МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

№ 4(53)

Чернігів 2011

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
УДК 62/69+004
ББК 30/35
В 53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 7 від 26.09.2011 р.). Вісник ЧДТУ включено до нового переліку наукових фахових видань України, затвердженого постановою президії ВАК України від 01.07.2010 р. № 1-05/5. Бюлетень ВАК України № 7, 2010.

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, доцент;
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:
Бурачек В.Г., доктор технічних наук;
Гутько Ю.І., доктор технічних наук;
Жуйков В.Я., доктор технічних наук;
Загороднюк А.В., доктор математичних наук;
Квасніков В.П., доктор технічних наук;
Кирєєв Л.С., доктор технічних наук;
Клименко С.А., доктор технічних наук;
Корченко О.Г., доктор технічних наук;
Михайлов О.М., доктор технічних наук;
Павленко П.М., доктор технічних наук;
Петко І.В., доктор технічних наук;
Положаєнко С.А., доктор технічних наук;
Семак Б.Д., доктор технічних наук;
Субач І.Ю., доктор технічних наук;
Томашевський В.М., доктор технічних наук;
Ямненко Ю.С., доктор технічних наук.

ISSN 2225-7551

В 53 Вісник Чернігівського державного технологічного університету [Текст]. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – № 4(53). – 273 с. – (Серія “Технічні науки”).

Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 14994-3966 ПР від 27.02.2009 р.
© Колектив авторів, 2011
© Чернігівський державний технологічний університет, 2011

Зміст

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА **6**

1. Савченко О.В. **6**
ЕВОЛЮЦІЙНІ АЛГОРИТМИ ГЛОБАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПОЗИТНИХ ОБОЛОНОК ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМАЛЬНОГО ДЕМПФІРУВАННЯ
2. **Бондаренко С. Г., Гойко М.І.** **13**
ФОРМАЛІЗАЦІЯ РОЗМІРНИХ ЕВРИСТИК
3. **Власенко Ю.В., Лелюх Р.Н., Гайсан С.М.** **22**
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА
4. **Козьяков С.В., Ратушний П.М.** **26**
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ІНТЕГРОВАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ
5. **Грицюк В.Ю.** **31**
ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ БАЛКИ НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ НА ПОПЕРЕЧНИЙ УДАР

РОЗДІЛ ІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ **35**

6. **Кальченко В. І., Хоменко І. М.** **35**
ТЕНДЕНЦІЇ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛІВ
7. **Венжега В.И.** **44**
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПРУЖИНЫ
8. **Пасов Г.В.** **50**
ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ЗАВОДУ ТА ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ
9. **Богатырева Г.П., Лавриненко В.И., Никитин Ю.И., Полторацкий В.Г., Лещук И.В., Девицкий А.А.** **56**
СОВРЕМЕННЫЕ ПАСТЫ И ПОЛИРОВАЛЬНЫЕ СОСТАВЫ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНО- И ПРИБОРОСТРОЕНИИ
10. **Кальченко В.В., Войтенко В.П.** **63**
КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ
11. **Чуприна В.М., Говоруха О.М.** **67**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАЗОВИХ КОМПОНОВОЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИТСТИКИ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ В САПР
12. **Кальченко В.В., Юрченко Ю.Д.** **79**
ОБРОБКА АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ ТОКАРНИМИ РІЗЦЯМИ З ВНУТРІШНІМ ТЕПЛОВІДВЕДЕННЯМ

РОЗДІЛ ІІІ. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ **86**

13. **Фальченко Ю.В., Григоренко С.Г., Федорчук В.Е., Руденко М.М.** **86**
ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕРЕХІДНИКІВ НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ-АЛЮМІНІЙ ЗВАРЮВАННЯМ ТИСКОМ У ВАКУУМІ
14. **Жидков А.Б., Гумбатов З.А.** **90**
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИБРООБРАБОТКИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
15. **Березін Л.Я.** **94**
НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОВНІШНІХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ РІЗНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

РОЗДІЛ IV. МЕХАНОХІМІЯ **104**

16. **Сиза О.І., Савченко О.М., Квашук Ю.В.** **104**
ПРОТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ У КИСЛОТНИХ РОБОЧИХ СЕРЕДОВИЩАХ
17. **Ільницький З.М., Слободян З.В., Маглатюк Л.А., Купович Р.Б.** **110**
БІКАРБОНАТ-КАРБОНАТНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ІНГІБОВАНИХ ДВОФАЗНИХ СИСТЕМАХ НАФТА-ВОДА
18. **Чигиринец Е.Э., Гальченко Г.Ю., Воробьева В.И., Липатов С.Ю.** **115**
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕТУЧИХ ИНГИБИТОРОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
19. **Орловський Б.В.** **120**
РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСТПРОЦЕСНОЇ МАШИНИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З КАПРОНОВИХ МОНОНИТОК
20. **Филоненко С.Ф., Космач А.П.** **125**
ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ ПРИ ТРЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
21. **Акимов О.О., Анисенко А.О., Горобець А.Г.** **134**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРУЖНОСТІ КРІПЛЕННЯ УКОЧУВАЛЬНОГО РОЛИКА НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМОТУВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ БП-340
22. **Платонов Е. К., Шумный Ю. Д.** **138**
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОЛИКАПРОАМИДА К ФОРМОВАНИЮ
23. **Горбатко О.О.** **144**
ЕФЕКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ В'ЯЗКОПРУЖНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ З МІЖФАЗНОЮ ТРІЩИНОЮ
24. **Цибуля С.Д., Буяльська Н.П., Старчак В.Г., Мачульський Г.М.** **151**
КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ
25. **Здановський В.Г., Денисова Н.М.** **155**
АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ДОСВІДУ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕНОСТІ ПОВІТРЯ НА ЗДОРОВ'Я ФОРМУВАЛЬНИКІВ ПОЛІАМІДНОЇ ПРОДУКЦІЇ

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ **159**

26. **Кувшинов О. В., Зайцев С.В.** **159**
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТЕОРІЇ ІГОР
27. **Казимир В.В., Федорук П.І., Дутчак М.С.** **166**
АДАПТИВНА ПЕРЕДАЧА ЗНАНЬ У СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ
28. **Акименко А.М.** **171**
ІДЕНТИФІКАЦІЯ РИЗИКІВ ПРОГРАМНОГО ПРОЕКТУ
29. **Волокита А.М., Мухін В.Є., Стешин В.В.** **176**
СПЕЦИФІКА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ CLOUD COMPUTING
30. **Гордієнко В.В., Близнюк А.М.** **185**
МОДУЛЬ АПАРАТНОГО КОДУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ
31. **Будьонний О. В., Коваленко Є.Ю., Прокопець М.А.** **191**
ДРАЙВЕР ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИЛОВИМИ MOSFET ТА IGBT ТРАНЗИСТОРАМИ
32. **Возовиков Ю.Н., Мунзер А.А.** **196**
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛИЗОВАННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

33. **Темніков В.О., Петейчук О.В.** **201**
СИСТЕМА ГОЛОСОВОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОПЕРАТОРІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВСТАНОВЛЕНОЇ ФРАЗЕОЛОГІЇ

34. **Зацерковний В. І.** **205**
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ У РЕГІОНАЛЬНІЙ ГІС

35. **Олійник Ю.О.** **215**
ВИБІР ЗАСОБІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ З СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНИМИ ФІНАНСАМИ

36. **Мороз О.В.** **222**
СИНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЙОГО КОМП'ЮТЕРНА ПІДТРИМКА

37. **Заплетніков І.М., Кудрявцев В.М., Парамонова В.А.** **231**
МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕРЕВИНИ **234**

38. **Ступа В.І., Ігнатенко П.Л.** **234**
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

39. **Чередніков О.М., Юрченко М.Є., Федоренко С.В.** **242**
ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СКЛЕЮВАННЯ ШПОНА

40. **Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Бережанський В.В.** **247**
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГРАНУЛЯТОРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ

41. **Бойко С.В., Нікітенко М.Ф.** **252**
ПЕРСПЕКТИВНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДЕРЕВООБРОБКИ

42. **Єрошенко А.М.** **257**
ОСОБЛИВОСТІ СЕРТИФІКАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ ДЕРЕВООБРОБЛЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ **262**

43. **Дудла І.О., Хребтань О.Б.** **262**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛЬТОВИХ ВОВНЯНИХ ТКАНИН ІЗ СПЕЦІАЛЬНОЮ ОБРОБКОЮ ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВОЛОГО-ТЕПЛОВОГО ОБРОБЛЕННЯ

44. **Міневич Г.Я.** **267**
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ВИБІЛЕНИХ БАВОВНЯНИХ БІЛИЗНЯНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ **271**

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

УДК 539.3:534.1

О.В. Савченко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЕВОЛЮЦІЙНІ АЛГОРИТМИ ГЛОБАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПОЗИТНИХ ОБОЛОНОК ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМАЛЬНОГО ДЕМПФІРУВАННЯ

Розглядаються задачі використання еволюційних методів оптимізації для оптимального проектування композитних в'язкопружних конструкцій, зокрема багатошарових оболонок із максимальним демпфіруванням.

Вступ. Постійно зростаючі вимоги до сучасних машин і агрегатів приводять до необхідності використання матеріалів і конструкцій зі спеціальними властивостями. Зокрема, для конструкцій, працюючих при динамічних навантаженнях, визначальними параметрами є маса, частотний спектр, рівень демпфірування, час затухання виникаючих коливань, міцність і жорсткість. Забезпечення таких, часто суперечливих, параметрів у більшості випадків можливе тільки при використанні композитних конструкцій і конструкцій з композиційних матеріалів. Найпривабливішою особливістю таких конструкцій є можливість управління структурою, механічними характеристиками і, як наслідок, можливість створення конструкцій з наперед заданими параметрами. У той же час, реалізація цих можливостей вимагає розвитку методів моделювання і оптимального проектування таких конструкцій.

