіосигналів або інші радіовипромінювачі. Аналогічно до попереднього класу ДЕМВ, поодиноке врахування рухомих ДРВ неможливе через хаотичність їх використання і мінливість їх просторового положення. Однак їх врахування при прогнозуванні загальної електромагнітної обстановки є необхідним через суттєвий вплив, який здійснює цей клас ДРВ. Так, за деякими оцінками влив випромінювання радіозасобів мобільного зв'язку становить біля 70 % від сумарного електромагнітного забруднення [2]. Тобто далі вважатимемо, що рухомі ДРВ і побутові малопотужні ДЕМВ утворюють ЕМШ, який враховується як складова електромагнітного забруднення й обчислюється на основі статистичних моделей, які складаються за фактичними вимірами напруженості ЕМП у заданих точках простору в дискретні моменти часу й інтерполюються у досліджуваній області G. Обчислення і подальше прогнозування цього полю можна здійснювати за двома сценаріями: погодинна (рис. 1, *а*) і середньодобова (рис. 1, *б*) напруженість ЕМП (яка визначається статистичним характером використання радіовипромінюючих засобів у конкретну пору або час доби).

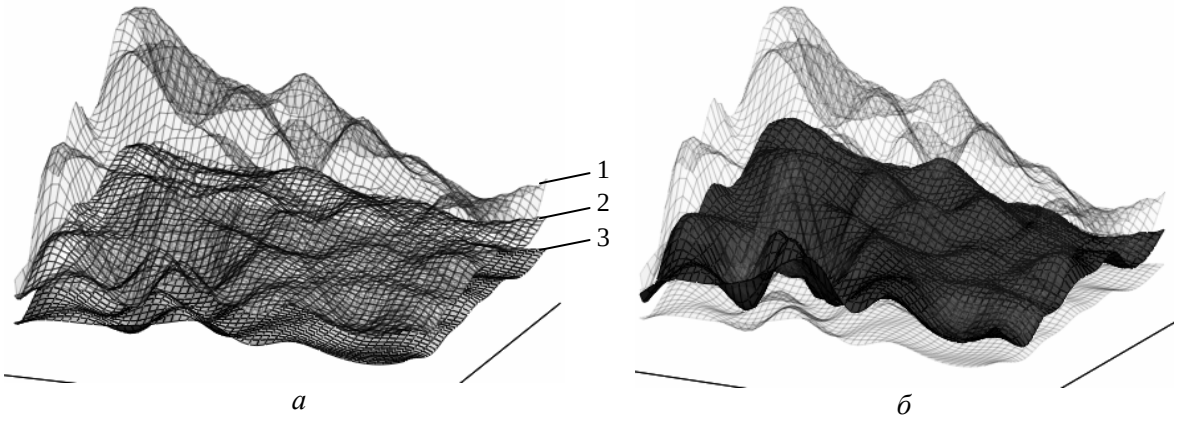


Рис. 1. Статистична модель ЕМШ: а) погодинна напруженість ЕМП: 1 – у часи пік; 2 – ранковий час; 3 – нічній час; б) середньодобове значення напруженості ЕМП

Отже, на підставі викладеного можна сформувати такі групи ДЕМВ, які здійснюють внесок до загального електромагнітного забруднення навколишнього середовища:

1. Системи виробництва, передачі, розподілення і споживання електромагнітної енергії частотою 0-3 кГц: електростанції, лінії електропередач, трансформаторні підстанції, системи електропостачання, системи живлення транспорту (залізничного, міського) тощо.

2. ДРВ, що здійснюють постійне випромінювання:

- з антенами з круговою діаграмою спрямованості;
- зі спрямованими антенами.

3. ДРВ, що здійснюють періодичне випромінювання:

- з антенами з круговою діаграмою спрямованості;
- зі спрямованими антенами.

4. Рухомі, малопотужні радіопередавачі, побутові ДЕМВ, які утворюють ЕМШ.

Визначені перші три групи ДЕМВ мають спільну характеристику – точно визначені координати. Це вимагає застосування середовища моделювання, яке дозволяє оперувати з даними, що мають просторові характеристики. Крім цього, відображені результати моделювання і прогнозування зон електромагнітного забруднення повинні мати чітко визначені межі щодо геопростору. Зручним інструментом для оцінювання техногенного впливу на геопростір є геоінформаційні системи (ГІС) [3]. Особливістю ГІС є володіння вичерпними відомостями про земну поверхню, а саме – її рельєф і характер, що необхідно для обчислення просторового загасання потоку електромагнітної енергії. Обчислення потужності ЕМП у дискретних точках простору вимагає використання моделей поширення радіохвиль (або електромагнітної енергії), які наводяться у літературі [4-6] або рекомендовані міжнародними стандартами [7].

Важливим чинником при прогнозуванні зон електромагнітного забруднення виступають характеристики випромінювання, які є вихідними даними при обчисленні напруженості ЕМП у довільних точках простору. До цих характеристик можна віднести спрямовані характеристики антени, юстирування антен у трьох площинах, коефіцієнт підсилення антени, потужність сигналу на вході антенного пристрою, спектральна щільність, частота і маска випромінюваного сигналу для радіозасобів.

Особливу проблему створюють питання нормування потужності електромагнітного випромінювання і необхідність формування інтегральної оцінки електромагнітного забруднення. Нормативні показники гранично-допустимого рівня електромагнітного опромінення визначені державними стандартами, але при цьому враховується вплив на біологічний організм в одному частотному діапазоні (тобто від одного джерела випромінювання або декількох джерел, які працюють в одному частотному діапазоні). Обчислення і моделю-

вання подібного сценарію не викликає проблем; при цьому оцінювання впливу здійснюється за встановленими гранично-допустимими рівнями електромагнітного опромінення. Проте проблеми виникають, якщо припустити, що є декілька ДЕМВ, частотний спектр випромінювання яких різний, і які здійснюють вплив на один і той же просторовий ареал. При цьому слід очікувати деякого сумарного впливу від усіх джерел випромінювання. На жаль, на цей час авторами не виявлений механізм інтегрування значень напруженості електромагнітних полів для різних частотних діапазонів в єдиний інтегральний показник, що необхідно для адекватного оцінювання електромагнітного забруднення навколишнього середовища, і вимагає розроблення відповідної методики інтегрування.

Використання геоінформаційних технологій знімає проблему опублікування результатів оцінювання електромагнітного забруднення навколишнього середовища. Реалізувати це можна за допомогою застосування існуючих геоінформаційних веб-сервісів, наприклад, Google-Maps або Yandex-Maps, у вигляді додаткової функції, представленої тематичним шаром. Ця інформація в декілька розширеному контексті також може бути розміщена в профільному наборі просторових даних (наприклад, екологічному) Національної інфраструктури геопросторових даних, і пропонуватися у вигляді платного або безкоштовного сервісу.

Електромагнітне забруднення, як фізичне явище, відрізняється від інших видів забруднення навколишнього середовища надзвичайною мінливістю і повною відсутністю інертності. Знеструмлення ДЕМВ повністю виключить чинник електромагнітного забруднення, і навпаки, поява нових джерел може змінити загальну картину електромагнітного забруднення територій. У зв’язку з цим постає питання актуалізації вихідних даних і періодичного обчислення зон електромагнітного забруднення. На думку авторів, подібна актуалізація вихідних даних повинна здійснюватись органами й організаціями державного контролю та провайдерами послуг. Ідеальним рішенням у цьому напрямі є створення ГІС управління радіочастотним ресурсом, яка б розв’язувала проблеми планування радіозв’язку, забезпечення електромагнітної сумісності радіозасобів і забезпечення електромагнітної безпеки навколишнього середовища. В цьому разі джерелом вихідних даних будуть відомості, акумульовані в базах даних "Укрчастотнагляду", що містять актуальну інформацію щодо активних джерел радіовипромінювання. Актуалізація даних здійснюється під час оформлення ліцензій на встановлення і використання радіопередавальних пристроїв, під час періодичних контрольних вимірів їх реальних характеристик та моніторингу радіочастотного ресурсу в цілому.

Підсумовуючи викладене, можна відобразити структурно-логічну схему механізму геоінформаційного моделювання й оцінювання електромагнітного забруднення (рис. 2).

Обмеження, що наведені на рис. 2, виступають у ролі фільтра вихідних даних про ДЕМВ. Вид обмежень задається сценарієм моделювання. У сценарії визначається мета моделювання, що обумовлює вибір моделей поширення електромагнітних хвиль, алгоритм обчислення і спосіб представлення результатів моделювання. Бази даних містять відомості щодо позиціювання ДЕМВ, юстирування антенних пристроїв, каталог характеристик і параметрів ДРВ. Моделювання виконується для ДЕМВ різних частотних діапазонів з використанням різних моделей поширення електромагнітних хвиль, що визначається характером земної поверхні. Результати моделювання інтегруються в єдину загальну оцінку електромагнітного забруднення навколишнього середовища. При візуалізації результатів може використовуватися апарат рангових оцінок територій як за рівнем забруднення, так і за часом граничного перебування в той чи іншій зоні.

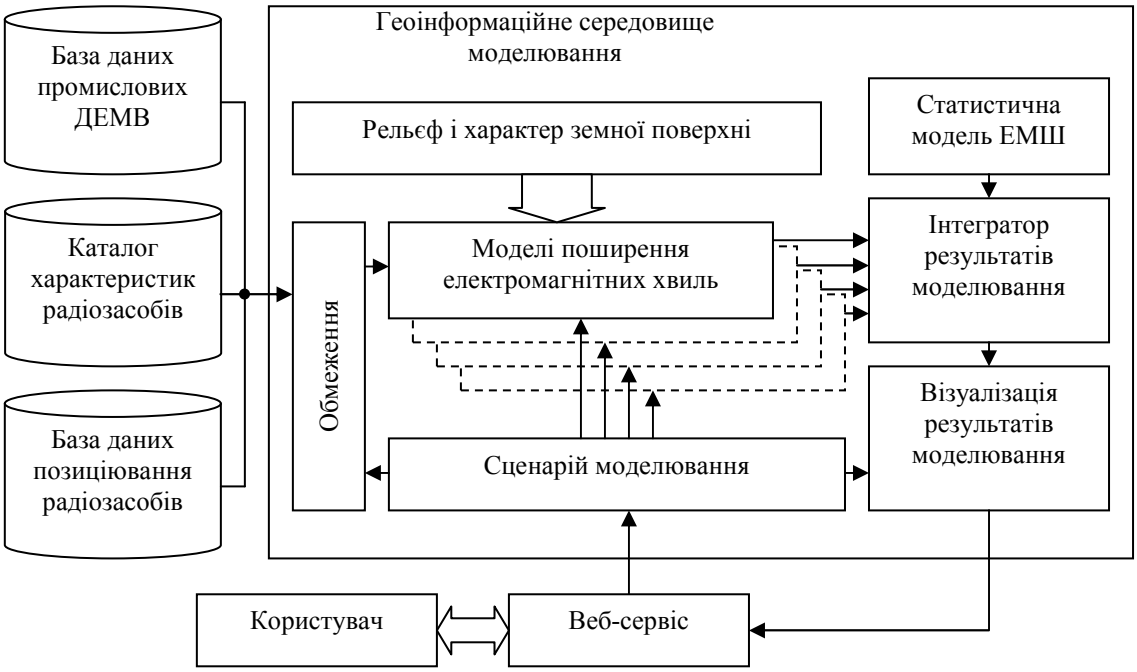


Рис. 2. Механізм оцінювання електромагнітного забруднення

Висновки і пропозиції. Запропонований механізм оцінювання електромагнітного забруднення навколишнього середовища ґрунтується на застосуванні геоінформаційних технологій для обчислення значень інтегрального показника напруженості ЕМП від множини різноманітних джерел електромагнітного випромінювання. Обґрунтовані обмеження дозволять ефективно використовувати обчислювальні ресурси ГІС і значно спростять алгоритмічні процедури при незначній втраті точності оцінки. Подальші дослідження для створення ГІС оцінки електромагнітного забруднення полягають у розробленні алгоритму обчислень напруженості ЕМП, створенні механізму автоматизованого вибору моделі поширення радіохвиль та методики інтегрування результатів обчислень в єдиний показник електромагнітного забруднення навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Основные источники электромагнитных полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ecololife.ru/study-539-1. html.

2. Дунаев В. Н. Электромагнитные излучения и риск популяционному здоровью при использовании средств сотовой связи / В. Н. Дунаев // Гигиена и санитария. – 2007. – № 6. – С. 56-57.

3. Корнієнко І. В. Використання ГІС в задачах моніторингу електромагнітного забруднення навколишнього середовища / І. В. Корнієнко, Ю. С. Сімакін // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землекористування – європейський досвід: матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2011. – С. 152-159.

4. Отчет НИР. Программа расчета, результаты расчетов и измерений электрических и магнитных полей высоковольтных воздушных линий электропередачи. – М.: РАО ЕЭС России “Электросетьсервис”, 1999. − 130 с.

5. Кац Р. А. Расчет электрического поля трехфазной линии электропередачи / Р. А. Кац, Л. С. Пельман. − М.: Электричество, 1978. – 16 с.

6. Калинин А. И. Распространение радиоволн и работа радиолиний / А. И. Калинин, Е. Л. Черенкова. – М.: Связь, 1971. – 440 с.

7. Офіційний сайт Міжнародного союзу електрозв’язку (сектору радіозв’язку) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&rlink=rhome &lang=en.

УДК 620.197

М.В. Міщенко, канд. техн. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОРІЄНТАЦІЇ НА СОНЦЕ ГЕЛІОУСТАНОВОК ТА МОДУЛІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Запропоновано систему автоматичної орієнтації на сонце вдень при сонячній погоді геліоустановок та модулів сонячних електростанцій з метою підвищення коефіцієнта корисної дії.

Ключові слова: *геліоустановки; модулі сонячних електростанцій; фотодатчик; реверсивний електродвигун; зворотний зв'язок; мікропроцесорний пристрій.*

Предложено систему автоматической ориентации на солнце днём в солнечную погоду гелиоустановок и модулей солнечных электростанций с целью повышения коэффициента полезного действия.

Ключевые слова: *гелиоустановки; модули солнечных электростанций; фотодатчик; реверсивный электродвигатель; обратная связь; микропроцессорное устройство.*

System of automatic orientation on the Sun in the afternoon in a sunny weather helium settings and modules of solar electro stations with the aim of increasing coefficient of efficiency has been offered.