Питання демпфірування коливань за допомогою засобів пасивного розсіяння енергії привертають увагу конструкторів і науковців вже понад п'ятдесят років. За цей час одержано фундаментальні результати з розсіяння енергії в однорідних матеріалах і конструкціях із них [1-4]. У той же час виявилося, що у більшості конструкційних матеріалів не можна поєднати дві суперечливі властивості: міцність і розсіяння енергії. Застосування пасивних пристроїв на основі полімерів суттєво покращувало характеристики демпфірування, проте вимагало розрахунку одержаних композитних конструкцій та їх оптимізації за критерієм маси. Прогрес у проблемі створення міцних і одночасно вібростійких конструкцій пов'язується з появою промислових композитних матеріалів. Про підвищену увагу до питань демпфірування свідчить нова хвиля публікацій, присвячених демпфіруванню коливань конструкцій з композиційних матеріалів [5-8]. При цьому стало очевидним, що без використання методів оптимального проектування суттєвого прогресу досягти неможливо. Більше того, виявилося, що використання "класичних" методів оптимізації для конструкцій з неідеально пружних композиційних матеріалів є недостатньо ефективним – потрібна побудова математичних моделей таких матеріалів і конструкцій із них та відповідні методи оптимізації, здатні "подолати" багатоекстремальність задач оптимізації.

Математичні моделі динаміки композитних конструкцій

Для побудови математичних моделей композитних конструкцій, що враховують особливості взаємодії їх елементів і в'язкопружні властивості матеріалів, деякими науковими [7; 8] запропоновано метод скінченно-елементного моделювання у просторі інтегральних перетворень Фур'є (FFEM). При цьому для опису розсіяння енергії в матеріалі виявилося можливим коректно використати комплексні модулі, зв'язати розсіяння енергії з напружено-деформованим станом матеріалу, врахувати частотну і температурну залежність розсіяння енергії, поставити і розв'язати задачі проектування конструкцій з максимальними демпфіруючими властивостями і задачі оптимального розміщення елементів пасивного демпфірування, зокрема, для оболонок, частково покритих демпфіруючим матеріалом. Для розв'язання задач глобальної оптимізації розроблено варіан-

ти сучасних пошукових методів [9]. До таких методів відносяться пошукові методи глобальної і багатокритеріальної оптимізації на основі так званих еволюційних алгоритмів, які не вимагають визначення похідних, що є суттєвим при реалізації ітераційних процесів, і які працюють із кількістю проектних параметрів, недоступною для традиційних градієнтних методів теорії нелінійного програмування.

У даній роботі розглянуто приклади одержання оптимальних структур багатошарових пологих оболонок із довільно розташованими шарами армованих неідеально пружних матеріалів. Математичну модель оболонки побудовано з використанням напіваналітичного варіанту частотного методу скінченних елементів [10]. Ефективні характеристики композиційних в'язкопружних матеріалів визначаються за методикою, наведеною в роботах науковців [7; 8].

З урахуванням прийнятої лінійної апроксимації переміщень у межах шару визначено матрицю динамічної жорсткості шару, який розглядається як скінченний елемент:

$$Z(i\omega) = K(i\omega) + (i\omega)^2 M \ , \tag{1}$$

де $K(i\omega)$ – матриця жорсткості шару, яка залежить від комплексних модулів матеріалу; M – матриця мас; ω – частота коливань; $i = \sqrt{-1}$.

Синтез матриці динамічної жорсткості багатошарової оболонки з окремих скінченних елементів-шарів здійснюється за традиційною методикою методу скінченних елементів [10]:

$$GZ(i\omega) = GK(i\omega) + (i\omega)^2 GM \ . \tag{2}$$

Для аналізу розсіяння енергії розглядається нелінійна задача на власні значення:

$$GZ \ \ i\omega \ \ q = 0 \ . \tag{3}$$

Власні числа і вектори матриці $GZ \ \ i\omega$ визначаються за методикою, запропонованою Савчекно Є.В. [8].

Декремент коливань визначається за відомими власними значеннями (комплексними частотами) матриці $GZ \ \ i\omega$:

$$\delta_k = \pi \cdot arctg \frac{\omega''}{\omega'} \approx 2\pi \frac{\omega''}{\omega'}, \tag{4}$$

де $\omega_k = \omega'_k + i\omega''_k$ – комплексна частота коливань, відповідна k-ій формі.

Метод оптимізації

Для розв'язання задач оптимізації у даній роботі застосовується варіант методу оптимізації на основі генетичних алгоритмів, який не використовує традиційне кодування і оперування двійковими представленнями елементів популяції (хромосом) і дозволяє враховувати довільні обмеження як безпосередньо на проектні параметри, так і на змінні стану. Процедуру алгоритму безумовної оптимізації наведено в праці Савченко О.В., Савченко І.О. [9].

Для умовної оптимізації використовується модифікація цього методу. Модифікований алгоритм працює з множиною допустимих точок, у зв'язку з чим при генерації початкової популяції для кожної випадково генерованої точки перевіряються умови оптимізації. Для точок, які не задовольняють умови, відбувається повторна випадкова генерація, доки нова точка не опиниться у допустимій області. При проведенні подальших процедур генетичного алгоритму популяція точок залишається у допустимій області. Якщо в результаті схрещування або мутації нова точка виходить за межі допустимої області, ці процедури повторюються до одержання нової точки, яка задовольнятиме умови оптимізації. Існують різні критерії завершення процесу: після фіксованої кількості поколінь або фіксованого часу обчислень, після певної кількості поколінь без покращення цільової функції тощо. У роботі використовувалася фіксована кількість у 80 поколінь.

Приклади оптимізації

Побудована модель багатошарової пологої оболонки дозволяє одержати розв'язок загальної задачі проектування оптимального пакета *n* шарів для отримання необхідних характеристик оболонки, зокрема екстремального значення декремента коливань, при прийнятих обмеженнях і змінних проектування. В окремих випадках можна обмежитися варіюванням тільки деяких параметрів, необхідних конструктору.

Нижче розглянуто приклади оптимізації для декількох найбільш характерних варіантів структури пологої оболонки.

Початковими параметрами оболонки є:

– габаритні розміри 4×4 *м*;

– кривизни *k*1 = 0.001 1/*м*, *k*2 = 0.001 1/*м*;

– комплексні модулі армуючого матеріалу: об'ємний модуль $K_1 = 4\cdot 10^{11} + 4\cdot 10^{8} i\, Па$, модуль зсуву $G_1 = 0.8\cdot 10^{11} + 0.8\cdot 10^{8} i\, Па$;

– комплексні модулі матеріалу основи відповідно $K_2 = 4\cdot 10^{9} + 4\cdot 10^{8} i\, Па$, $G_2 = 0.8\cdot 10^{9} + 0.8\cdot 10^{8} i\, Па$;

– густина армуючого матеріалу $\rho_1 = 5\cdot 10^{3}\,\frac{кг}{м^3}$;

– густина матеріалу основи $\rho_2 = 2\cdot 10^{3}\,\frac{кг}{м^3}$.

Компоненти матриці комплексних модулів матеріалу шарів визначалися за методикою, наведеною Дубенець В.Г. та Хильчевським В.Г. [7], густина – за правилом сумішей $\rho_{EФ} = \eta\rho_1 + (1-\eta)\rho_2$ (η – коефіцієнт армування).

Розглянуто такі приклади визначення оптимальних структур пологої оболонки:

– тришарова оболонка типу "сендвіч" (рис. 1 а) при обмеженнях на товщини шарів:

$x = [h_1\ h_2\ h_3]$, $\Delta(x) \Rightarrow \max$ при $h_i^{\min} \le h_i \le h_i^{\max}$, $(i = 1, 2, 3)$;

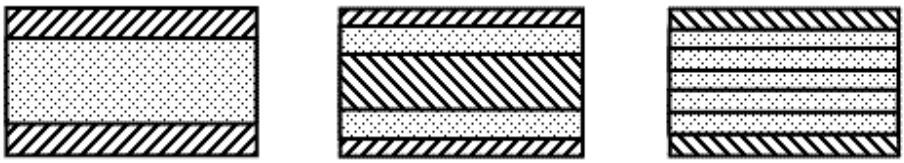
– п'ятишарова оболонка з двома демпфіруючими шарами (рис. 1 б) при обмеженнях на товщину і характер армування:

$x = [h_1\ h_2\ h_3\ h_4\ h_5]$, при $h_i^{\min} \le h_i \le h_i^{\max}$ $(i = 1...5)$;

– семишарова оболонка з шарами, армованими волокнами, при обмеженнях на товщину, коефіцієнти армування і кути армування (рис. 1 в):

$x = (et_1, et_2, ..., et_7, fi_1, fi_2, ..., fi_7, h_1, h_2, .., h_7)$,

при $h_i^{\min} \le h_i \le h_i^{\max}$, $et_i^{\min} \le e_i t \le et_i^{\max}$, $fi_i^{nin} \le fi_i \le fi_i^{\max}$, $(i = 1, 2, ..., 7)$.



а б в

Рис. 1. Варіанти багатошарових структур пологої оболонки: тришаровий пакет (а); п'ятишаровий пакет (б); семишаровий пакет (в)

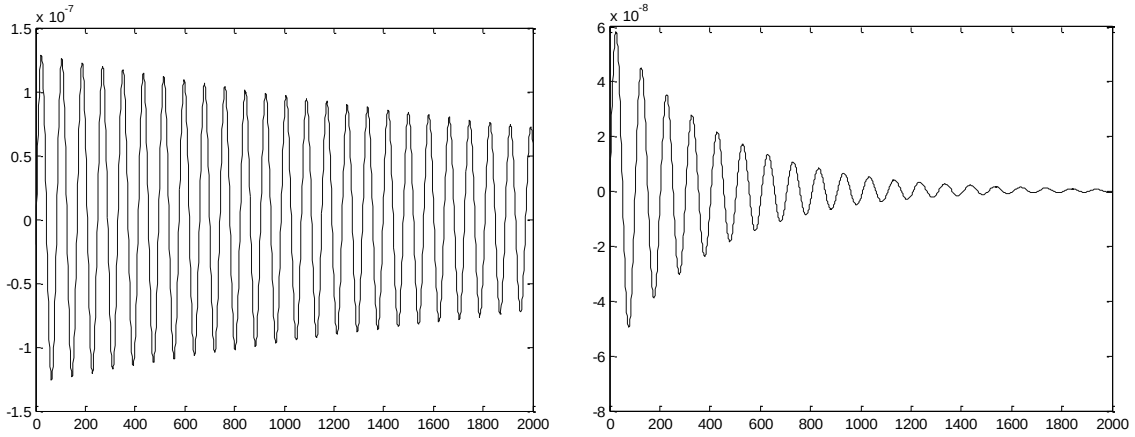
Результати розрахунку за критерієм максимального декремента коливань по першій формі для трьох варіантів структури наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння довільних і оптимальних структур пологої оболонки

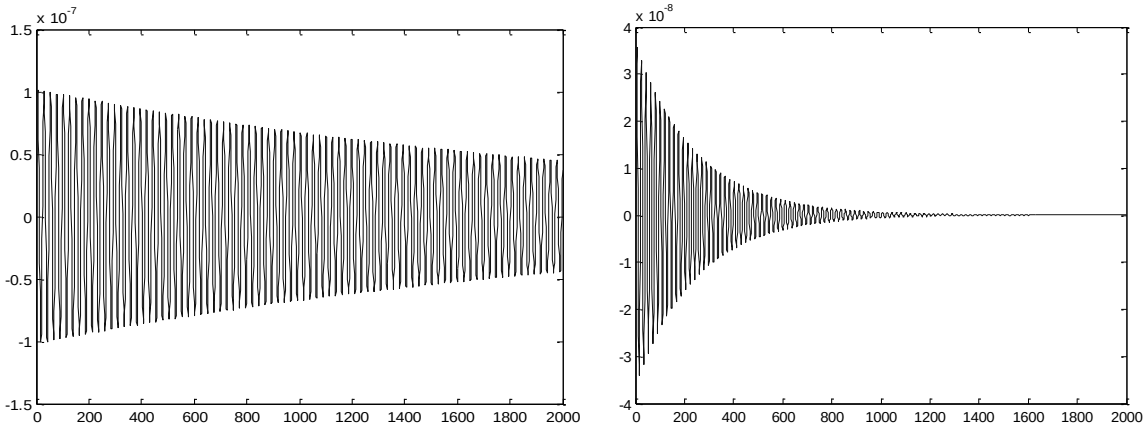
Види структури	Параметри пакета шарів $x=[\eta_1,\ldots,\eta_n,\varphi_1,\ldots,\varphi_n,h_1,\ldots,h_n]$; x_0 – довільне значення, x_{opt} – оптимальне значення вектора проектних параметрів (η – коефіцієнт армування, φ – кут армування, h – товщина шару)	Декремент коливань
а	x_0 = [0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.02 0.02 0.02]	Δ_0 = 0.0239
	x_{opt} = [0.8583 0.1001 0.8633 1.5706 0.7795 0 0.0189 0.0345 0.0185]	Δ_{opt} = 0.2454
б	x_0 = [1 0.5 1 0.5 1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.001 0.01 0.04 0.01 0.001]	Δ_0 = 0.0101
	x_{opt} = [1.0000 0.9000 1.0000 0.9000 1.0000 1.5289 0.0000 1.1065 1.5708 0.5748 0.0010 0.0300 0.0400 0.0300 0.0010]	Δ_{opt} = 0.0767
в	x_0 = [0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 1 1 1 1 1 1 1 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001];	Δ_0 = 0.0344
	x_{opt} = [0.8374 0.1016 0.1001 0.1016 0.1084 0.6309 0.8516 0 0.0078 0.0039 0.7773 0.9766 1.1875 1.5664 0.0012 0.0010 0.0010 0.0010 0.0010 0.0010 0.0012]	Δ_{opt} = 0.2561

На рис. 2-4 показано осцилограми вільних коливань оболонки по першій формі згинальних коливань для довільного й оптимального варіантів трьох розглянутих структур.



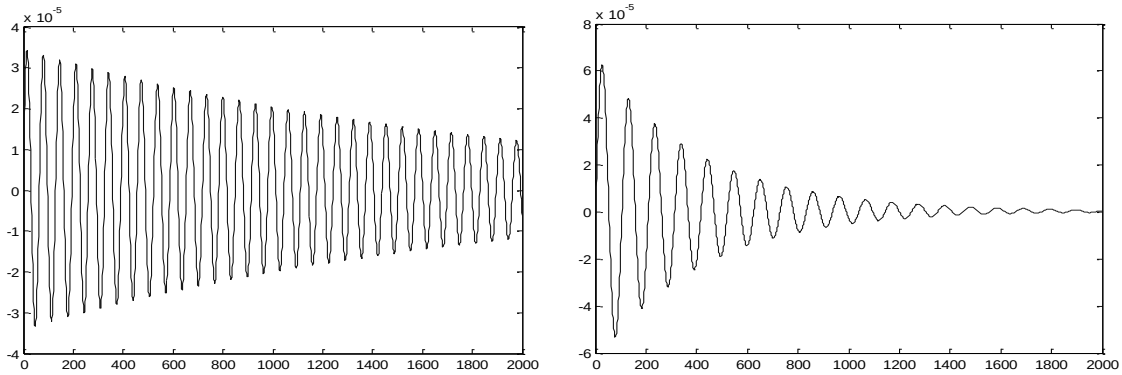
а *б*

Рис. 2. Осцилограми коливань тришарової оболонки для довільного (а) й оптимального (б) варіантів структури



а *б*

Рис. 3. Осцилограми коливань п'ятишарової оболонки для довільного (а) й оптимального (б) варіантів структури



а *б*

Рис. 4. Осцилограми коливань семишарової оболонки для довільного (а) й оптимального (б) варіантів структури

Зазначимо, що для класичних градієнтних методів задача оптимізації уже для семишарової оболонки (21 параметр проектування) виявилася занадто складною. Розроблена програма генетичного алгоритму досить легко знаходить проект оболонки з 15 шарами (45 проектних параметрів).

У багатьох випадках при проектуванні конструкцій виникає необхідність забезпечити діапазон частот, у якому відсутні резонансні частоти, і забезпечити максимум розсіяння енергії для одержаного проекту оболонки. Зокрема, це може бути діапазон, у якому працюють механізми – збудники коливань. Для розв'язання цієї задачі необхідно задавати обмеження на параметри стану у вигляді програми – це задача умовної оптимізації, для розв’язання якої використовувався модифікований генетичний алгоритм.

Далі наведено результати оптимізації оболонки з 15-ма шарами композитних, армованих волокнами матеріалів із різними коефіцієнтами, кутами армування і товщинами за критерієм максимального демпфірування коливань з обмеженнями на граничні значення параметрів проекту і власні частоти оболонки:

$$\Delta \Rightarrow \max, \text{ при } \omega 1 \le \omega_{\min}, \omega 2 \ge \omega_{\max}.$$

Обмеження на проектні параметри 15-шарової оболонки:

lb ={[0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1][0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1][0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005];

ub ={[0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9][pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2 pi/2][0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001]};

om = 15–30 1/*c* – заданий діапазон частот, в якому повинні бути відсутні резонансні частоти.

Цільовою функцією є декремент коливань.

Для оптимального проекту одержано такі значення:

коефіцієнти армування: eta = [0.8990 0.9000 0.9000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1017 0.1000 0.1000 0.7860 0.1000 0.9000 0.9000];

кути армування: fi = [1.5708 1.5708 1.5699 1.5112 0.1000 0.2818 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000];

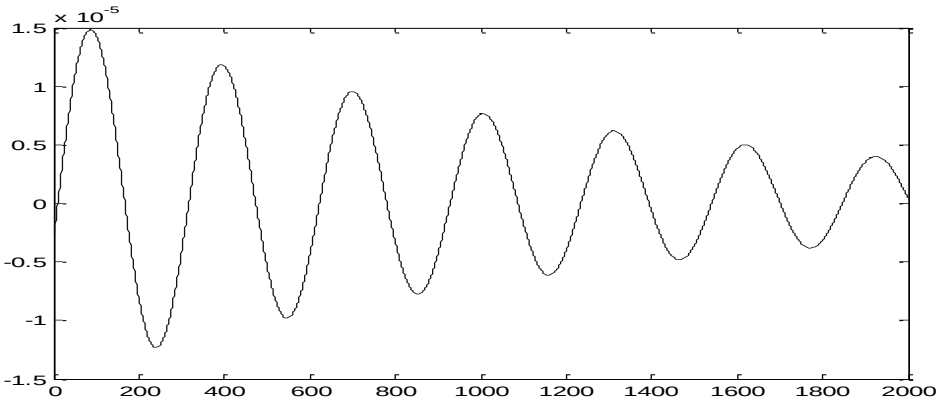
товщини шарів: h = [0.0010 0.0005 0.0010 0.0005 0.0006 0.0010 0.0010 0.0010 0.0010 0.0010 0.0008 0.0009 0.0005 0.0005 0.0009].

Одержане значення декремента коливань Δopt = 0.2458. Перша і друга частоти оптимальної оболонки: om1 = 12.2585 1/*c*; om2 = 30.0850 1/*c*.