Key words: *helium settings; modules of the solar electro stations; photo sensor; up-down electro engine; feedback; microprocessor device.*

Постановка проблеми. Постійне збільшення вартості енергоносіїв змушує шукати шляхи їх здешевлення. Одним із шляхів зменшення затрат на енергоносії та поліпшення стану довкілля є використання сонячної енергії.

Для підвищення коефіцієнта корисної дії вже існуючих та проектуємих модулів сонячних електростанцій і геліоустановок у наших географічних широтах доцільно використати автоматизацію орієнтації на сонце.

Мета роботи. Метою цієї роботи є розробка принципової схеми автоматизації орієнтування на сонце в сонячну погоду модулів сонячних електростанцій і геліоустановок.

Виклад основного матеріалу. Для підвищення ККД сонячних електростанцій та геліоустановок, призначених для отримання гарячої води, пропонується схема слідкування за сонцем в сонячну погоду за рахунок переміщення модулів сонячних елементів та геліоустановок відносно осі «Х» та осі «У» в просторі.

Схема складається з фотодатчика 1 (рис. 1), сигнали в цифровому вигляді з якого надходять в мікропроцесорний пристрій 2.

Сигнали положення рамки 9, яка обертається до 360° в просторі відносно осі «У» у підшипниках кочення 8, закріплених нерухомо, за допомогою реверсивного електродвигуна 3 з механічним редуктором, надходять до мікропроцесорного пристрою 2 з датчика положення механізму 5, пристрій відслідковування якого, в свою чергу, механічно прикріплений до реверсивного електродвигуна через вал 7 до рамки 9.

Якщо цифрові сигнали з фотодатчика 1, які відслідковують положення сонця в вертикальній площині, не співпадають з цифровими сигналами датчика зворотного зв'язку 5, то мікропроцесорний пристрій виробляє управляючі імпульси для реверсивного електродвигуна 3 і повертає рамку 9 в потрібному напрямку, до повного співпадіння цифрових сигналів з фотодатчика 1 і датчика положення механізму 5.

Сигнали положення рамки 10 в цифровому вигляді, яка обертається до 360° в просторі відносно рамки 9 по осі «Х» у підшипниках 12 за допомогою реверсивного електродвигуна 4, надходять до мікропроцесорного пристрою з датчиків положення механізму 6, який, у свою чергу, механічно прикріплений з одного боку до реверсивного електродвигуна, через вал 13, а з другого боку – до рамки 10 і далі до сонячних панелей 14.

Якщо цифрові сигнали з фотодатчика 1, які відслідковують положення сонця в горизонтальній площині, не співпадають з цифровими сигналами датчика зворотного зв'язку 6, то мікропроцесорний пристрій виробляє управляючі імпульси для реверсивного електродвигуна 4 і повертає рамку 10 в потрібному напрямку, до повного співпа-

діння цифрових сигналів з фотодатчика 1 для горизонтальної площини і датчика положення зворотного зв'язку в горизонтальній площині 6.

Таким чином досягається направлення модулів на сонце в сонячну погоду. Якщо день не сонячний – система повертає модулі в найкраще положення по освітленості в конкретній місцевості, дані про яке знаходяться в запам'ятовуючому пристрої мікропроцесора 2.

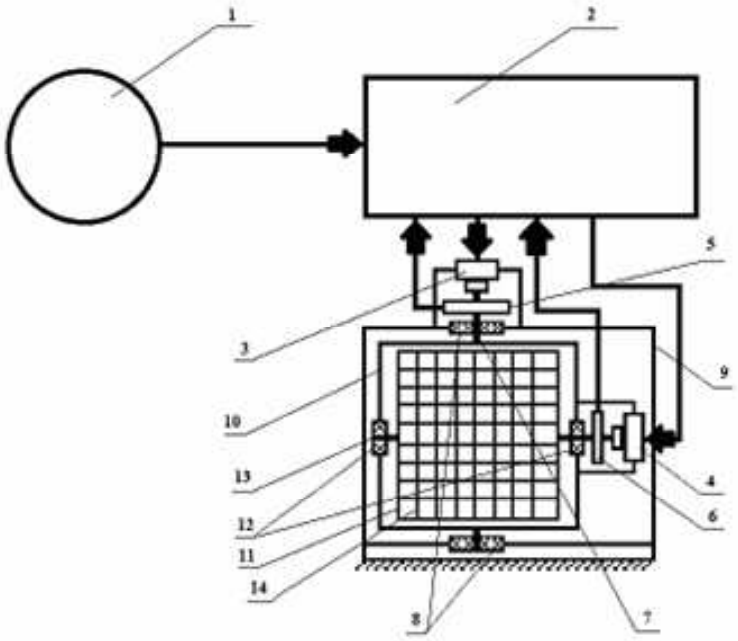


Рис. 1. Схема керування

Фотодатчик 1 (рис. 2) складається з кола 1, яке розбивається на сектори і доріжки, в яких розташовані фотоелементи. Чим більше секторів і доріжок, тим більш точні показання фотодатчика. Фотоелементи 4 виробляють сигнал для мікропроцесора про відхилення в горизонтальній площині, фотоелементи 5 вироблюють сигнал для мікропроцесора про відхилення у вертикальній площині.

У центрі кола знаходиться непрозорий стержень 3, довжина якого залежить від діаметра кола.

Фотодатчик закривається від атмосферних опадів прозорою кришкою 2.

Фотодатчик встановлюється так, щоб на нього завжди попадало сонячне проміння і не попадала тінь від сторонніх предметів.

Працює фотодатчик таким чином: сонце, попадаючи на фотодатчик, залишає тінь на фотоелементах від непрозорого стержня в центрі кола. Фотоелементи при зміні освітленості змінюють свої електричні параметри, які передаються мікропроцесору.

Залежно від того, в який точці знаходиться сонце, наприклад, на сході або заході, довжина тіні від непрозорого стержня буде максимальна і перекриватиме всі фотоелементи на одному з секторів кола, якщо сонце буде в зеніті, то тіні не буде і всі фотоелементи в одному з секторів будуть освітлені.

За рахунок зміни довжини тіні фотоелементи 4 в секторах освічуються по-різному, це дає змогу фотодатчику вироблювати сигнали про положення сонця в горизонтальній площині.

У вертикальній площині зміну положення сонця фотодатчик фіксує за рахунок фотоелементів 5, розташованих на доріжці біля непрозорого стержня – завжди, крім положення сонця в зеніті, один з фотодатчиків буде перекритий тінню від непрозорого стержня, що дозволяє однозначно визначити положення сонця.

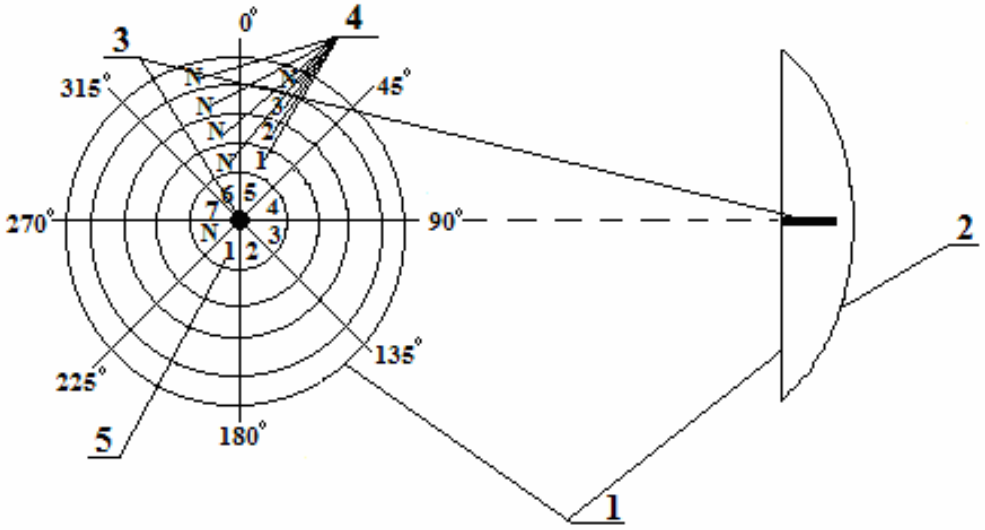


Рис. 2. Фотодатчик

Датчик зворотнього зв'язку (рис. 3) працює таким чином: до валу 4 механічно прикріплений диск 3, умовно розбитий на сектори і доріжки, в яких зроблені отвори 5. Від кількості секторів і доріжок, в яких розташовані отвори на диску, залежить точність показань датчика зворотного зв'язку. При повороті валу комбінація розташування отворів різна, що дає змогу однозначно визначити положення механізму в певний проміжок часу. Зчитування інформації з диска виконується за рахунок світловипромінювачів і світлоприймачів 1, які розташовані нерухомо на одній осі і між ними повертається диск з різною комбінацією отворів. Світлоприймач спрацьовує, якщо через отвір у диску на нього потрапляє світло від світловипромінювача.

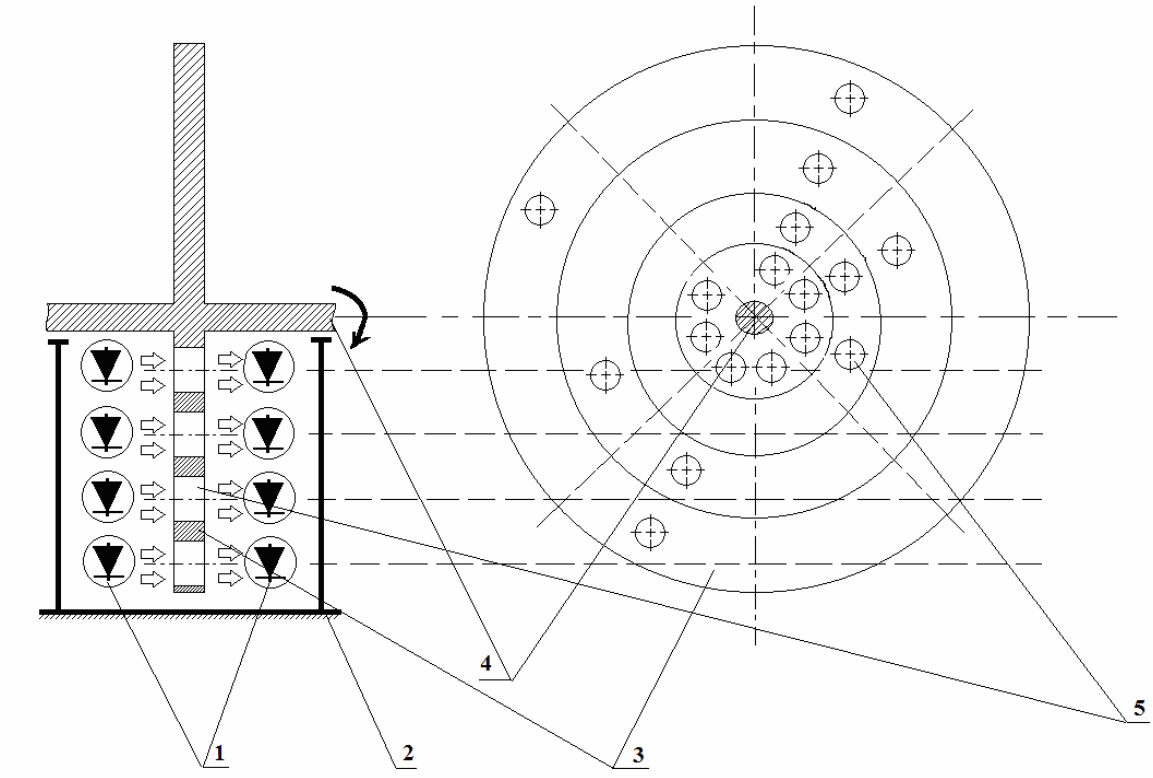


Рис. 3. Датчик зворотного зв'язку

Таким чином, інформація про положення механізму в цифровому вигляді потрапляє до мікропроцесора і там обробляється.

Список використаних джерел

1. Солнечная энергосистема. Расчёт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Solarwind.net.ua.
2. Солнечная энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.greenevolution.ru.

УДК 621.316.722

О.М. Городній, мол. наук. співроб.
В.В. Гордієнко, канд. техн. наук
Б.І. Чуб, магістрант
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З КВАЗІРЕЗОНАНСНИМИ ТА ЗВИЧАЙНИМИ КЛЮЧАМИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛЮВАННЯ

У середовищі MATLAB Simulink досліджується робота послідовного квазірезонансного імпульсного перетворювача, що перемикається при нульовому струмі (КРІП-ПНС), та імпульсного перетворювача з широтно-імпульсною модуляцією (ІП). Визначена величина розсіюваної потужності, що виділяється на транзисторі. Порівняно показники ефективності роботи КРІП-ПНС та класичної схеми імпульсного перетворювача. Результати моделювання порівняно з теоретичними розрахунками. Запропоновано схемотехнічні рекомендації щодо поліпшення електромагнітних процесів у досліджуваних перетворювачах.

Ключові слова: *імпульсний перетворювач, потужність, ефективність, MATLAB, м'яке включення, квазірезонансний перетворювач.*

В среде MATLAB Simulink исследуется работа последовательного квазирезонансного импульсного преобразователя, переключаемого при нулевом токе (КРИП-ПНТ), и импульсного преобразователя с широтно-импульсной модуляцией (ИП). Определена величина рассеиваемой мощности, которая выделяется на транзисторе. Сравнено показатели эффективности работы КРИП-ПНТ и классической схемы импульсного преобразователя. Результаты моделирования сравнено с теоретическими расчётами. Предложены схемотехнические рекомендации по улучшению электромагнитных процессов в исследуемых преобразователях.

Ключевые слова: *импульсный преобразователь, мощность, эффективность, MATLAB, мягкое включение, квазирезонансный преобразователь.*

Zero-current-switch quasi-resonant buck converter (ZCS-QR), and PWM converter operation is studied using MATLAB Simulink environment. In this paper, we calculated the power dissipation in the transistor. A comparative effectiveness analysis of ZCS-QR and conventional pulse converter is carried out. The simulation-based results were compared with theoretical calculations. Circuit design recommendations on improving the electromagnetic processes in the studied converters are given.

Key words: *pulse converter, power, efficiency, MATLAB, soft switch, quasi-resonant converter.*

Постановка проблеми. Основні трудності при дослідженні імпульсних перетворювачів пов'язані з пошуком шляхів підвищення їх енергетичної ефективності, яка залежить від потужності, що розсіюється на силовому транзисторі та від спектра струму живлячої мережі. Аналітична оцінка цих показників у широкому частотному діапазоні регулювання є проблематичною у зв'язку з суттєвою нелінійністю процесів ШІМ та ЧІМ. Особливо це стосується КРІП, де на високих частотах комутації на них значно впливає резонансний контур та паразитні параметри силового транзистора.