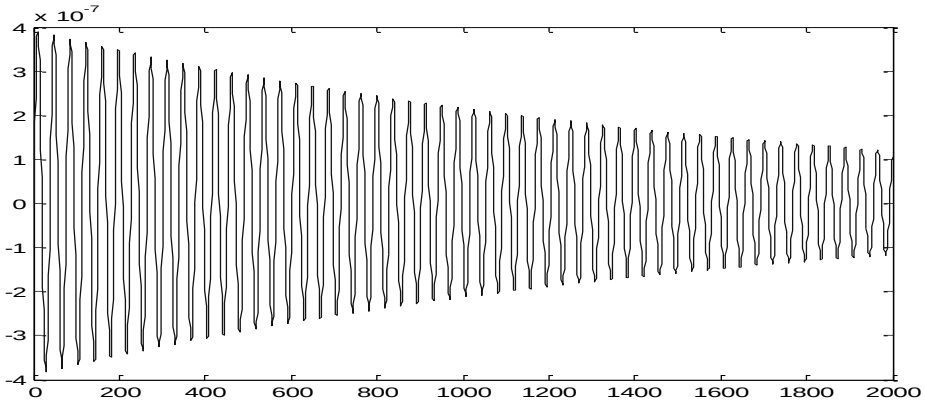
Для порівняння нижче наведено значення декрементів і частот відповідно для нижніх і верхніх обмежень на проектні параметри, а також осцилограми вільних коливань оболонок відповідно для нижніх, верхніх і оптимальних значень проектних параметрів (рис. 5)[1].

Δlb = 0.1089; om1 = 4.9851 1/*c*; om2 = 8.4045 1/*c*;

Δub = 0.0796; om1 = 19.3515 1/*c*; om2 = 68.4975 1/*c*;

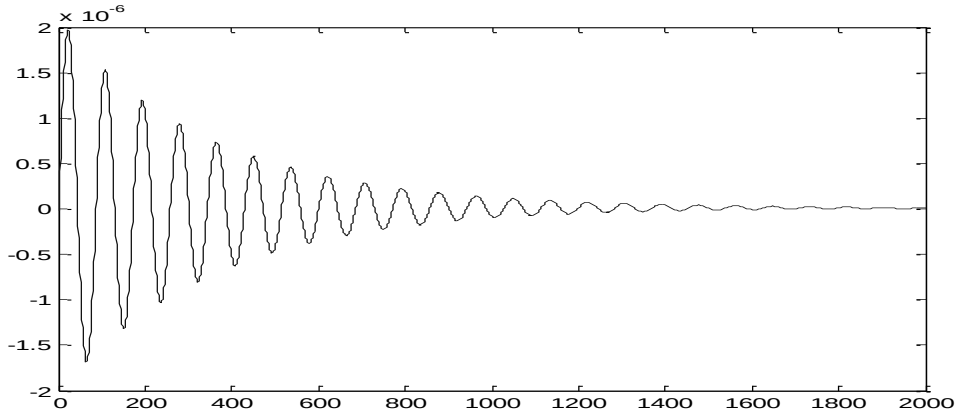


а



б

[1] У зв'язку з демонстративним характером осцилограм, шкалу часу на рис. 2-5 подано в умовних одиницях часу.



в

Рис. 5. Осцилограми вільних коливань для трьох проектів оболонки: параметри по нижній границі (а), параметри по верхній границі (б), оптимальні параметри (в)

Як видно, для оптимального проекту заданий діапазон частот забезпечено, і декремент коливань суттєво вищий, ніж для граничних значень проектних параметрів.

Висновки. Розроблені математичні моделі багатошарових оболонок із композиційних в'язкопружних матеріалів, які базуються на напіваналітичному варіанті методу скінченних елементів у частотній області (ЧМСЕ) і еволюційних методах оптимального проектування, зокрема генетичних алгоритмах, складають основу методики проектування конструкцій з максимальним демпфіруванням. Узагальнення методики на задачі з більш складними обмеженнями, задачі багатокритеріальної оптимізації, задачі пошуку оптимальної форми демпфіруючих пристроїв буде представлено у наступних публікаціях.

Список використаних джерел

1. Писаренко Г.С. Колебания механических систем с учетом несовершенной упругости материала / Писаренко Г.С. – Киев: Наукова думка, 1970. – 377 с.

2. Матвеев В.В. Демпфирование колебаний деформируемых тел / Матвеев В.В. – Киев: Наукова думка, 1985. – 263 с.

3. Сорокин Е.С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем / Сорокин Е.С. – М.: Госстройиздат, 1960. – 129 с.

4. Яковлев А.П. Диссипативные свойства неоднородных материалов и систем / Яковлев А.П. – Киев: Наукова думка, 1985. – 248 с.

5. Композиционные материалы: справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 810 с.

6. Хильчевский В.В. Рассеяние энергии при колебаниях тонкостенных элементов конструкций / Хильчевский В.В., Дубенец В.Г. – К.: Вища школа, 1977. – 252 с.

7. Дубенец В.Г. Колебания демпфированных композитных конструкций / Дубенец В.Г., Хильчевский В.В. – Київ: Вища школа, 1995. – Т. 1. – 226 с.

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

9. Савченко О.В. Метод пошуку глобального екстремуму в задачах оптимізації конструкцій з композиційних матеріалів / Савченко О.В., Савченко І.О. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2008. – № 36. – С. 72-81.

10. Дубенець В.Г. Оптимальне проектування пологих оболонок з композиційних в'язкопружних матеріалів / Дубенець В.Г., Савченко О.В. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – № 45. – С. 21-29.

УДК 658.512.2

С.Г. Бондаренко, канд. техн. наук
М.І. Гойко, студент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ФОРМАЛІЗАЦІЯ РОЗМІРНИХ ЕВРИСТИК

Наведено методи формалізації розмірних евристик з метою інтелектуалізації прикладних систем автоматизованого проектування.

Постановка проблеми

Важливою тенденцією розвитку сучасного виробництва є процес інтелектуалізації та формування на цій основі суспільства, заснованого на знаннях (knowledge based society), в якому економічний добробут визначається високими технологіями, інноваційними можливостями та рівнем інтелектуального розвитку суспільства.

Інтелектуалізація охопила всі галузі діяльності людини, зокрема, і технічну. Одним з актуальних питань технічного підготовлення виробництва є створення універсальних програм розмірного аналізу. Всі існуючі методи розмірного аналізу полягають у тому, що інженер власноруч виявляє та розраховує розмірні зв'язки машини і її елементів. Сучасний рівень розвитку виробництва вимагає запровадження автоматичних систем розв'язання розмірних задач [1; 3].

Під час конструювання виробів, розробки технологічних процесів виготовлення деталей і складання машин, вибору засобів і методів контролю виникає потреба в різноманітному аналізі для досягнення потрібного співвідношення розмірних зв'язків поверхонь і деталей.

Розміри на кресленниках деталей, що побудовані з використанням систем автоматизованого проектування (САПР), здебільшого не відповідають вимогам технологічності та мають значні розбіжності зі службовим призначенням виробів. Розмірні зв'язки, що закладаються у машині під час її конструювання, повинні бути реалізовані при виготовленні деталей та складанні. Тому і конструктор і технолог повинні чітко уявляти ці зв'язки для того, щоб забезпечити їх найдосконалішими і економічними засобами.

Мета статті

Аналіз розмірних зв'язків допомагає розібратись у взаємозв'язках деталей і складальних одиниць машини, визначити методи досягнення необхідної точності, проаналізувати правильність проставляння розмірів і допусків.

Виклад основного матеріалу

Проставляння розмірів і їх допустимих відхилень без врахування функціонального призначення виробу і взаємозв'язку деталей і їх поверхонь призводять до суттєвих похибок і неузгодженостей при технічному підготовленні виробництва і виготовленні установчих партій виробів.

Точність розмірних зв'язків визначається точністю розмірів, які зв'язують певні поверхні деталі, і точністю їх відносних поворотів.

У загальному випадку [2] це можна представити системою рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} A_{\Delta} &= \sum_{i=1}^{m-1} C_i A_i \\ \mu_{\gamma_{\Delta}} &= \prod_{j=1}^{m-1} \mu_{\gamma_j} \end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

де A_{Δ} – замикаюча ланка складального розмірного ланцюга;

C_i, A_i – відповідно величини передатних відношень і складових ланок;

μ_{γ_Δ} – матриця відносних поворотів координатної системи замикаючої ланки;

μ_{γ_j} – матриця поворотів координатних систем поверхонь відносно спряжених координатних систем.

Протягом останніх років особливості процесу інженерного мислення прийнято реалізовувати у вигляді правил і алгоритмів, що дозволяють реалізувати накопичений досвід та інтелектуалізувати прикладні САПР конструкторсько-технологічного призначення.

Сукупність логічних прийомів і емпіричних методичних правил розв’язання розмірних задач називають розмірними евристиками.

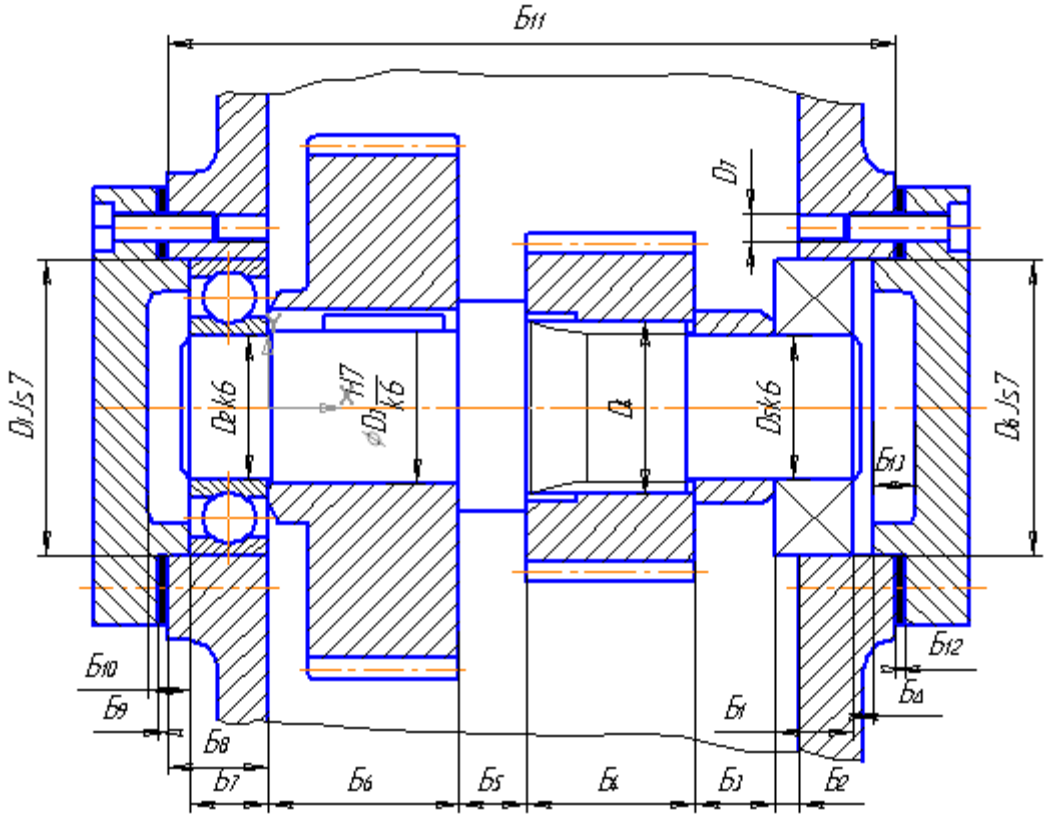
Інтелектуалізація цих задач повинна враховувати наступні основні положення:

1. Під час розробки конструкції і технології деталь розглядається як комплекс взаємозв’язаних елементарних поверхонь.
2. Кожен розмір – це зв'язок, який позбавляє тіло (деталь) одної степені вільності відносно координатної системи відліку.
3. Позбавлення деталі певного числа степенів вільності диктується функціональним (службовим) призначенням деталі (виробу).
4. Розташування конструктивних елементів деталі визначається необхідною кількістю степенів вільності і реалізується системою розмірів.

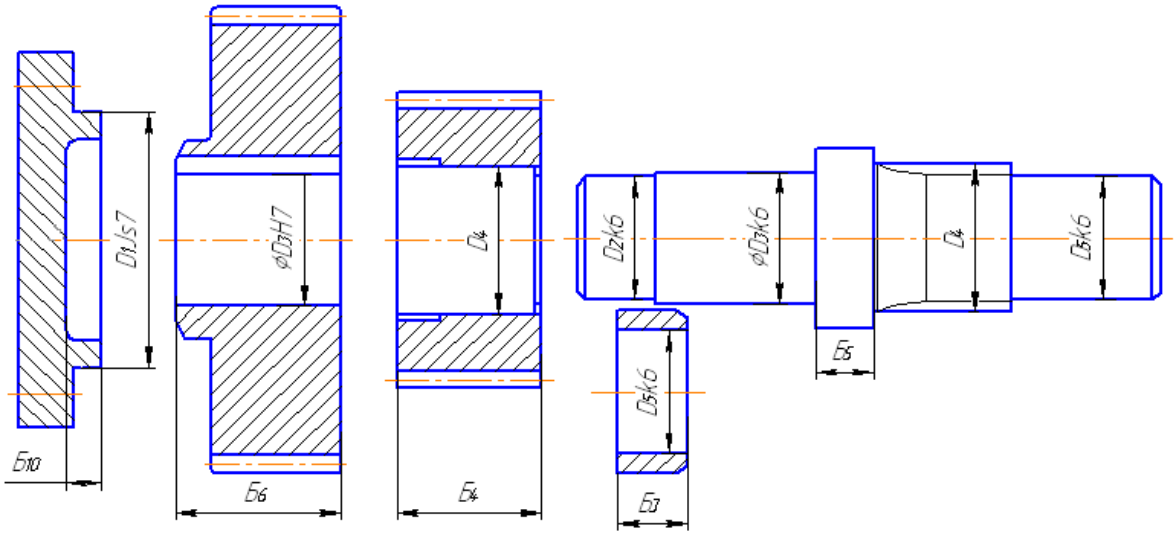
Процес інтелектуалізації прикладних програм суттєво гальмується відсутністю (недостатністю) формалізації розмірних евристик.

Розглянемо деякі з них.

Евристика 1. Обов’язково повинні наноситись розміри з’єднань і розміри, що входять у складальні ланцюги. Інші розміри проставляють виходячи із забезпечення можливості виготовлення деталі (рис. 1).



а



б

Рис. 1. З'єднання і складальний розмірний ланцюг вузла (а) та розміри деталей (б), що випливають з них

У першому наближенні евристику 1 (Е1) можна формалізувати системою виразів:

$$\left.\begin{aligned} Z &= \left\{ D_i \frac{H_k}{k_j} \right\} \\ B &= B_{1,} B_{2,} \ldots B_n \\ C &= C_{1,} C_{2,} \ldots C_n \end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

де $Z = \left\{ D_i \frac{H_k}{k_j} \right\}$ – множина з'єднань;

$B = B_{1,} B_{2,} \ldots B_n$ – множина розмірів, що входять у складальний ланцюг;

$C = C_{1,} C_{2,} \ldots C_n$ – множина розмірів кожної деталі складального ланцюга.

Тоді $A - a = \Delta$, (3)

де A, a – відповідні розміри з'єднуваних поверхонь деталей.

Згідно з Е1 необхідно, щоб $B \subseteq C$.

Евристика 2. Кількість розмірів P_{ij}, достатня для виготовлення й контролю деталі, залишається постійною при різних варіантах їх проставляння (рис. 2).

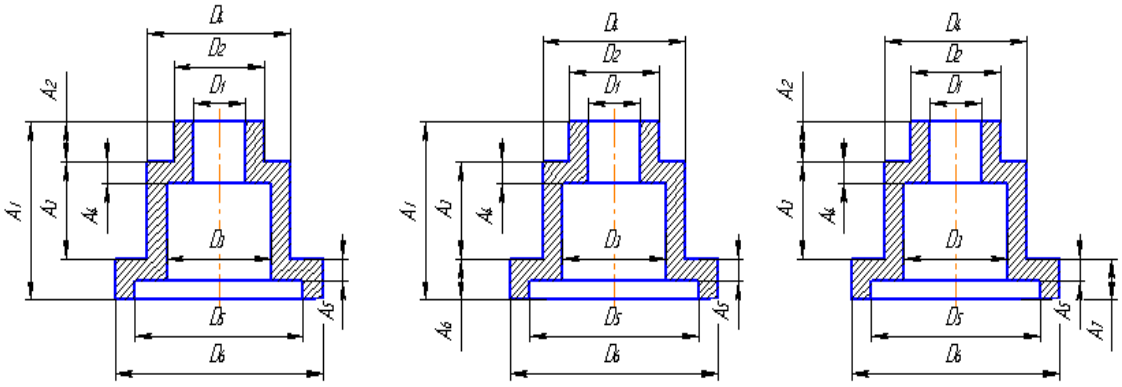


Рис. 2. Варіанти проставляння розмірів деталі

Формалізація евристики 2 має вигляд:

$$P_{ij} = const\ , \tag{4}$$

де i – варіант проставляння коаксіальних розмірів;

j – варіант проставляння діаметральних розмірів.

Евристика 3. Ланцюг розмірів S не повинен бути замкнутим. При необхідності цей розмір може бути виконаний як довідковий (рис. 3).

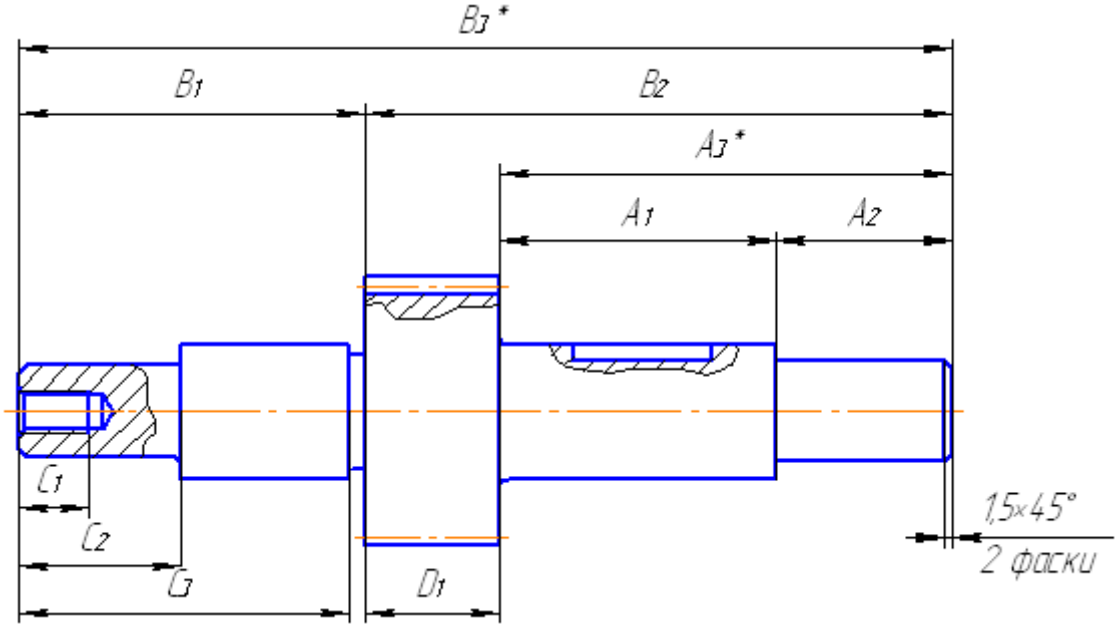


Рис. 3. Коаксіальні розмірні зв'язки вала

$$\text{Тобто } S = \{A_{ij}\} \setminus A_{\Delta}\ , \tag{5}$$

де A_{ij} – множина всіх розмірів, що повинні бути проставлені на кресленику;

A_{Δ} – замикаюча ланка.

Розміри на кресленику деталі створюють певні подетальні розмірні ланцюги. Складові розміри цих ланцюгів одержують на певних технологічних переходах (операціях). Замикаючий розмір визначається в результаті виконання всіх технологічних переходів. У цьому розмірі накопичуються похибки складових розмірів, що виникають під час виготовлення деталі. Тому в якості замикаючих ланок вибирають найменш відповідальні розміри деталі, які на кресленику не проставляють, і подетальні розмірні ланцюги залишаються незамкнутими.