Електронне моделювання на основі коректної моделі та відповідного програмного забезпечення дозволяє подолати ці труднощі з допустимою похибкою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням квазірезонансних перетворювачів займаються в багатьох країнах світу [1]. Вперше вплив резонансного контуру на роботу електронної схеми було висвітлено у [2]. В [3] досліджена робота широтно-імпульсного перетворювача, а також розрахована інтегральна потужність розсіювання в силових ключах ІП. В [4] встановлено, що завдяки введенню у схему резонансного контуру можна суттєво підвищити енергетичні показники перетворювача.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попередні результати моделювання схем КРІП-ПНС суттєво відрізнялися від експериментальних даних.

Це пояснюється невдалим вибором моделі або ж алгоритмів числового обчислення, які використовуються у сучасному програмному забезпеченні. Все це не дозволяє дати коректну оцінку енергетичним показникам різноманітним схемним варіаціям імпульсних перетворювачів.

Мета статті. Полягає у проведенні дослідження електромагнітних процесів у КРІП-ПНС та ІП, порівнянні потужності розсіювання в електронному ключі у всьому діапазоні робочих частот (від 100 до 1000 кГц) та наданні рекомендацій, що дозволяють зменшити втрати потужності в динамічних режимах.

Вступ. Проектування схем за допомогою ЕОМ у теперішній час є одним зі способів підвищення продуктивності та якості інженерної праці і набуває все більшого поширення в радіоелектроніці та обчислювальній техніці. При комп'ютерному моделюванні можна перевірити працездатність схеми, не вдаючись до складних розрахунків. Основними параметрами вибору програмного забезпечення є наявність необхідних бібліотек елементів та відповідність моделей реальному об'єкту.

Особливу увагу необхідно приділяти моделям нелінійних елементів. У випадку КРІП-ПНС та ІП таким елементом є транзистор. Практика показала, що результати моделювання електронного ключа на високих частотах у різноманітних програмних продуктах можуть суттєво відрізнятися від експериментальних даних. Так, у PSIM не враховується вплив паразитних параметрів транзистора. А у OrCAD PSpice та LTspice IV при перемиканні виникають викиди струму великої амплітуди, яких немає у дійсності.

Оптимальну модель вдалося отримати лише у MATLAB Simulink. Цей математичний пакет набув найбільшої популярності у світі при аналізі систем силової електроніки. В ньому реалізована бібліотека для роботи з електронними пристроями – SimPowerSystems. До її складу входять моделі пасивних та активних електротехнічних елементів, джерел енергії, трансформаторів та іншого обладнання. Комбінуючи їх можливості з іншими блоками, у Simulink користувач може виконувати різноманітні види аналізу: розрахунок сталого режиму роботи, імпедансу, ділянки кола, отримання частотних характеристик, аналіз стійкості, спектрів струмів та напруг.

Однією з найбільших переваг SimPowerSystems є те, що складні схеми можна моделювати, поєднуючи методи імітаційного та структурного моделювання [5]. Так, поряд з схемою пристрою за допомогою звичайних блоків Simulink досить просто реалізувати систему керування, яка відображає лише алгоритм роботи. Це прискорює та збільшує точність аналізу схем силової електроніки. При використанні такого математичного пакету суттєво спрощується обробка результатів моделювання. Виходячи з цього, MATLAB можна вважати одним з найкращих пакетів моделювання електротехнічних пристроїв та систем. Якщо створити точну модель КРІП-ПНС, то можна отримати базу для подальшої роботи над вивченням паразитних ефектів та пошуком шляхів щодо зменшення їх негативного впливу на коефіцієнт корисної дії та сумісність з мережею.

У параметрах моделювання (Solver options) необхідно обрати один з двох методів:

- ode23t – метод трапецій з інтерполяцією, найбільш наближений до того, що використовується у SPICE-моделюванні;
- ode15s – багатокроковий метод змінного порядку (від 1 до 5), що використовує формули числового диференціювання.

Моделювання електромагнітних процесів у ІП.

Класична схема імпульсного перетворювача зображена на рисунку 1. У стандартній моделі транзистора MOSFET не враховується вплив паразитної ємності між стоком та витоком. Тому її роль виконує зовнішня ємність Ср. Елементи схеми мають такі параметри: Lf = 50 мкГн; Cf = 220 нФ; Rn = 10 Ом; Ср = 100 пФ, Uвх = 30 В. Падіння напруги на діодах у відкритому стані складає 0,7 В.

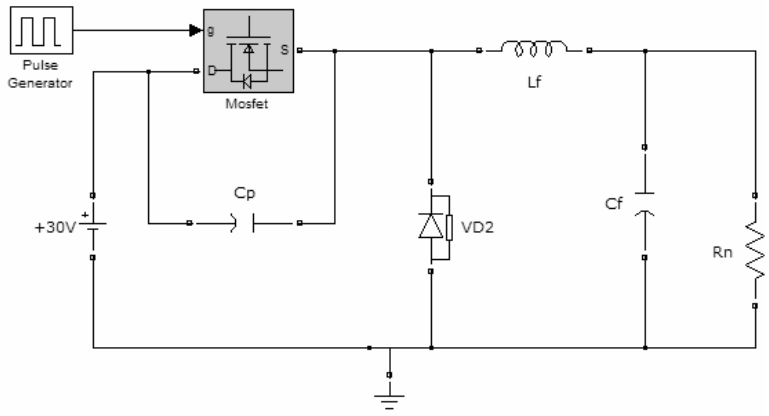


Рис. 1. Досліджувана схема імпульсного перетворювача з ШІМ

Оскільки у ІП перемикання ключового елементу відбувається при порівняно великих значеннях напруги та струму, у ці моменти спостерігаються максимуми розсіюваної потужності, що видно і на траєкторії робочої точки транзистору (рис. 2).

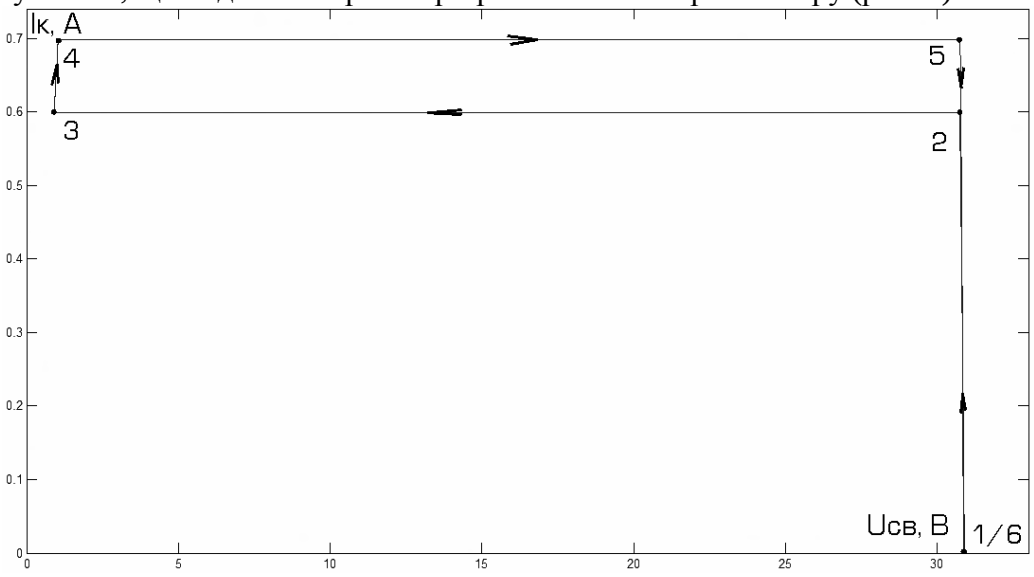


Рис. 2. Траєкторія робочої точки транзистора у ІП

Цього недоліку позбавлені схеми з так званим «м'яким перемиканням», коли у моменти комутації струм або напруга дорівнюють нулю.

На рисунках 3 та 4 зображені часові діаграми роботи ІП, де Uу – напруга управління, Uсв – напруга між стоком та витоком транзистора, Ік – струм, що протікає через транзистор, Р – миттєва потужність розсіювання. На них можна виділити шість характерних точок та три інтервали роботи транзистора:

- інтервал включення 1-3;
- транзистор знаходиться у відкритому стані 3-4;
- закривання транзистора 4-6.

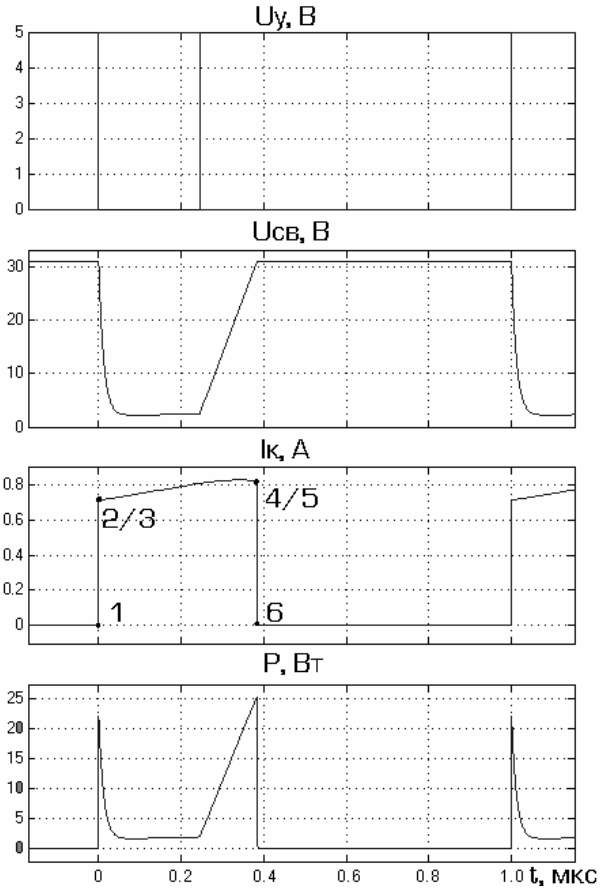
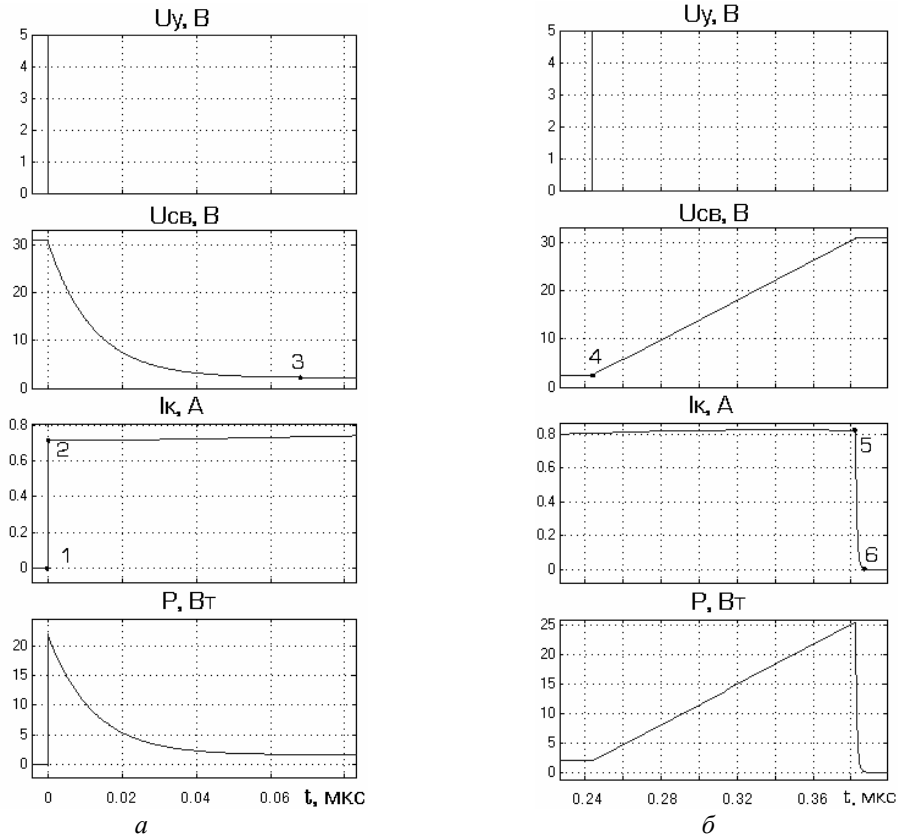


Рис. 3. Часові діаграми роботи ІП



а *б*

Рис. 4. Часові діаграми роботи ІП: а – інтервал включення; б – інтервал виключення

Моделювання електромагнітних процесів у послідовному КРІП-ПНС.

Досліджувана схема перетворювача зображена на рисунку 5. Моделювання відбувалося за таких параметрів схеми: Cr = 2 нФ; Lr = 1,1 мкГн; Lf = 50 мкГн; Cf = 220 нФ; Rn = 10 Ом; Cp = 110 пФ, Uвх = 30 В. Падіння напруги на діодах у відкритому стані складає 0,7 В.

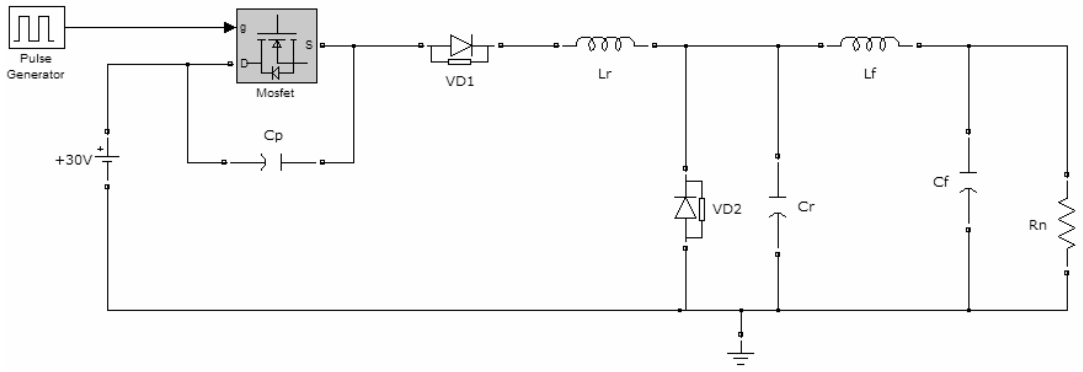


Рис. 5. Досліджувана схема КРІП-ПНС

У результаті отримали часові діаграми роботи перетворювача (рис. 6 та 7), де Ucr – напруга на резонансній ємності. На них можна виділити дев'ять характерних точок та п'ять наступних інтервалів

- інтервал включення транзистора 1-2;
- інтервал наростання струму 2-3;
- ділянка резонансу 3-7;
- інтервал розряду резонансної ємності (виключення)7-8;
- інтервал провідності діода 8-1.