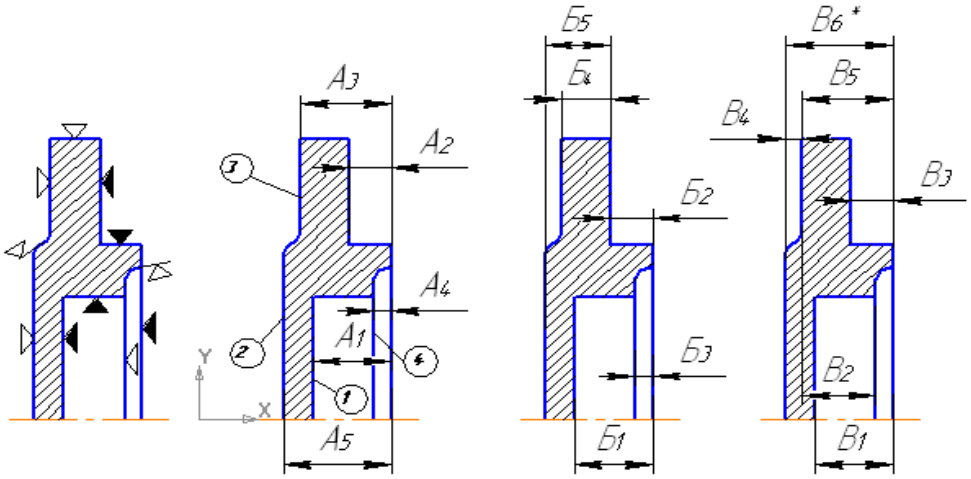
Якщо замикаючою ланкою є габаритний розмір, або розмір, який необхідно проставити з технологічної точки зору, то його вказують на кресленику як довідковий.

Розміри, що не витримуються за даним кресленником і наведені для зручності користування кресленником, називають довідковими. До них відносять:

- розміри, які замикають розмірні ланцюги;
- розміри, перенесені з креслеників вихідної заготовки;
- розміри елементів, які обробляються спільно зі спряженою деталлю (наприклад, отвори під штифти).

Довідкові розміри при виготовленні деталі не контролюють.

Евристика 4. Схема розмірних зв'язків необроблюваних поверхонь і система розмірних зв'язків оброблюваних поверхонь повинні зв'язуватись лише одним розміром за кожним координатним напрямом.



Варіант 1 Варіант 2 Варіант 3

Рис. 4. Схеми розмірних зв'язків кришки підшипникового вузла з необроблюваними (∇) і оброблюваними (▼) поверхнями

За варіантом 1 всі розміри неправильно задані від правого механічно оброблюваного торця. Необроблювані поверхні з оброблюваними зв'язані розмірами A_3, A_4, A_5 , тому їх точність буде залежати від точності лиття та від прийнятої чорнової бази (пов. 1, 2, 3 чи 4).

Варіант 2 ще гірший, оскільки необроблювані поверхні 1,4 і 2,3 задані від різних оброблюваних поверхонь (відповідно розмірами $Б_1$, $Б_3$ і $Б_4$, $Б_5$).

Правильне проставляння розмірів виконано за варіантом 3: система розмірних зв'язків необроблюваних поверхонь (розміри B_2, B_4) і система розмірних зв'язків оброблюваних поверхонь (розміри B_1, B_3) зв'язані лише одним розміром B_5.

Габаритний розмір B_6* проставлений як довідковий.

Вказане можна виразити як:

$$\forall O_i \in O \ \exists! H_j \in H \ ;$$
$$O \not\sim H, \tag{6}$$

де O – оброблювані поверхні ,

H – необроблювані поверхні

Евристика 5. Нанесення розмірів повинно бути таким, щоб під час виготовлення деталі найточніший її розмір мав найменшу накопичену похибку.

Розв'язання зазначених задач досягається забезпеченням потрібної точності окремих параметрів (розмірів, поворотів) деталі, виявивши які можна сформулювати технологічні задачі обробки. Тому, за креслеником деталі виявляються взаємозв'язки її поверхонь з урахуванням функцій, що виконуються конкретними поверхнями деталі в складальній одиниці.

Кожний виконуваний розмір є замикаючим в якомусь технологічному розмірному ланцюгу і відхилення його дорівнює сумі відхилень розмірів, що входять до цього розмірного ланцюга. При виборі баз розглядаються технологічні розмірні ланцюги, що містять розміри (відносні повороти), які зв'язують оброблювані поверхні і бази. В цьому випадку довжина розмірного ланцюга, в який входить розглядуваний розмір, визначається тими базами, які беруть участь в утворенні цього розміру.

Бази забезпечать виконання розмірів з допустимими відхиленнями, якщо виконувані розміри будуть входити в розмірні технологічні ланцюги, що містять найменшу кількість ланок, тобто за принципом найкоротшого шляху.

Вказане може бути виражене системою залежностей:

$$\left.\begin{aligned} &\omega_{нт} \to \min \\ &\omega_{нт} \prec \sum_{i=1}^{k} \omega_i \\ &T_{нт} \le \omega_{нт} \\ &T_k \le \omega_k \end{aligned}\right\}, \qquad (7)$$

де $\omega_{нт}$ – похибка найточнішого розміру;

k – кількість розмірів розмірного ланцюга;

ω_i – похибки розмірів, що впливають на найточніший розмір;

T_k – допуск k-того розміру;

ω_k – похибка цього розміру.

Розрізняють три основні способи проставляння розмірів: ланцюговий, координатний та комбінований.

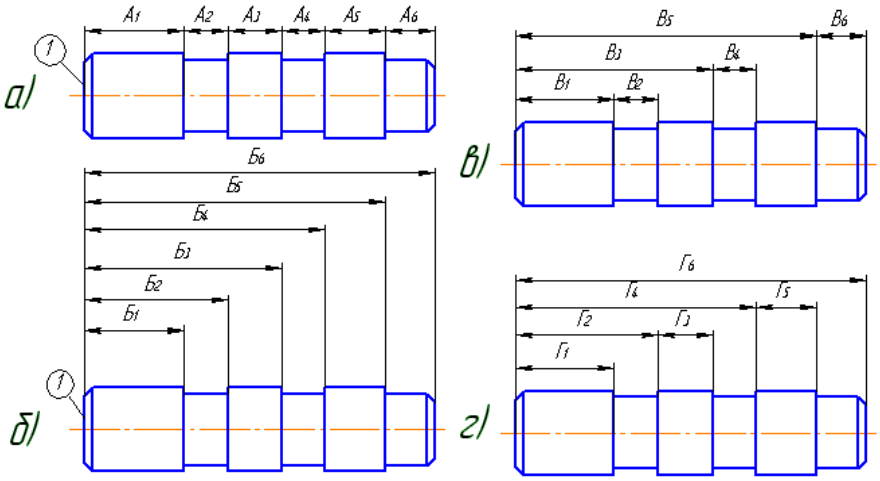


Рис.5. Способи проставляння розмірів

Ланцюговий спосіб забезпечує точність розташування кожного наступного елементу відносно попереднього (рис.5 а). Проте точність розташування елементів відносно деякої загальної бази 1 послідовно зменшується:

$$\omega_{Б_1} = \omega_{A_1}, ..., \omega_{Б_6} = \omega_{A_1} + \omega_{A_2} + \omega_{A_3} + \omega_{A_4} + \omega_{A_5} + \omega_{A_6} \qquad (8)$$

Спосіб використовують, наприклад, для відстаней отворів у корпусах зубчастих передач, де важливі якраз ці розміри.

За координатним способом проставляють від однієї бази 1 (рис.5 б), чим забезпечується точність відстаней всіх елементів від бази, однак при цьому зменшується точність відстаней між окремими елементами.

Наприклад, $\omega_{A_2} = \omega_{Б_1} + \omega_{Б_2}$, $\omega_{A_5} = \omega_{Б_4} + \omega_{Б_5}$.

За комбінованим способом (рис.5 в, г) частина розмірів проставляється за ланцюговим, а частина – за координатним способом, щоб зменшити похибки найважливіших розмірів відповідно до функціонального призначення деталі. Так, при ланцюговому способі ширина проточок витримується точно, але точність їх розташування послідовно зменшується. При координатному способі, навпаки, забезпечується точність розташування проточок, але зменшується точність їх ширини. Комбінований спосіб забезпечує прийнятну точність як розташування, так і ширини проточок.

Виходячи з виявлених розмірних зв’язків і вимог до точності та якості поверхонь, визначають і формулюють основні технологічні задачі. Правильне розв’язання цих питань багато в чому визначає точність і економічність виготовлення деталі.

Евристика 6. Розміри, що визначають відстані між необроблюваними поверхнями, повинні замикатися між собою, утворюючи окремі (що не включають у себе інших розмірів) подетальні ланцюги.

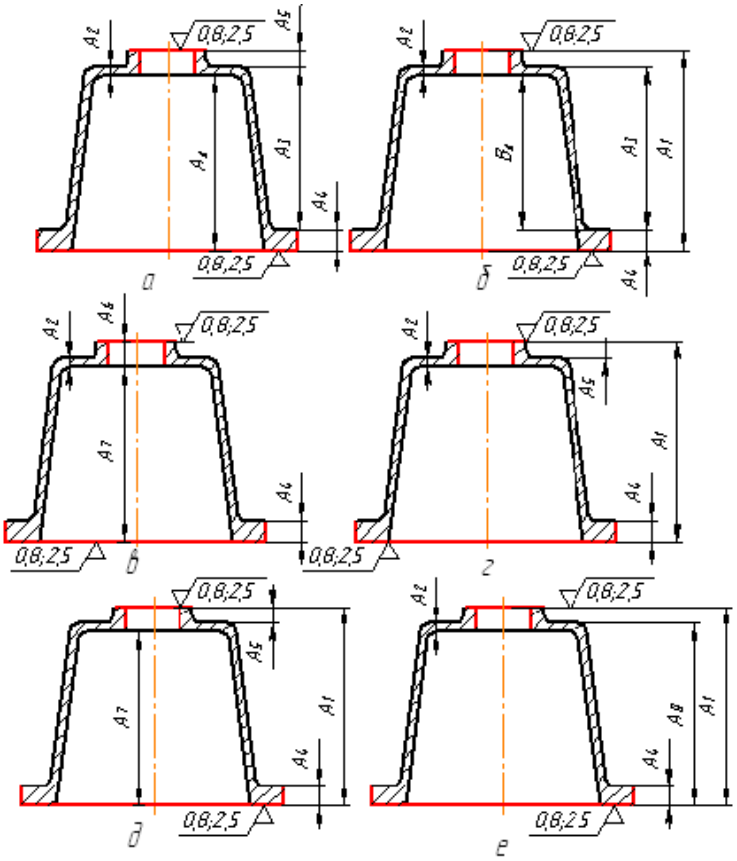


Рис. 6. Проставляння зв'язків необроблюваних поверхонь:
а, б – правильно; в, г, д,е – неправильно

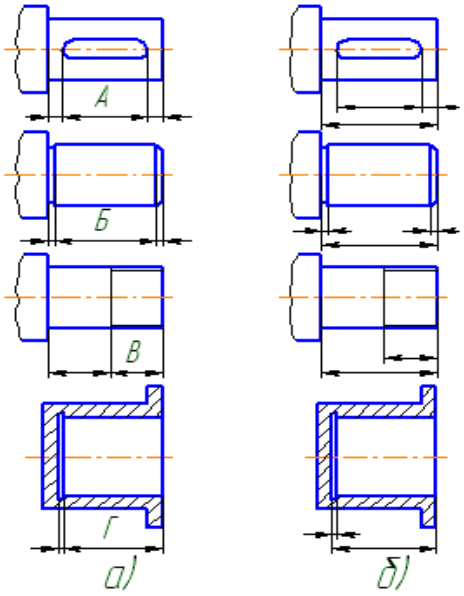


Рис.7. Неправильне (а) і правильне (б) проставляння розмірів елементів вала і втулки

Першим кроком до формалізації евристики 6 може бути вираз:

$$A \cap B, \qquad (9)$$

де A – множина розмірів між необроблюваними поверхнями;

B – множина всіх інших розмірів.

Евристика 7. розміри повинні проставлятись, враховуючи послідовність механічної обробки, оскільки механічно оброблювані поверхні утворюються на різних операціях (переходах).

Як видно з рисунка 7, розміри, проставлені від канавки, фаски, різі та інших подібних елементів, незручні для вимірювання, оскільки не мають яскраво вираженої розвинутої вимірювальної бази. Не маючи вузького допуску, ці елементи конструкції можуть знизити точність основних розмірів *А, Б, В, Г*.

Евристика 8. Розміри належить проставляти узгоджено з положенням заготовки під час об-

робки (як її бачить робітник). Наприклад, (рис.8) на головному виді кришки розміри для токарної операції, а на виді зліва – для свердлильної.

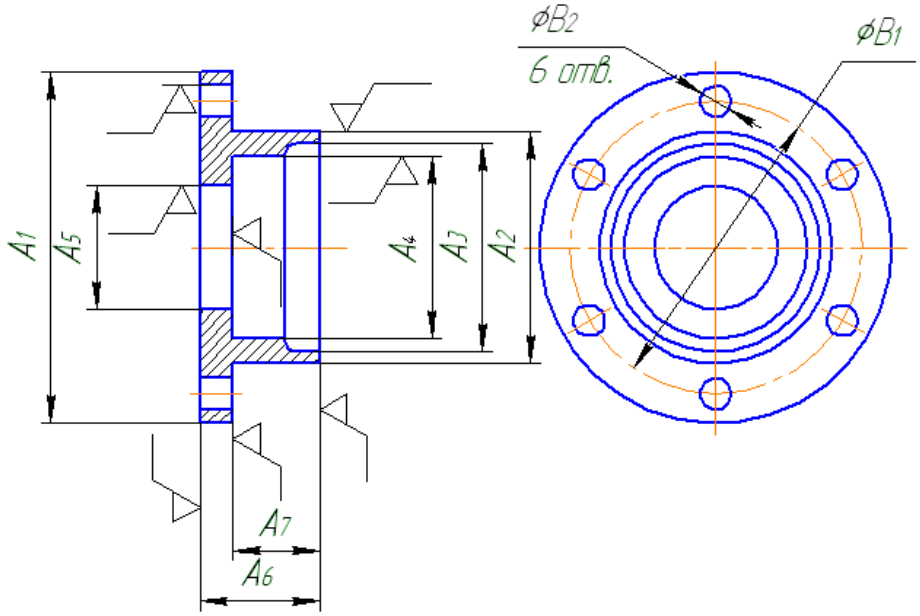


Рис. 8. Проставляння розмірів узгоджено з положенням заготовки під час обробки

Евристика 9. Проставляння розмірів, які визначають розташування кріпильних отворів, повинне враховувати спосіб їх розмічання і свердління.

В одиничному і дрібносерійному виробництвах, коли не вимагається забезпечення взаємозамінності деталей (вузлів), до точності розташування кріпильних отворів не пред'являють високих вимог, важлива лише можливість входження кріпильних деталей (болтів, гвинтів, шпильок) і можливість кріпильних з'єднань.

При цьому зазвичай у меншій з двох з'єднуваних деталей (наприклад, в кришці) кріпильні отвори свердлять за розміткою. Для забезпечення збігу цих отворів з отворами спряженої деталі (наприклад, в корпусі), їх розмічають за отворами кришки або свердлять без розмічання за цими отворами, як по кондуктору.

Якщо на координуючій деталі (плиті, рамі) розташовується декілька вузлів (наприклад, редуктор, електродвигун тощо) (рис. 9), щоб забезпечити суворо визначене їх положення (наприклад, збіг осей валів електродвигуна і редуктора), то виконують попереднє складання з вивіркою відносного положення вузлів, після чого розмічають і свердлять отвори в координуючій деталі по кріпильних отворах спряжених вузлів.

Координати отворів приєднуваних деталей (вузлів) у кресленниках проставляють як довідкові, а в кресленику плити (рами) вказується обробка отворів по приєднувальній деталі (вузлу).

У середньо- і великосерійному виробництвах, коли потрібно забезпечити взаємозамінність деталей, кріпильні отвори свердлять за кондуктором.

У кресленниках спряжених деталей проставляють координати осей всіх кріпильних отворів з граничними відхиленнями і розміри, які визначають відносне положення взаємозв'язаних груп отворів.

Евристика 10. Для всіх розмірів повинні вказуватись граничні відхилення, виключаючи довідкові розміри, розміри зон різного ступеня точності, шорсткості чи термообробки поверхні, розміри фасок, галтелей, довжину нарізної частини болтів, гвинтів та інших подібних елементів через низькі вимоги до точності цих розмірів.

Евристика 11. Вибір раціонального способу проставляння розмірів визначається конструктивними і технологічними вимогами для кожної конкретної деталі.

Для цього за складальним кресленником виробу визначають основні бази деталей, від яких проставляють спряжені розміри, що найбільше впливають на якість роботи. Всі інші розміри задають від технологічних баз.

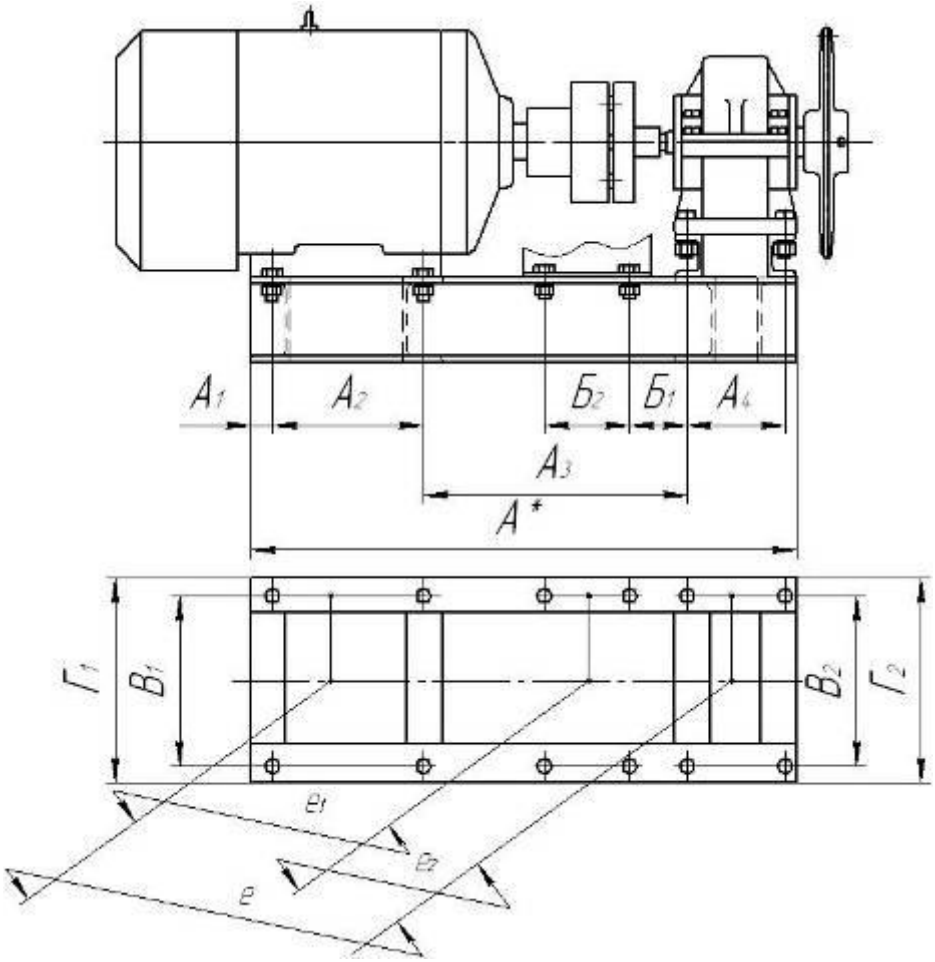


Рис. 9. Типові розмірні зв'язки кріпильних отворів рами приводної станції

Висновки

Завдяки розглянутим евристикам можна визначити потрібний метод нанесення розмірів залежно від службового призначення, необхідної точності та відносного розташування деталей у складальній одиниці. Адже вдале нанесення розмірів дозволяє значною мірою не лише підвищити точність та взаємозамінність виробу, але й зменшити трудомісткість його виготовлення.