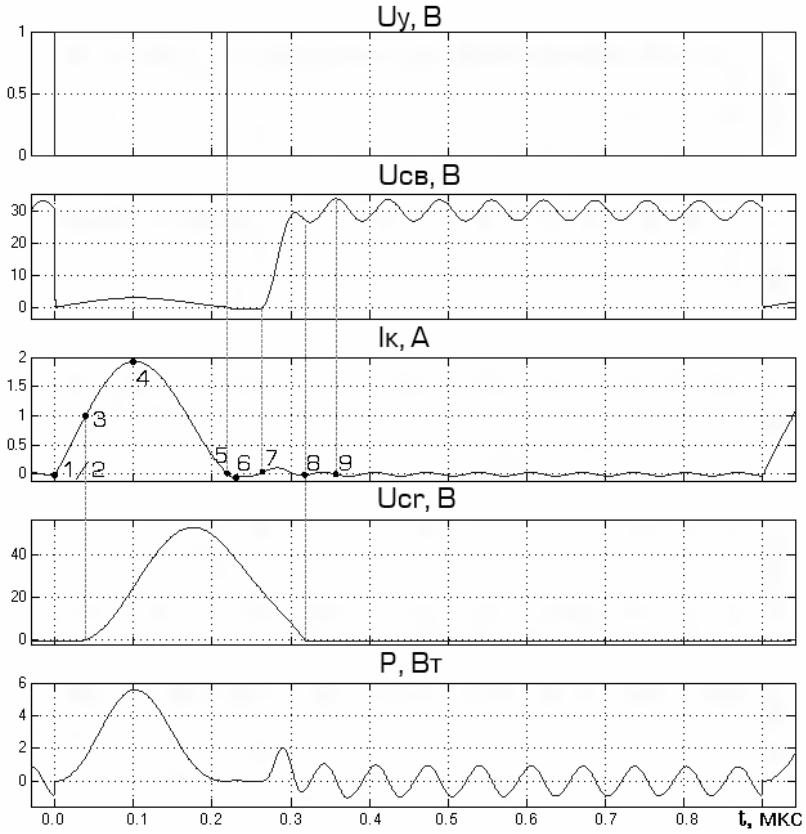


Рис. 6. Часові діаграми роботи КРІП-ПНС

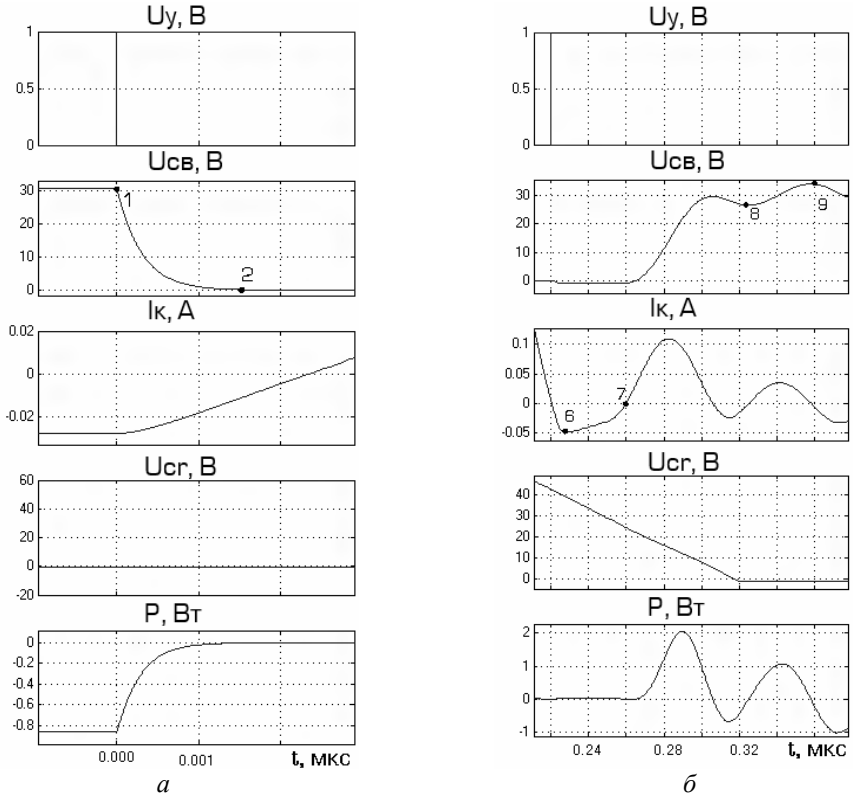


Рис. 7. Часові діаграми роботи послідовного КРІП-ПНС:
а – інтервал включення; б – інтервал виключення

Траєкторія робочої точки ключового елементу показана на рисунку 8. За рахунок паразитної ємності у схемі виникають коливання з частотою, більшою за частоту комутації та частоту резонансного контуру. Це явище спостерігалося і в експериментальному дослідженні [4]. Вищі гармоніки призводять до розширення спектру струму, що споживається, і тому необхідно зменшувати їхню амплітуду.

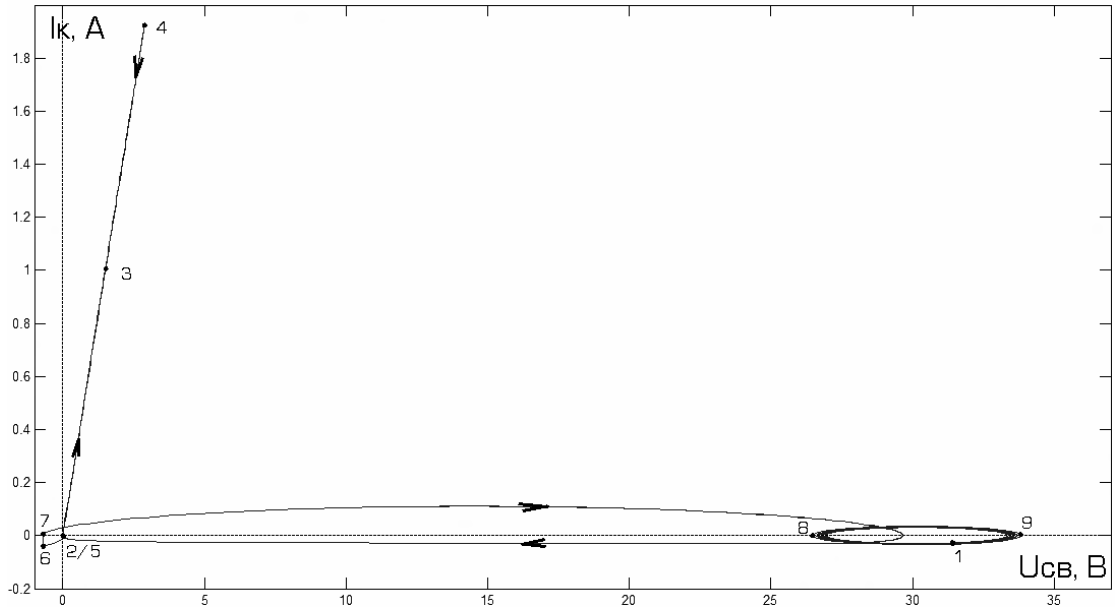


Рис. 8. Траєкторія робочої точки транзистора у послідовному КРІП-ПНС

Порівняння розсіюваної потужності у КРІП-ПНС та ІП

Проаналізувати втрати енергії на транзисторі можна за допомогою інтегральної потужності.

$$P_{CTAT} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_I} U_{\text{тр}}(t) \cdot i_{mp}(t) \cdot dt. \quad (1)$$

У MATLAB, де всі дані зберігаються у вигляді матриць, використовується числове інтегрування за методом прямокутників або трапецій. Оскільки останній має значно меншу похибку обчислень, при розрахунках обрано саме його.

Діапазон робочих частот перетворювачів складає 100-1000 кГц. Результати вимірювань занесено до таблиці 1 і зображено на рисунку 9. За рахунок м'якого включення у схемі КРІП-ПНС вдалося зменшити потужність розсіювання більш ніж у 7 разів у всьому діапазоні робочих частот.

Слід зазначити, що значення відповідають теоретично розрахованим [6], розбіжності не перевищують 5 %.

Таблиця 1

Значення розсіюваної потужності у досліджуваних схемах

Частота, кГц	**Розсіювана потужність у КРІП-ПНС, Вт**	**Розсіювана потужність у ІП, Вт**
100	0,20	4,02
250	0,56	6,53
500	0,95	10,01
750	1,57	12,32
1000	2,05	14,80

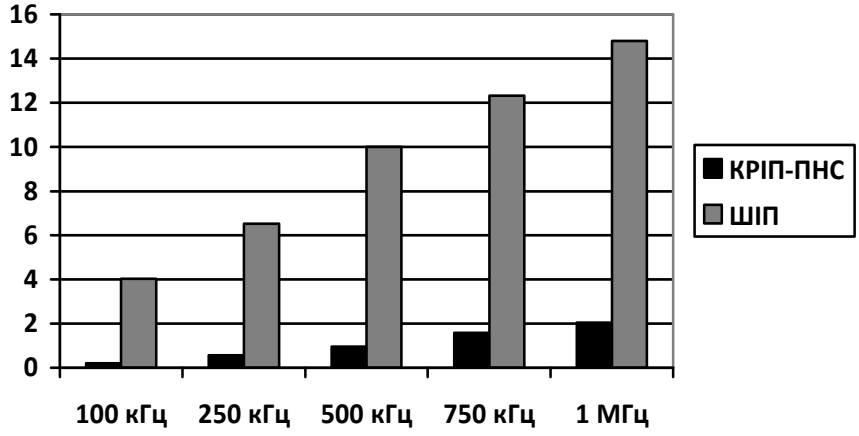


Рис. 9. Порівняння потужностей розсіювання на транзисторі у схемах перетворювачів

Шляхи поліпшення електромагнітних процесів у КРІП-ПНС

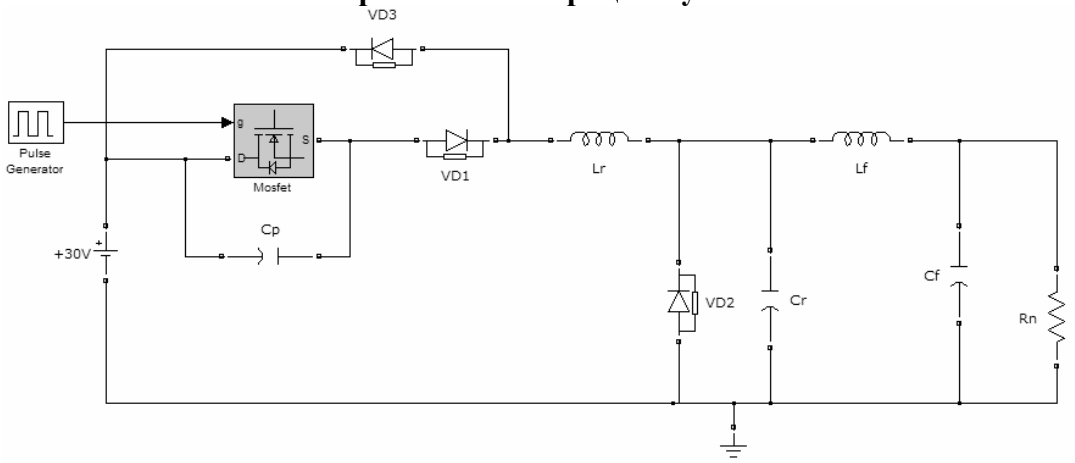


Рис. 10. Поліпшена схема КРІП-ПНС

У послідовному КРІП-ПНС при перемиканні спостерігається наступний ефект: за рахунок зворотного відновлення діода збуджується коливальний контур, утворений паразитною ємністю транзистора та резонансною індуктивністю.

Коли транзистор закривається, його диференціальний опір різко збільшується і в паразитному контурі виникають довготривалі коливання. Зменшити час цих коливань та одночасно рекуперувати енергію паразитного контуру в джерело живлення можливо шляхом введення додаткового діода VD3. При цьому в паразитний контур паралельно вводиться дуже малий внутрішній опір джерела живлення і коливання швидко затухають. Всі інші параметри схеми не змінювались.

На часових діаграмах (рис. 11 та 12) помітно п’ять інтервалів роботи транзистору:

- інтервал включення1-2;
- інтервал наростання струму 2-3;
- інтервал резонансу 3-6;
- ділянка розряду паразитної ємності (виключення) 6-7;
- інтервал провідності діода 7-8.

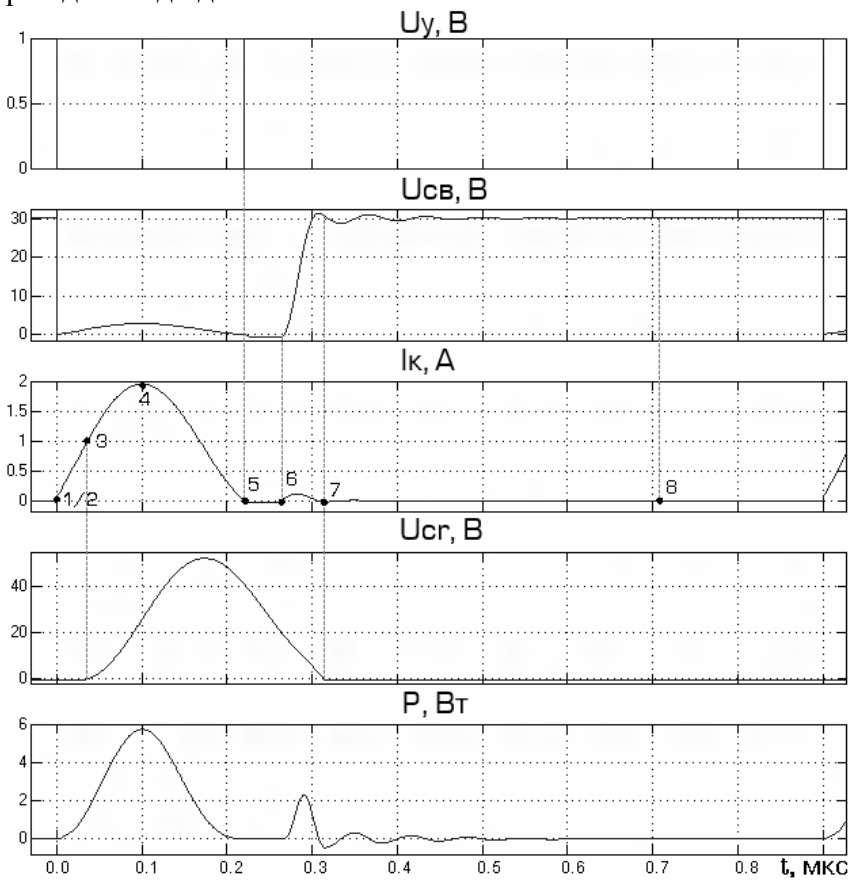
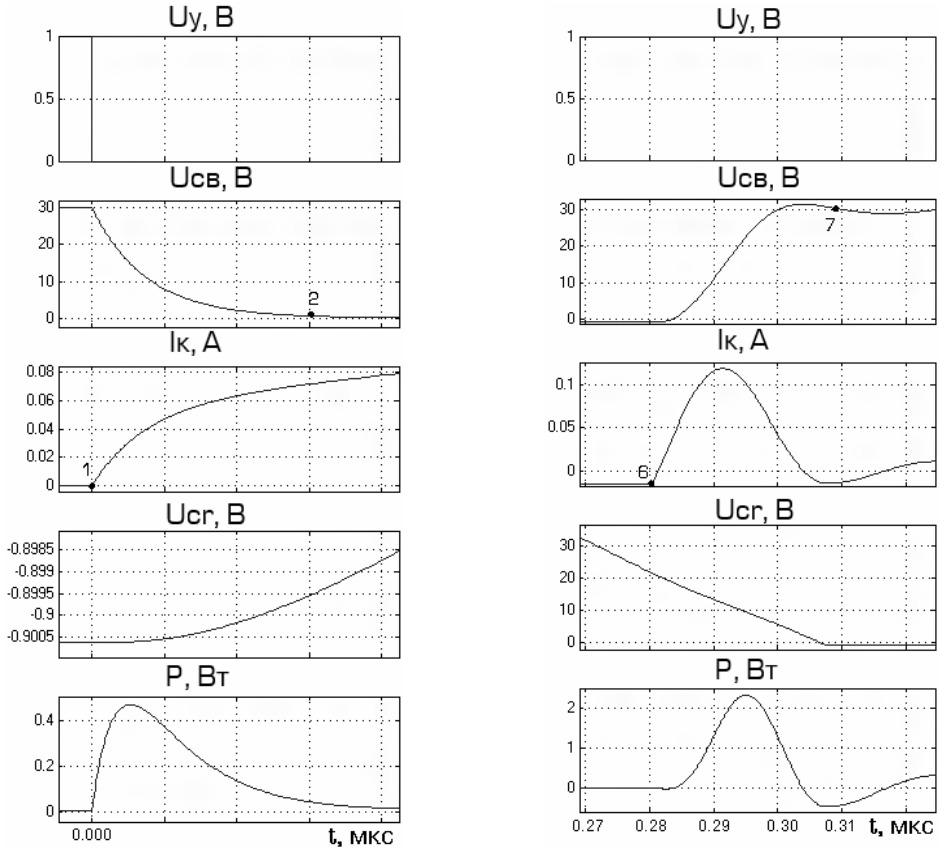


Рис. 11. Часові діаграми роботи оптимізованої схеми КРІП-ПНС



а *б*

Рис. 12. Часові діаграми роботи поліпшеної схеми послідовного КРІП-ПНС:
а – інтервал включення; б – інтервал виключення

Значно менші пульсації напруги та струму помітні і на траєкторії робочої точки (рис. 13).

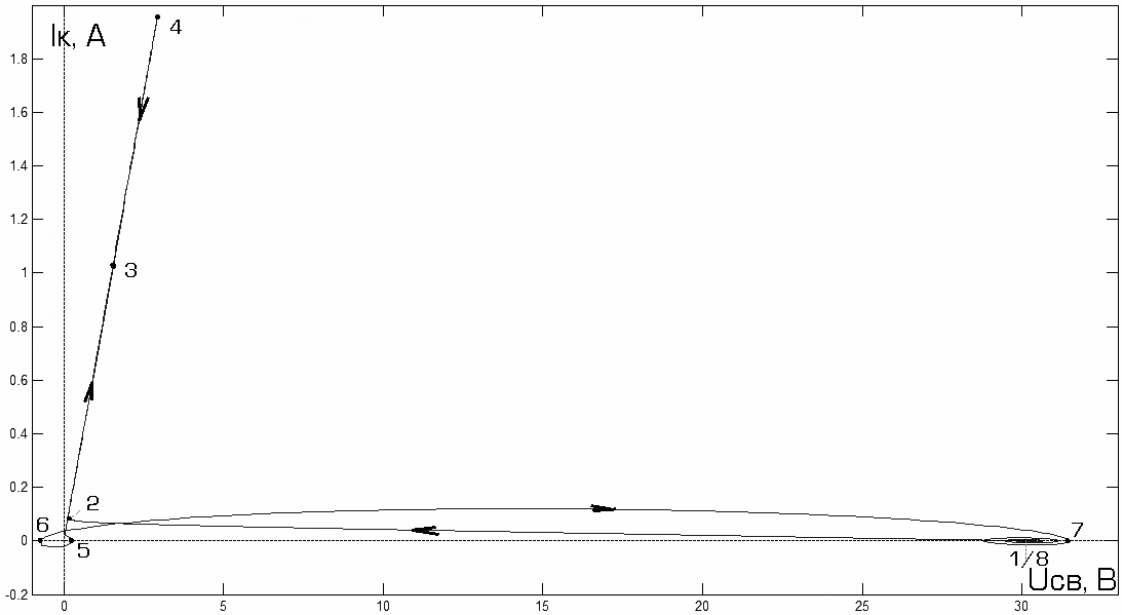


Рис. 13. Траєкторія робочої точки транзистора у поліпшеному КРІП-ПНС

Висновки і пропозиції. 1. Доведено, що моделювання електронних процесів у КРІП-ПНС та ІП доцільно виконувати у MATLAB Simulink.

2. Показано, що втрати потужності на силовому транзисторі КРІП-ПНС майже в сім разів менше, ніж у ІП.

3. Для демпфування високочастотних коливань, що виникають у контурі, утвореному паразитною ємністю транзистора та резонансною індуктивністю, доцільно шунтувати транзистор зворотнім діодом.

Список використаних джерел

1. Tomioka S. A zero-current-switched quasi-resonant boost converter in power factor correction application / S. Tomioka, S. Abe, M. Shoyama, T. Ninomiya, E. Firmansyah // Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). – 2009, Twenty-Fourth Annual IEEE, February 6. – P. 5.

2. Ли Ф. К. Высокочастотные квазирезонансные преобразователи. ТИИЭР / Ф. К. Ли // Энергетическая электроника / под ред. В. А. Лабунцова. – М.: Мир, 1988. –№ 4. – Т. 76. – С. 83-97.

3. Денисов Ю. О. Розрахунок інтегральної потужності розсіювання в силових ключах ІП / Ю.О. Денисов, О. М. Городній, О. М. Зозуля // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”: наук. зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2009. – № 40. – 388 с.

4. Денисов Ю. О. Моделирование процессов коммутации в КРИП ПНТ с учетом паразитных параметров / Ю. О. Денисов, О. М. Городній, О. В. Савченко // Технічна електродинаміка. – 2008. – № 1. – С. 87-90.

5. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.

6. Денисов Ю. О. Особливості роботи та статичні характеристики КРІП-ПНС паралельного типу / Ю. О. Денисов, О. М. Городній, О. А. Купко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”: наук. зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2012. – № 1 (55). – С. 247-253.

УДК 004.852:681.516.77

К.К. Кадомский, мл. науч. сотруд.
Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина

А.Л. Красников, инж. I кат.
Институт прикладной математики и механики НАН Украины, г. Донецк, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ИНКРЕМЕНТНЫХ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ЗАДАЧЕ ВЫДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПАРОВОДЯНОГО ТРАКТА ЭНЕРГОБЛОКА СКД

Рассматривается задача синтеза регулятора охлаждающих впрысков в пароводяной тракт энергоблока СКД. Предложен алгоритм синтеза ПИ-регулятора впрыска для отдельных режимов функционирования. Рассмотрена задача нечеткой кластеризации, предложен инкрементный алгоритм, на основе которого выделены отдельные режимы функционирования энергоблока в реальном времени. Предложен и реализован алгоритм настройки параметров ПИ-регулятора на основе данных измерений мощности, давления и расхода пара. Выполнен численный эксперимент на основе данных измерений энергоблока СКД 300 МВт при нагрузке 150-300 МВт.

Ключевые слова: *энергоблок СКД, билинейная система, настройка регулятора, нечеткая кластеризация, расстояние Махаланобиса.*

Розглядається задача синтезу регулятора охолоджуючих впорсків у пароводяний тракт енергоблоку НКТ. Запропоновано алгоритм синтезу ПІ-регулятора впорску для окремих режимів функціонування. Розглянуто завдання нечіткої кластеризації, запропоновано інкрементний алгоритм, на основі якого можна виділити окремі режими функціонування енергоблоку в реальному часі. Запропоновано та реалізовано алгоритм настроювання параметрів ПІ-регулятора на основі даних вимірювань потужності, тиску і витрати пару. Виконано чисельний експеримент на основі даних вимірювань енергоблоку НКТ 300 МВт при навантаженні 150-300 МВт.

Ключові слова*: енергоблок НКТ, білінійна система, настроювання регулятора, нечітка кластеризація, відстань Махаланобіса.*

The problem of synthesis of spray attemperation controller in water-steam circuit of supercritical pressure power plant was reviewed. An algorithm for the synthesis of PI-controller of spray attemperation for separate operation mode is proposed. The problem of fuzzy clustering is reviewed incremental algorithm which can be used in real-time operational conditions separation is proposed. An algorithm of gain scheduling of the PI-controller based on power, pressure and steam flow measurements is proposed and implemented. The numerical experiment with measurement data of supercritical pressure power plant at a load of 150-300 MW is carried.

Key words*: supercritical pressure power plant, bilinear system, gain scheduling, fuzzy clustering, Mahalanobis distance.*

Введение. Котел энергоблока сверхкритического давления (СКД) 300 МВт в основных режимах работы имеет паропроизводительность до 1000 т/ч острого пара темпера-

туры 545 °С при давлении до 255 кгс/см^2. Коррекцию температуры острого пара выполняет система управления охлаждающими впрысками, которые должны обеспечить нормативную температуру с точностью ±5 °С [1]. Тем не менее, существующие системы управления не всегда способны выдерживать заданную температуру, что часто приводит к аварийным остановкам энергоблока [2]. При этом возникающий перегрев значительно снижает ресурс пароперегревателей.

При синтезе регулятора нужно учитывать нестационарный и нелинейный характер процесса перегрева пара, так как параметры теплообмена изменяются в процессе функционирования энергоблока [3; 4]. Более того, в процессе функционирования может изменяться коэффициент теплоотдачи при возникновении отложений на стенках пароперегревателя.

В работе рассматривается задача построения системы управления охлаждающими впрысками энергоблока СКД, которая включает подсистему настройки регулятора согласно текущему режиму функционирования блока. Для выделения режимов применен инкрементный алгоритм кластеризации, что снижает вычислительную нагрузку и позволяет использовать кластеризацию в реальном времени.

Модель пароводяного тракта высокого давления. Процесс нагрева пара в общем случае описывается набором дифференциальных уравнений в частных производных: уравнение сплошности, энергетическое уравнение, уравнение движения [3; 4]. С учетом существующей системы измерений, моделирование и параметрическая идентификация целесообразны только для энергетического уравнения:

$$c\rho\Delta V\frac{Dt(\tau,x)}{d\tau}=\alpha\Delta\tilde{S}\left(t^{м}(\tau,x)-t(\tau,x)\right), \qquad (1)$$

где $t,t^{м}$ – температура пара и металла паропроводов (как функция времени τ и координаты x по длине паропровода);

c, ρ – теплоемкость и плотность пара соответственно, рассчитанные при текущей температуре и давлении;

ΔV – единица объема ($\Delta V=S\Delta x=\frac{\pi}{4}d^2\Delta x$, где d – внутренний диаметр паропровода, Δx – единица длины);

$\frac{Dt}{d\tau}$ – полное изменение температуры (рассматривая только изменение по времени и длине паропровода), представим в виде $\frac{Dt}{d\tau}=\frac{\partial t}{\partial\tau}+\frac{dx}{d\tau}\frac{\partial t}{\partial x}=\frac{\partial t}{\partial\tau}+w_x\frac{dt}{d\tau}$, где w_x – скорость движения среды по координате x;

α – коэффициент теплоотдачи;

$\Delta\tilde{S}$ – элемент площади поверхности теплообмена ($\Delta\tilde{S}=\pi d\Delta x$).

В более детальном представлении уравнение (1), запишем в виде:

$$c\rho S\frac{\partial t(\tau,x)}{\partial\tau}+cG\frac{\partial t(\tau,x)}{\partial x}=\alpha\pi d\left(t^{м}(\tau,x)-t(\tau,x)\right), \qquad (2)$$

где $G=\rho\Delta Vw_x$ – расход пара.

Для расчета параметров пара c,ρ использованы соотношения, предложенные «Международной ассоциацией по свойствам воды и водяного пара» (IAPWS) [5], в справочнике IAPWS-IF97 имеется библиотека программ на языке С, в которой реализованы функции расчета всех необходимых параметров.

Теплообмен в коллекторе впрыска описывается уравнением смешения. Упрощенно, данное уравнение можно рассматривать как:

$$G_п h_п+G_в h_в=(G_п+G_в)h_{см}, \qquad (3)$$

где $G_п, G_в$ – расходы пара и воды на впрыск соответственно, $h_п, h_в, h_{см}$ – энтальпия пара, воды на впрыск и пароводяной смеси соответственно.

Связь между температурой и энтальпией в пароводяной смеси опишем уравнением $h = c(t, p)t$ [3].

В задаче управления выделим следующие величины:

- вектор состояния $x = (t_1 \quad t_2 \quad \dots \quad t_M)^T$ – температура пароводяной смеси;

- управляемый вход (управление) $u = (G_1, G_2)^T$ – расходы на впрыск;

- неуправляемый вход (возмущение) $w = (t_0 \quad t_1^м \quad t_2^м \quad \dots \quad t_M^м)^T$ – температура пара на входе в пароперегреватель и температура металла теплообменника.

Вводя разбиение по длине паропровода на M точек и пренебрегая перепадом температур на отдельном участке пароводяного тракта, заменим в (2) частную производную конечно-разностной аппроксимацией. В выбранной точке i, соответствующей впрыску, дополним полученное уравнение уравнением смешения (3), которое запишем в виде [3]:

$$t_i^{см} = t_i - \frac{h(t_i) - h_в}{c} \frac{G_в}{G + G_в}.$$

В таком случае исходная система может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + N(x)u + Bu + Dw; \\ y &= Cx. \end{aligned} \tag{4}$$

С матрицами коэффициентов:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{G}{\Delta l \rho S^c} - \frac{\alpha \pi d}{c \rho S^c} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{G}{\Delta l \rho S^c} & -\frac{G}{\Delta l \rho S^c} - \frac{\alpha \pi d}{c \rho S^c} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{G}{\Delta l \rho S^c} & -\frac{G}{\Delta l \rho S^c} - \frac{\alpha \pi d}{c \rho S^c} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 & \frac{h_1 - h_в}{c \Delta l S^c} & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}^T$$

$$C = (0 \quad \dots \quad 0 \quad 1)$$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{G \Delta \tau}{\rho S \Delta x} & \frac{\pi d \Delta \tau}{c \rho S} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi d \Delta \tau}{c \rho S} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \frac{\pi d \Delta \tau}{c \rho S} \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$N(x) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -\frac{1}{\Delta l \rho S^c} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\Delta l \rho S^c} & -\frac{1}{\Delta l \rho S^c} \end{bmatrix} x.$$

Данная модель является билинейной – частным случаем нелинейной системы вида $\dot{x} = f(x) + g(x)u$.

Задача управления билинейными системами поставлена в 60-х годах XX века [6]. Часть методов, предложенных для решения задачи синтеза регулятора, предусматривают локальную либо глобальную линеаризацию и дальнейший синтез регулятора результирующей линейной системы. Такие методы просты, однако не всегда применимы: локальная линеаризация требует постоянного пересчета коэффициентов линейной системы и соответствующего регулятора при смене режимов работы, а глобальная линеаризация требует точного знания коэффициентов модели.

Синтез ПИ-регулятора впрыска. При построении системы управления впрыском представим сегмент пароводяного тракта в виде нестационарной билинейной системы и выполним синтез ПИ-регулятора на ограниченном множестве состояний. В данном случае процедура синтеза, основанная на прямом методе Ляпунова, гарантирует устойчивость системы на границах выпуклого многоугольника, задающего множество возможных параметров системы [7].

Для билинейной системы (4)-(5) построим регулятор:

$$u = K_p\left(x - x^*\right) + K_I \int (y - y^*) d\tau, \tag{6}$$

решая систему матричных неравенств:

$$Q > 0 \tag{7}$$

$$AQ + QA^T + (N(x_{(i)}) + B)W + W^T (N(x_{(i)}) + B)^T + 2\gamma Q < 0 \tag{8}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x(0)^T \\ x(0) & Q \end{bmatrix} \geq 0, \begin{bmatrix} Q & W^T \\ W & \mu^2 I \end{bmatrix} \geq 0, \tag{9}$$

где матричные неравенства задают: (7) – положительно определенную матрицу функции Ляпунова ($V(x) = x^T Px, Q = P^{-1}$), (8) – условие устойчивости системы с ограничением на скорость переходного процесса γ, (9) – ограничения управления $\|u\|_Q \leq \mu$.

Решая систему матричных неравенств (7)-(9) в отдельном режиме для ограниченного множества входных температур, найдем коэффициенты $(K_p \quad K_I)^T = WQ^{-1}$ ПИ-регулятора, обеспечивающего заданные свойства [8].

Однако следует учитывать, что такая процедура не гарантирует существования регулятора с заданными свойствами на всем множестве параметров. Так, возможно возникновение значительного перерегулирования в отдельных режимах.

Одним из вариантов построения системы управления нестационарными и нелинейными объектами является реализация отдельного контура настройки коэффициентов регулятора. Так как непосредственная адаптация и пересчет коэффициентов в реальном масштабе времени затруднительны, то типичный подход к построению системы регулирования заключается в синтезе системы с настройкой коэффициентов регулятора (gain scheduling) [9]. Данный подход встречается в литературе 70-х годов, однако только в 90-х данный подход начал активно развиваться [10; 11].

При таком подходе синтез системы управления заключается в следующем [11]:

1. Выполнить линеаризацию исходной нелинейной системы для набора точек ω_i, $i=1..\rho$, задающих параметры системы:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(\omega_i)x + B(\omega_i)u; \\ y &= C(\omega_i)x, \end{aligned} \tag{10}$$

где ω_i – переменная, по которой производится настройка регулятора. Основная сложность данного шага заключается в выборе переменной, по которой будет выполняться выбор регулятора.

2. Выполнить синтез ρ регуляторов линейных систем (10) для отдельных режимов работы. В данном случае используется приведенный выше алгоритм синтеза регулятора линейной системы.

3. Построить нелинейный регулятор, который выполняет интерполяцию или переключение между полученными регуляторами. Использование системы переключения между регуляторами зачастую связано с конструктивными особенностями системы и не дает гладкого управления [12]. Следует отметить, что использование интерполяции может при определенных условиях ухудшить динамические свойства системы [11].

4. Экспериментально проверить работоспособность системы.

Функционирование сегмента пароводяного тракта непосредственно связано с коэффициентом теплоотдачи α, который зависит от текущего расхода пара и режима сгорания. Фактически существует зависимость коэффициента теплоотдачи от мощности энергоблока (N, МВт), расхода (G, кг/с) и давления пара (P, кгс/см^2) вида $\alpha = g(N,P,G)$. Введение температур пароводяной смеси и металла труб нецелесообразно ввиду того, что изменения температуры в нормативных режимах обычно происходят в небольшом диапазоне и незначительно влияют на коэффициенты (5) системы (4). Непосредственно коэффициент теплоотдачи определяет набор коэффициентов ПИ-регулятора в текущем режиме $K = H(\alpha)$. Контур настройки коэффициентов фактически должен реализовать суперпозицию функций $K = f(N,P,G)$ и на основе текущих измерений рассчитывать коэффициенты регулятора (рис. 1).

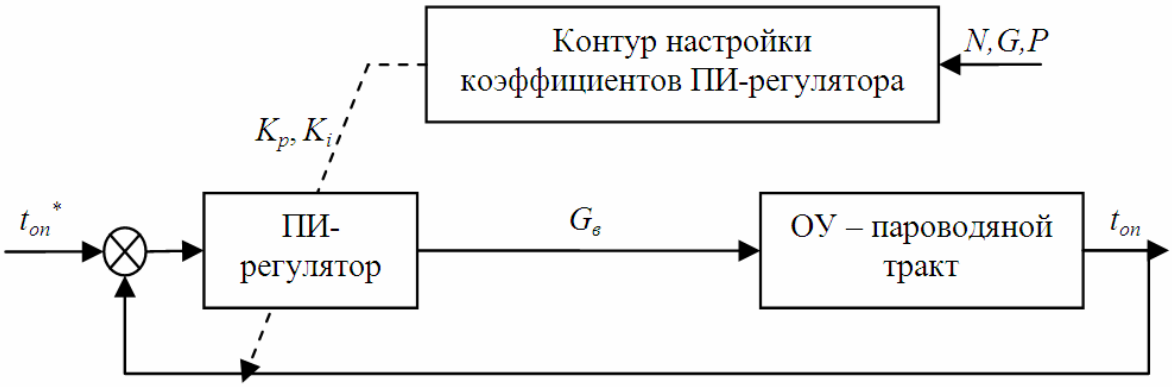


Рис. 1. Система настройки коэффициентов ПИ-регулятора впрыска

Формальная постановка задачи выделения режимов функционирования. Имеется конечный набор входных образов $\omega = (N,P,G) \in \Omega \in R^3$ – значений датчиков, которые характеризуют текущий режим функционирования энергоблока. Необходимо построить разбиение множества входных образов на подмножества (кластеры), которые будут соответствовать различным режимам.

Входные образы предъявляются по одному, и для каждого нового образа ω_l необходимо: а) построить нечеткое разбиение Ω на кластеры по данным $\{\omega_1,...,\omega_l\}$; б) определить степень принадлежности ω_l каждому из кластеров.

В системах управления и поддержки принятия решений задача кластеризации данных динамических измерений имеет следующие особенности. Во-первых, обработка данных должна производиться в режиме он-лайн, т. е. элементы обучающей выборки подаются по одному, и в каждый момент времени доступна лишь часть обучающей вы-

борки. Во-вторых, количество кластеров не может быть оценено заранее. В-третьих, предъявляются жесткие требования к временной сложности алгоритма кластеризации.

В подобных задачах итеративные методы кластеризации, такие как EM-алгоритм, не применимы [13; 14]. Инкрементные алгоритмы [13; 14; 15] рассматривают каждый входной образ ω_l независимо, используя его для модификации текущей модели классификатора $\Theta = (M, \theta(\mathrm{C}_1), ..., \theta(\mathrm{C}_M))$, где $\theta(\mathrm{C}_k)$ – статистическая модель кластера C_k, согласно инкрементным соотношениям вида $\Theta' = F(\Theta, \omega_l)$. Инкрементные алгоритмы, как правило, не являются итеративными (обрабатывают входные образы либо окна однократно) и не требуют хранения в памяти всей обучающей выборки. Поэтому они имеют меньшую временную и емкостную сложность, по сравнению с EM-алгоритмом. В отличие от итеративных методов, они не требуют выбора начальных значений параметров модели, не требуют дополнительной памяти и многократной обработки обучающей выборки.

Однако существующие инкрементные алгоритмы либо не адаптированы к обработке нечетких входных данных [15; 16; 17], либо не поддерживают сложные нечеткие и статистические модели, учитывающие форму кластеров [18; 19]. Также их недостатком является проблема соотношения стабильности – пластичности обучения. Качество кластеризации существенно зависит от выбора типа модели и оценки расстояния между моделями.

Инкрементный алгоритм жесткой кластеризации известен как алгоритм ведущего кластера (Sequential Leader Clustering) [14; 16] и широко применяется в задачах сжатия обучающей выборки, обучения ИНС и нейроподобных сетей. В качестве модели кластера используется пара $\theta(\mathrm{C}_k) = \langle w_k, m_k \rangle$, где w_k – мощность кластера, и $m_k = \mathrm{E}(\mathrm{C}_k)$ – центроид. Каждый входной образ ω_l либо относится к одному из существующих кластеров C_k, либо служит прототипом нового кластера. Данный алгоритм также обобщен на случай нечеткой кластеризации [17; 19].

Качество кластеризации существенно зависит от выбора типа модели и оценки расстояния между моделями. В качестве модели распределения наиболее часто используется пара $\langle \mathrm{E}(\mathrm{C}), \mathrm{cov}(\mathrm{C}) \rangle$, где $\mathrm{E}(\mathrm{C})$ – матожидание (центроид), $\mathrm{cov}(\mathrm{C})$ – ковариация. Реже вместо матожидания и ковариации используются мода и вариация относительно моды, что позволяет уменьшить чувствительность алгоритма к случайным выбросам.

В простейшем случае расстояние между моделью C и точкой ω есть расстояние (евклидово, манхэттенское, либо расстояние Чебышева) между точками $\mathrm{E}(\mathrm{C})$ и ω. Для учета размера и формы кластеров используются нормализованное евклидово расстояние и расстояние Махаланобиса [20; 21].

Нечеткая инкрементная кластеризация. Каждому входному образу и каждому нечеткому кластеру ставится в соответствие статистическое распределение C элементов данного нечеткого множества. Распределение C задается параметрической моделью $\theta(\mathrm{C}) = (w, m, S)$, где $w(\mathrm{C})$ – количество наблюдений элементов C; $m = \mathrm{E}(\mathrm{C})$ – оценка математического ожидания распределения C; $S = \mathrm{cov}(\mathrm{C})$ – оценка его матрицы ковариации.

Оценка параметров модели кластера $\theta(\mathrm{C}) = (w, m, S)$ выполняется на основе последовательных динамических наблюдений элементов этого кластера $\{\omega_r \mid \mu(\omega_r)\}_{r=1}^{N}$, где $\omega_r \in \Omega$ – r-е наблюдение; $\mu(\omega_r)$ – степень уверенности, в том, что $\omega_r \in \mathrm{C}$. Наблюдения обрабатываются по одному, и на каждом шаге производится уточнение оценки параметров, полученной на предыдущем шаге с учетом нового наблюдения. В отличие от итеративных методов, данный метод не требует выбора начальных значений параметров модели, не требует дополнительной памяти и многократной обработки обучающей выборки.

Поскольку параметр w есть мощность множества наблюдений, отнесенных к кластеру, то

$$w_N = \sum_{r=1}^{N} \mu(x_r). \tag{11}$$

Для каждого $k = \overline{1,N}$ функция плотности распределения C на выборке $\{x_r \mid \mu(x_r)\}_{r=1}^{k}$ есть

$$p_{\mathrm{C}}(x) = \mu(x) \Big/ \sum_{r=1}^{k} \mu(x_r), \quad x \in \{x_1, ..., x_k\}.$$

Обозначим $p_r = p_{\mathrm{C}}(x_r)$. Выборочные оценки параметров m и S на этой выборке есть соответственно:

$$m_k = \sum_{r=1}^{k} x_r p_r; \tag{12}$$

$$S_{kij} = \sum_{r=1}^{k} (x_{ri} - m_{ki})(x_{rj} - m_{kj}) p_r, \quad i, j = \overline{1, N_f}. \tag{13}$$

Обозначим $m = m_{k-1}$ и $S = S_{k-1}$; $m' = m_k$ и $S' = S_k$. Применяя к (12) условие нормировки $\sum_{r=1}^{k} p_r = 1$, для оценки m получим

$$m' = m \sum_{r=1}^{k-1} p_r + x_k p_k = (1 - p_k) m + p_k x_k.$$

Для оценки S путем преобразований (13) получим

$$S'_{ij} = (1 - p_k) S_{ij} + p_k (1 - p_k)(x_{ki} - m_i)(x_{kj} - m_j) =$$

$$= \left(1 - \frac{\mu(x_k)}{w_k}\right)\left(S_{ij} + \frac{\mu(x_k)}{w_k}(x_{ki} - m_i)(x_{kj} - m_j)\right).$$

Алгоритм кластеризации. Данный алгоритм использует модификацию расстояния Махаланобиса для оценки степени принадлежности входного образа кластеру и инкрементные соотношения для выборочной оценки параметров модели кластера. Алгоритм кластеризации имеет следующий вид.

1. Инициализировать модель первого кластера параметрами первого входного образа $\Theta = (1, \theta(\omega_1))$.

2. При получении нового входного образа ω для каждого кластера вычислить расстояние по формуле:

$$d_{M*}(\mathrm{C}, \omega) = \sqrt{(\omega - m)^T (\mathrm{I} + \gamma^{-2} S)^{-1} (\omega - m)}, \quad \gamma > 0. \tag{14}$$

Расстояние (14) является модификацией расстояния Махаланобиса между моделью распределения и точкой, которая сохраняет обычное евклидово расстояние в случае одноточечного распределения.

3. Если все расстояния превышают заданный порог $d_{\max}$, то добавить новый кластер $\theta(\omega)$ и перейти на шаг 2.

4. Вычислить степени принадлежности входного образа каждому из кластеров

$$\mu_{\mathrm{C}_k}(\omega) = d_k^{-p} \Big/ \sum_{j=1}^{M} d_j^{-p},$$

где $p>1$ – параметр, определяющий степень нечеткости алгоритма кластеризации. При малых p получаем алгоритм нечеткой кластеризации, а в предельном случае $p\to\infty$ – алгоритм жесткой кластеризации.

5. Составить подмножество активных кластеров, для которых $\mu_{C_k}(\omega)\ge\mu_{\min}$. Для каждого активного кластера уточнить оценки параметров (11)-(13):

$$w'=w+\mu(\omega),\quad \beta=\max\{\mu(\omega)/w',\ \beta_{\min}\mu(\omega)\};$$

$$m'=(1-\beta)m+\beta\omega;$$

$$S'=(1-\beta)\left(S+\beta(\omega-m)(\omega-m)^T\right),$$

где $\beta_{\min}\in[0;1)$ – параметр, определяющий скорость забывания старых наблюдений.

6. Вычислить обратные матрицы $(\mathrm{I}+\gamma^{-2}S)^{-1}$ и перейти на шаг 2.

Интерполяция коэффициентов регулятора. Каждой модели кластера $\theta(\mathrm{C})=(w,m,S)$, соответствует свой набор коэффициентов ПИ-регулятора вида (6). Для интерполяции коэффициентов регулятора для произвольного текущего режима построим нечеткую систему Такаги-Сугено-Канга [22]. В случае нечеткой системы, когда исходный набор регуляторов определяется на основе множества кластеров, построенных по исходным данным, для каждого кластера задаются отдельные термы входных лингвистических переменных (задаваемые параметрами модели кластера) и формируется одно правило вида:

ЕСЛИ $N=N^{(i)}$ *И* $G=G^{(i)}$ *И* $P=P^{(i)}$, *ТО* $K=K^{(i)}$.

Выполняя процедуру нечеткого вывода, получим коэффициенты стабилизирующего регулятора для отдельного момента времени.

Оценивая изменение параметров модели $\theta(\mathrm{C})$ рассчитаем отклонения Δ_j^s,Δ_j^i между наибольшими и наименьшими значениями коэффициентов, задаваемых старой и новой моделью кластера. Обновление набора правил будем выполнять в двух случаях (рис. 2):

1) для нового кластера, когда изменения параметров модели $\theta(\mathrm{C})$ не превышают точности измерений;

2) для существующего кластера, когда параметры модели $\theta(\mathrm{C})$ кластера изменились на величину, превышающую точность измерений.

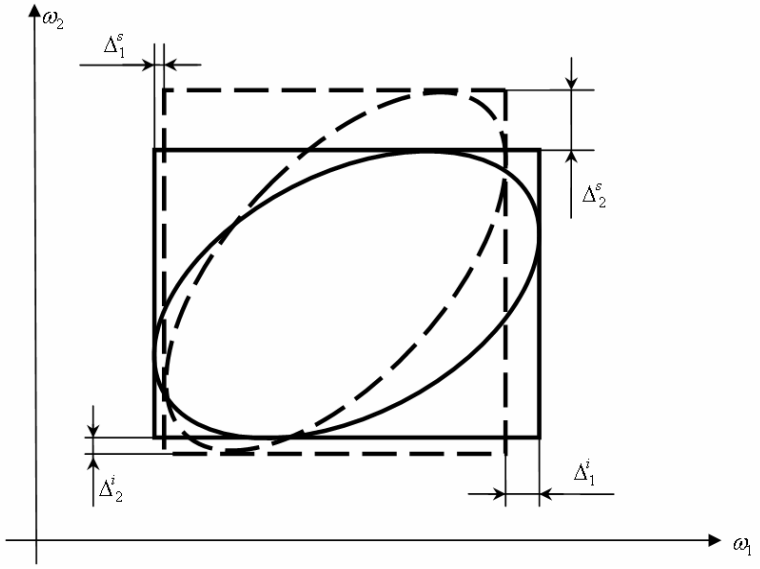


Рис. 2. Оценка изменений модели кластера

Численный эксперимент. В качестве исходных данных выбраны данные измерений, полученные в результате функционирования энергоблока СКД 300 МВт на протяжении 35 часов. Данные включают как измерения соответствующие основным режимам (150, 200 и 300 МВт), так и переходные режимы (рис. 3).

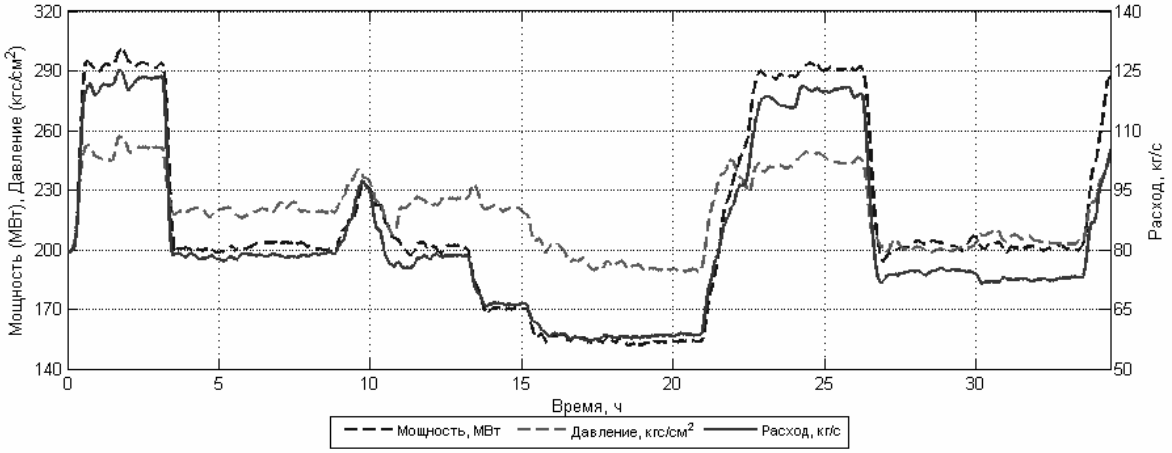


Рис. 3. Данные функционирования энергоблока СКД 300 МВт

Для выбранных данных решена задача нечеткой инкрементной кластеризации с параметрами:

– пороговое расстояние $d_{\max} = 0{,}1$;

– степень нечеткости алгоритма кластеризации $p = 2$;

– пороговое значение функции принадлежности активных кластеров $\mu_{\min} = 0{,}25$;

– скорость забывания $\beta_{\min} = 0{,}0005$.

В процессе кластеризации выделено 8 кластеров (рис. 4), которые соответствуют как основным режимам (4 кластера, которые соответствуют мощности 150, 200 и 300 МВт), так и переходным при повышении и понижении мощности блока (4 кластера). При расширении набора измерений число кластеров не изменяется, происходит лишь уточнение моделей кластеров.

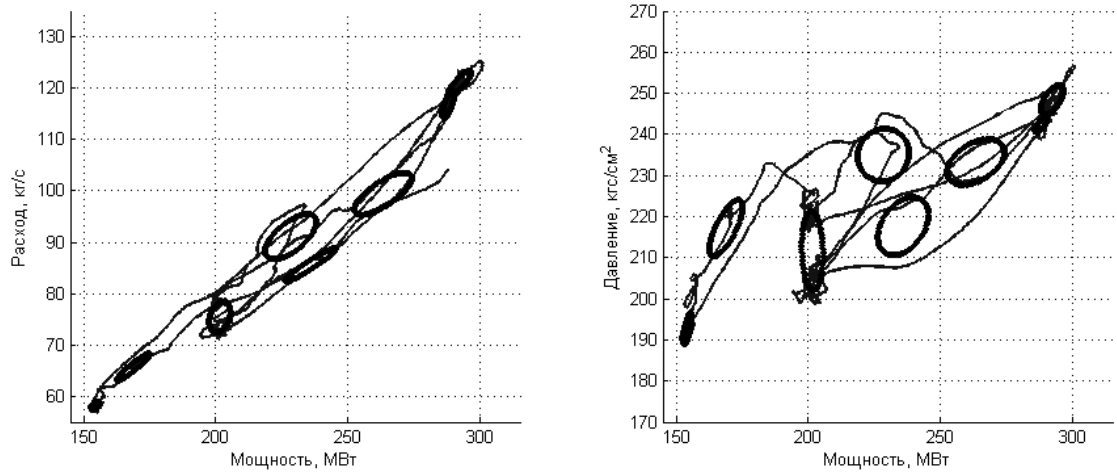


Рис. 4. Выделенные кластеры, соответствующие отдельным режимам работы энергоблока СКД

На основе выделенных кластеров формировались области параметров (рис. 5), для которых рассчитывались коэффициенты ПИ-регулятора, как решение системы матричных неравенств (7)-(9).

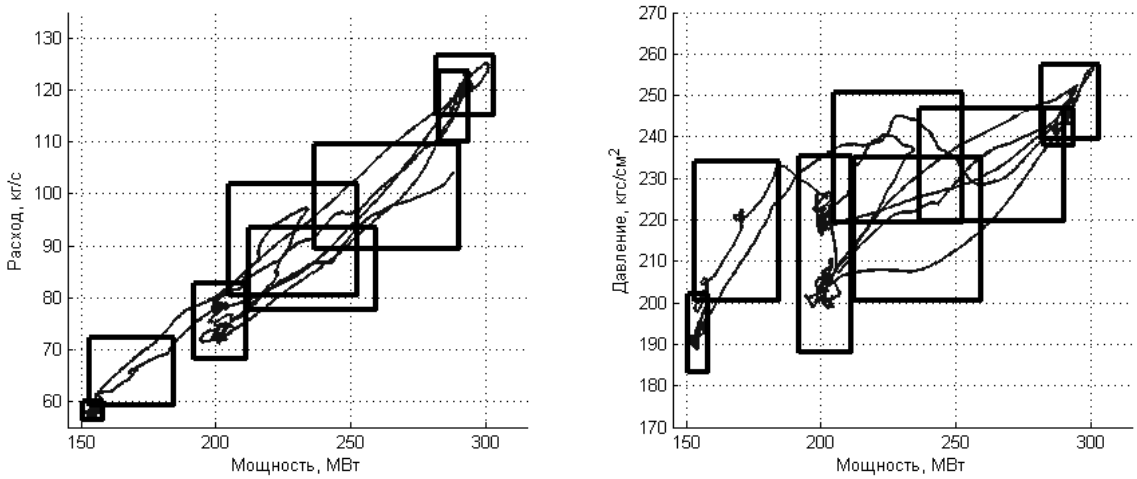


Рис. 5. Области параметров, для которых рассчитываются коэффициенты ПИ-регулятора

Выводы. Рассмотрена задача выделения режимов работы на основе методов инкрементной кластеризации и задача управления впрысками в отдельных режимах работы энергоблока. Для аппроксимации значений коэффициентов регулятора в текущем режиме предложена и реализована нечеткая система Такаги-Сугено-Канга. Исходные данные для алгоритма кластеризации сформированы на основе результатов измерений. Для выбранных параметров алгоритма кластеризации получено разбиение данных измерений на 8 кластеров, которые соответствуют основным и переходным режимам работы. Для выделенных кластеров решена задача параметрического синтеза ПИ-регулятора и предложена система управления охлаждающим впрыском с контуром настройки параметров ПИ-регулятора.

Список использованных источников

1. Волошенко А. В. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподач / А. В. Волошенко, В. В. Медведев, И. П. Озерова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 100 с.

2. Port R.D., Herro H.M. The Nalco guide to boiler failure analysis – New York: McGraw–Hill, 1991. – 279 p.

3. Makovicka J, Havlena V, Benes M. A simulation model of steam and flue gas flow in heat exchangers // Proceedings of ALGORITMY 2002 – 16th Conference on Scientific Computing. – Vysoke Tatry–Podbanske, Slovakia, September 8–13, 2002. – 171–178 pp.

4. Красніков О. Л. Ідентифікація коефіцієнта теплообміну пароперегрівачів енергоблоку НКТ за умови неповного набору даних / О. Л. Красніков // XVIII Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика/Automatics – 2011»: матеріали конференції; 28-30 вересня 2011 р. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 104-105.

5. Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam. – International Association for the Properties of Water and Steam. – Erlangen, 1997. – 48 p.

6. Mohler R.R. Bilinear control processes: with applications to engineering, ecology, and medicine – NY: Academic Press, 1973 – 224 c.

7. Amato F., Cosentino C., Merola A. Stabilization of Bilinear Systems via Linear State Feedback Control // IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Express Briefs 56(1). – 2009 – P. 76-80.

8. Boyd S., El Ghaoui L., Feron E., Balakrishnan V. Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory – Philadelphia: SIAM Press, 1994. – 193 c.

9. Astrom K.J., Hagglund T. PID Controllers. 2nd edition – Research Triangle Park, 1995. – 343 p.

10. Rugh W.J., Shamma J.S. Research on gain scheduling // Automatica, 36 (2000). – P. 1401–1425.

11. Bruzelius F. Linear Parameter-Varying Systems. An approach to gain scheduling. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. – Goteborg: Chalmers University of Technology, 2004. – 181 p.

12. Bengea S., DeCarlo R., Corless M., Rizzoni G. A polytopic system approach for the hybrid control of a diesel engine using VGT/EGR // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. – March 2005, Vol. 127. – pp. 13-21.

13. Gupta M.R., Chen Y. Theory and use of the EM algorithm // Foundations and trends in signal processing. – 2010. – Vol. 4. No. 3. – pp. 223–296.

14. Hartigan J.A. Clustering Algorithms. – New York: Wiley, 1975. – 351 p.

15. Li D., Simske S. Training set compression by incremental clustering // Journal of pattern recognition research. – 2011. – Vol 6. No 1. – pp. 56-64.

16. Charikar M. Incremental clustering and dynamic information retrieval / C. Chekuri, T. Feder, R. Motwani // Twenty-ninth annual ACM symposium on theory of computing: STOC '97 proc. of. – 1997. – pp. 626 635.

17. Gupta C. GENIC: a single pass generalized incremental algorithm for clustering / C. Gupta, R. Grossman // Fourth SIAM international conference on data mining : proc. of. – 1987. – pp. 147-153.

18. Nefti S. A modified fuzzy clustering for documents retrieval: application to document categorization / S. Nefti, M. Oussalah, Y. Rezgui // Journal of the Operational Research Society. – 2009. Vol. 60. No. 3. – pp. 384-394.

19. Бодянский Е. В. Нейронная сеть Т. Кохонена с нечетким выводом и алгоритм ее самообучения / Е. В. Бодянский, В. В. Волкова, Е. В. Махиборода // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2009. – Вип. 2 (20). – С. 74-78.

20. Maesschalck R. de., Jouan-Rimbaud D., Massart D.L. TheMahalanobis distance // Chemometrics and intelligent laboratory systems. – 2000. – Vol. 50. Issue 1. – pp. 1-18.

21. Vaart, van der A. W. Asymptotic statistics. – Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2000. – 460 p.

22. Wang L.X. A Course in Fuzzy Systems and Control. – NJ: Prentice Hall, 1997. – 424 p.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО «ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ. СЕРІЯ “ТЕХНІЧНІ НАУКИ”»

Вимоги щодо підготовки рукописів статей для публікації у “Віснику Чернігівського державного технологічного університету” (далі Вісник ЧДТУ) (внесено до Переліку наукових фахових видань ВАК України, затвердженого постановою Президії ВАК України від 10 березня 2010 року № 1-05/2, бюлетень ВАК України № 4, 2010), розроблені з урахуванням постанови Президії ВАК від 15.01.2003 р. № 7-05/1.

Шановні дописувачі!

Спочатку просимо надіслати Вашу статтю, оформлену за наведеними нижче вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”». Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість статті і надсилати весь пакет документів до науково-дослідної частини ЧДТУ.

1. Для публікації статті у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» до науково-дослідної частини ЧДТУ необхідно в обов’язковому порядку подати:

– зовнішню (підписану не працівниками ЧДТУ) рецензію на статтю за підписом доктора наук;

– довідку про авторів, заповнену за наведеним бланком (Додаток А);

– роздрукований текст статті, оформленої за зразком (Додаток Б);

– реферат трьома мовами (українською, російською, англійською) (Додаток В);

– електронний варіант статті;

– квитанцію про сплату вартості публікації наукової статті (Додаток Г).

2. Вимоги до наукової статті. Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника і бути завізована власноручно на першій сторінці підписом автора.

Статтю можна подавати однією з трьох мов: українською, російською, англійською.

Обсяг статті повинен бути таким: мінімум – 5 повних сторінок, максимум – 10 сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Стаття подається як у роздрукованому вигляді, так і в електронному варіанті на оптичному диску CD (DVD) або надсилається електронною поштою на адресу: ndchbm@mail.ru. Текст статті набирається з використанням комп’ютерних текстових редакторів Word for Windows 97/2000/XP.

3. Структура статті. До друку у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: УДК; Автори; Назва наукової або освітньої установи, де працюють автори; Назва статті; Анотації; Ключові слова; Постановка проблеми; Аналіз останніх досліджень і публікацій; Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми; Мета статті; Виклад основного матеріалу; Висновки і пропозиції; Список використаних джерел.

4. Параметри сторінки повинні бути такими:

Формат А4 (210×297 мм).

Поля: верхнє, нижнє та бокові – 25 мм.

Відступ від верхнього та нижнього колонтитула – 25 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

5. Вимоги до анотації. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсяг до 8-10 рядків). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ У СТАТТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ РОЗСТАНОВКИ ПЕРЕНОСІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ СПИСКІВ. УСІ СПИСКИ ПРОСТАВЛЯЮТЬСЯ У РУЧНОМУ РЕЖИМІ!

6. Вимоги до оформлення структурних елементів статті.

6.1. *УДК* – шрифт Times New Roman (кегель 12), курсив, вирівнювання по лівому краю без абзацу.

Автори – ***ініціали та прізвище*** кожного автора починати з нового рядка (шрифт Times New Roman (кегель 12), розміщення по лівому краю, без абзацного відступу, напівжирний), ***науковий ступінь або посада, якщо немає ступеня*** (шрифт Times New Roman (кегель 12), звичайний). Скорочення наукових ступенів подавати згідно з ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні правила та вимоги”.

Назва організації – місце (я) роботи автора (-ів) (вирівнювання по лівому краю без абзацного відступу, шрифт Times New Roman (кегель 10)). Після назви організації через кому вказуються місто та країна розміщення організації.

Назва статті – шрифт Times New Roman (кегель 12). Подається прописними напівжирними літерами, вирівнювання по центру без абзацу.

Анотація – шрифт Times New Roman (кегель 9), курсив, вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал.

Ключові слова – шрифт Times New Roman (кегель 9), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал.

Основний текст – текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, шрифт Times New Roman (кегель 12), одинарний інтервал) (Додаток Б).

Розділи статті (Постановка проблеми; Аналіз останніх досліджень і публікацій; Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми; Мета статті; Виклад основного матеріалу; Висновки і пропозиції; Список використаних джерел) зазначаються таким шрифтом: Times New Roman, кегель 12, напівжирний, звичайний. Після назви розділу статті ставиться крапка і продовжується текст самої статті.

6.2. Інтервали між елементами статті такі:

– УДК – автори – 1;
– автори – назва організації – 1;
– назва організації – назва статті – 2;
– назва статті – анотація – 1;
– анотація – ключові слова – 1;
– ключові слова – основний текст – 1;
– основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 1;
– назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми – їхні назви) – 1;
– нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 1;
– основний текст – список використаних джерел – 1;
– список використаних джерел – перелік джерел – 1.

7. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несе автор.

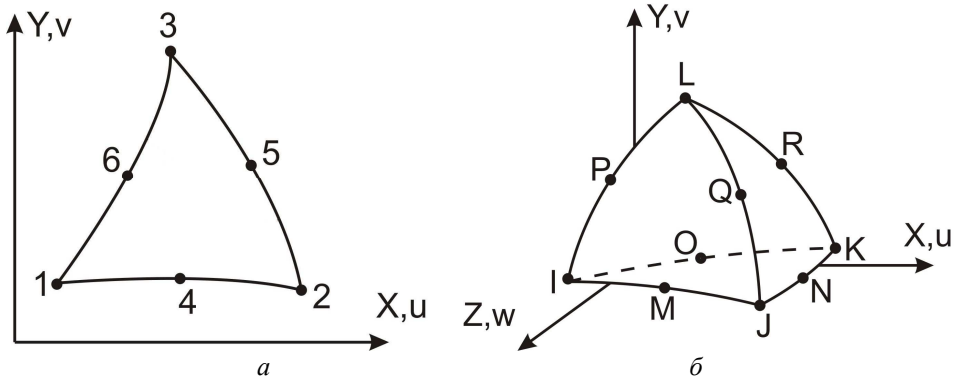
Рисунки і таблиці необхідно подавати в статті безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці.

7.1. Ілюстрації (рисунки та чорно-білі фотографії)

Під час виконання рисунків рекомендується використання Microsoft Visio 2007 (2003). За умови використання закладеної графіки Microsoft Word рисунки повинні бути згрупованими. Шрифт рисунків Times New Roman, кегель 12, курсив.

Рисунки позначають словом "Рис." і нумерують послідовно в межах статті. Пояснювальні підписи, номер рисунка, його назву розміщують послідовно під ілюстрацією.

Наприклад:



а *б*

Рис. 3. Види скінченних елементів:
а – 6-вузловий плоский скінченний елемент і б – 10-вузловий об'ємний скінченний елемент

7.2. Таблиці

Цифровий матеріал, що наводиться в статті, як правило, повинен оформлятися у вигляді таблиць.

Розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 12) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці (по центру, кегель 12, курсив).

Наприклад:

Таблиця 1

Граничні значення режимів різання

№ досл.	$V_к$, м/с	$V_{дет}=V_к/60$	t, мм	$Q_{гр}$, мм^2/с	a_z, мкм	$a_{z\ max}$	$n/n_{різ}$
1	20	333	0,033	11	5,32	10,17	10/6
2	40	667	0,033	13	3,04	5,83	11/7
3	60	1000	0,028	18	2,01	3,78	15/10
4	80	1333	0,026	26	1,64	3,07	19/12
5	90	1500	0,025	38	1,59	2,84	25/16

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: "Продовження табл. 1".

7.3. Формули

Використовуючи формули, необхідно дотримуватися певних правил.

Великі, довгі та громіздкі формули, які мають у складі знаки суми, добутку, диференціювання, інтегрування, розміщують на окремих рядках. Це стосується також і всіх нумерованих формул. Для економії місця кілька коротких однотипних формул, відокремлених

від тексту, можна подати в одному рядку, а не одну під одною. Невеликі і нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують усередині рядків тексту.

Стиль формул: хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках праворуч. Обов'язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation для WINDOWS: 1) змінні, латинські літери – курсив, Times New Roman; 2) функції, цифри, українські літери – курсив, Times New Roman; 3) матриці, вектори – курсив, Times New Roman; 4) грецькі літери, символи – курсив, Symbol; 5) розміри: звичайний 11 пт, великий індекс 7 пт, малий індекс 6 пт, великий символ 14 пт, малий символ 11 пт.

Номер формули проставляється справа в кінці рядка в круглих дужках, не виходячи за поле. Формули необхідно вирівнювати по лівому краю сторінки. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Наприклад:

Пропонується зношення круга визначати пропорційним кількості зрізів більших граничного значення $(a_z)_{max}$:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2}(1 - F(a_z)), \quad (1)$$

де $k_1<1$, $k_2>1$ – показники ступенів при товщині зрізу;

$F(a_z)$, $(1–F(a_z))$ – значення інтегральної функції розподілення розрахункової товщини зрізів, котрі визначають частку товщини зрізів, менших та більших вказаного граничного значення a_z. Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфуваня в роботі [7].

8. Список використаних джерел необхідно складати за вимогами ВАК України (Бюлетень ВАК України № 5, 2009).

Заголовок "Список використаних джерел" слід розміщувати посередині рядка, шрифт Times New Roman, кегель 12, напівжирний, а список джерел – 11 кегель.

9. Оплата публікації. Опублікування наукових статей у "Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки" є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **30 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією, зразок якої наведений у Додатку Г.

10. Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина). Всі документи, що містять підписи та печатки, повинні бути відсканованими.

Контактні особи: Подимова Людмила Анатоліївна.

Робочий тел.: (04622)-3-42-44.

E-mail: ndchbm@mail.ru.

Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор. Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи, що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.

Додаток А

Бланк для оформлення
довідки про автора

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ

Прізвище		
Ім’я		
По батькові		
Науковий ступінь		
Вчене звання		
Почесне звання		
Місце роботи		
Посада		
Назва статті		
Обсяг статті		
Поштова адреса		
Контактна інформація	роб. тел.	
	дом. тел.	
	моб. тел.	
	e-mail	
Дата і підпис автора		

Додаток Б

Приклад оформлення статті

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, канд. техн. наук
М.А. Прокопець, магістрант
Є.Ю. Коваленко, магістрант
НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликі відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: *безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.*

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передающими и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: *бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.*

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Key words: *noncontact charge, batteries, processes, energy.*

Постановка проблеми. …
Аналіз останніх досліджень і публікацій. …
Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. …
Мета статті. Головною метою цієї роботи є …
Виклад основного матеріалу. …
Висновки і пропозиції. …

Список використаних джерел

1. Основные источники электромагнитных полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ecololife.ru/study-539-1.html.
2. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц // Теоретическая физика. Том 8. – М. : Наука, 1982. – 622 с.
3. Пентегов И. В. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11-15.
4. ….
5. ….

Додаток В

Приклад оформлення реферату до статті

УДК 621.3.05

Будьонний О.В., Прокопець М.А., Коваленко Є.Ю. БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликі відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передатними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: *безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.*

УДК 621.3.05

Буденный А.В., Прокопец М.А., Коваленко Е.Ю. БЕСКОНТАКТНАЯ ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передаточными и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: *бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.*

UDC 621.3.05

Budenny A.V., Prokopets M.A., Kovalenko E.U. NONCONTACT CHARGING OF STORAGE BATTERIES

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Key words: *noncontact charge, batteries, processes, energy.*

Додаток Г

Бланк квитанції для оплати публікації

Заява на переказ готівки

Дт **1002** Ідентифікаційний код

Кт 31250273210037 05460798

Одержувач платежу Чернігівський державний технологічний університет

Дата здійснення операції _____

Дата валютування _____

Код установи банку 853592

Найменування установи банку ГУДК. Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____

_____

Адреса платника _____

Призначення платежу за видання у збірнику 25010200

Сума _____

Загальна сума _____
(словами)

Підпис платника _____

Касир

Квитанція

Дт **1002** Ідентифікаційний код

Кт 31250273210037 05460798

Одержувач платежу Чернігівський державний технологічний університет

Дата здійснення операції _____

Дата валютування _____

Код установи банку 853592

Найменування установи банку ГУДК. Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____

_____

Адреса платника _____

Призначення платежу за видання у збірнику 25010200

Сума _____

Загальна сума _____
(словами)

Підпис платника _____

Касир

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 4 (61)

Головний редактор	В.В. Казимир
Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Літературний редактор	Л.М. Сила
Коректор	О.С. Смєлова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко
	Т.В. Коваленко

Підписано до друку 22.01.2013. Формат 60х84/8. Друк різограф.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 28,95. Обл.-вид. арк. – 14,46.
Тираж 300 пр. Замовлення № 123/13.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського державного технологічного університету
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
Серія ДК № 840 від 04.03.2002 р.