Формалізація наведених евристик дозволить полегшити автоматизацію нанесення розмірів.

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. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / Бронштейн И.Н. Семендяев К. А. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 706 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т 2 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 996 с.

УДК 004.94:629.735.02(043.2)

Ю.В. Власенко, наук. співробітник
Р.Н. Лелюх, студент
С.М. Гайсан, студент

Национальный авиационный университет, м. Київ, Украина

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

Рассмотрена обобщенная методика расчета прочности узлов средствами системы CATIA v6. На основе приведенной методики выполнен расчет и определены допустимые значения параметров, удовлетворяющие критериям прочности элементов конструкции.

Введение

В настоящее время в промышленно развитых странах мира для разработки сложных наукоемких изделий используются специализированные CAE системы, такие как ANSYS, NASTRAN, PATRAN и др. Их стоимость, избыточная функциональность не допускает их массового применения для инженерных расчетов. Вместе с тем, большинство задач инженерного анализа может быть решено универсальными CAD/CAM/CAE системами [1, 2].

Постановка задачи

Общепризнанным лидером в этом направлении является система CATIA компании Dassault Systemes (Франция) [3]. В то же время, отсутствие специализированных, доступных методик выполнения специализированных инженерных расчетов (узлов самолета, литейных процессов, оснастки и др.) не позволяют использовать расчетные модули системы CATIA v6.

В данной статье авторы описывают практический и методический опыт использования CATIA v6 для инженерного анализа и конструирования деталей и узлов самолета, представляя тем самым обобщенную методику инженерного анализа инструментальными средствами системы CATIA.

Материалы исследования

Инженерные расчёты являются неотъемлемой частью процесса проектирования. При проектировании узлов самолёта, будь то фюзеляж, крыло, шасси, двигатель, силовые элементы конструкции, элементы крепления различных систем используются средства инженерного анализа. В зависимости от назначения, это могут быть аэродинамические, температурные, акустические, частотные, гидравлические, статические прочностные линейные или нелинейные виды анализа. Все вышеупомянутые расчёты реализуются с помощью CAD/CAM/CAE систем. Средствами таких систем представляется также возможность построения и геометрической модели рассчитываемого узла самолёта. Рассмотрен анализ одного из узлов самолёта, выполненный на основе CAD/CAM/CAE системы CATIA v6.

Для построения геометрической модели узлов самолёта, инженерного анализа этих самых узлов и написания технологических процессов для их изготовления существуют определённые рекомендации, методики и приоритеты использования тех или иных инструментов. Рассмотрим одну из методик решения инженерных задач с использованием CAD/CAM/CAE системы CATIA v6 и на её примере рассчитаем элемент узла шасси самолёта.

Методика решения задачи инженерного анализа в CAD/CAM/CAE системе CATIA v6 включает следующие этапы.

1. Основные допущения.

1.1. Выбор типа анализа.

На этом этапе необходимо определить, какие типы расчётов требуется использовать для решения поставленной задачи. Это могут быть различные расчёты, такие как часто-

тный анализ, тепловой, статический расчёт, определение устойчивости, нелинейный анализ и т.д.

1.2. Выбор контактной модели.

В системе CAD/CAM/CAE CATIA v6 есть возможность реализовать вышеупомянутые типы анализа как для отдельной детали какого-либо узла самолёта, так и для сборки всего узла в целом. Поэтому определим назначение расчёта в плане контактной модели.

1.3. Выбор типа элементов.

На этом этапе анализируется тип элементов, используемых в расчёте, твердотельные или поверхностные (2D элементы, оболочковые элементы). Это определяет скорость расчёта и точность полученных результатов.

2. Препроцессинг.

2.1. Создание геометрической модели анализируемого узла.

В зависимости от типа рассчитываемого узла самолёта используются те или иные группы модулей для построения его геометрической модели. Для проектирования твердотельных элементов необходимо использовать такую группу модулей, как Mechanical Design, то есть машиностроительное проектирование. С их помощью создаётся геометрическая модель изделия. При построении геометрической модели используем параметры, определяющие форму и геометрию проектируемого изделия. На основе результатов анализа параметры геометрической модели могут быть оптимизированы.

2.2. Задание свойств материала изделия.

На этом этапе необходимо задать физические свойства материалов, из которых будет изготовлена рассчитываемая деталь либо узел. При этом, если рассчитывается весь узел, можно отдельно задать свойства материала для каждой детали узла. Есть возможность выбирать типы материалов, которые есть в стандартной библиотеке и базирующиеся на ГОСТ, либо создавать свои материалы и вручную задавать свойства. В зависимости от типа расчёта используются основные физические свойства (предел прочности, модуль упругости) либо специфические, такие как теплопроводность, коэффициент теплового расширения и т.д. Свойства материала могут быть заданы как в виде констант, так и в виде зависимостей от других расчётных параметров.

2.3. Генерация расчётной сетки конечных элементов.

С помощью специализированного модуля для генерации сетки Advanced Meshing Tools необходимо сгенерировать сетку для расчётов детали. От типа и метода построения сетки зависит точность расчётов и время, за которое они будут произведены. Следует учесть, что сетка с большим количеством расчётных узлов позволяет находить более точное решение, но увеличивает расчетное время. При генерации сетки могут быть учтены дополнительные условия работы детали, например, болтовые соединения, посадка с натягом, сварочные соединения детали. При этом нагрузки сетки одной детали будут передаваться на узлы сетки другой детали.

2.4. Закрепление и нагружение детали (узла) конструкции.

На этом этапе происходит закрепление и нагружение детали (узла) конструкции в местах контакта с остальными элементами конструкции. Применяются сосредоточенные или распределённые силы, постоянные или же изменяющиеся по поверхности приложения, вес конструкции и крутящие моменты. Для анализа сборки возможно применение условий, определяющих переменный контакт между телами (нелинейная постановка). При решении связанных задач (напряженное состояние при тепловой нагрузке) силовое воздействие может передаваться из одного расчёта в другой. Связи определяются в узлах сопряжений и определяют перемещение узлов сетки одной детали в зависимости от перемещения других деталей. Взаимно неподвижные детали, связанные меж-

ду собой разъёмным соединением или с помощью прессовой посадки, сопрягаются соответствующими элементами ограничений.

2.5. Выбор расчётных параметров.

К числу рассчитываемых по умолчанию значений напряжений и деформаций могут быть дополнительно определены другие элементы, участвующие в расчётах, например, относительное удлинение.

3. Расчёт.

Фаза непосредственного решения поставленной задачи анализа для получения конечного результата. В случае, если расчёт требует значительных вычислительных ресурсов (для сложных задач), поддерживается распределённое вычисление и приостановка расчёта с сохранением промежуточных результатов. Встроенный решатель в специальных случаях может быть дополнен или расширен дополнительным решателем, определённым пользователем.

4. Постпроцессинг.

4.1. Просмотр результатов анализа.

На этом этапе происходит просмотр результатов анализа, которыми могут быть различные эпюры, графики. Для упрощения анализа результатов могут быть введены специальные критерии – проверки, определяемые автоматически. На основе проверки результатов составляется сводный отчёт.

Рассмотрим пример решения инженерной задачи о напряженно-деформированном состоянии детали качалки шасси в условиях пребывания самолёта в ангаре либо на аэродроме в статически неподвижном состоянии. Взлётный вес самолёта составляет 40 т. На самолёте установлено трехопорное шасси с носовой опорой и двумя основными опорами, расположенными вблизи центра массы по разные стороны от плоскости симметрии самолёта. Нагрузка, действующая на основные опоры шасси, составляет 346 kH. Схема сопряжения деталей шасси самолёта изображена на рис.1.

Рис. 1. Геометрическая модель шасси самолёта

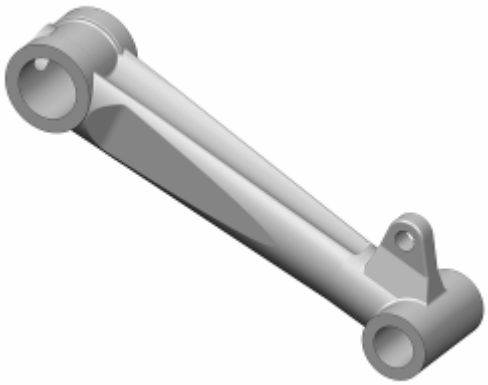


Рис. 2. Геометрическая модель качалки шасси

Сначала произведём основные допущения, выберем тип расчёта. Для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии детали качалки шасси самолёта необходимо использовать средства статического анализа, которые реализованы в модуле Generative Structural Analysis. Если указано, что анализировать нужно только отдельный элемент шасси, то контактной моделью является деталь. Геометрическую модель изделия создаём с помощью модуля машиностроительного проектирования Part Design (рис. 2). Далее задаём свойства материала командой “Назначение материалов”. Следу-

Рис. 3. Расчётная сетка качалки шасси самолёта

ющим шагом генерируем расчетную сетку (рис. 3). При генерации сетки конечных элементов задаем характерный размер элемента, равный 3 мм. Детализация узлов сетки в местах резких переходов поверхностей выполняется автоматически.

После генерации сетки определяем закрепление модели. Закрепление выбрано вдоль оси большего отверстия. Определяем численные значения нагрузок, действующие на качалку шасси самолёта в местах контакта с остальными силовыми элементами конструкции, а именно – гидроцилиндром и двумя осями вращения. На основе решения системы уравнений сил, действующих на ось ОХ и на ось ОУ, а также уравнений сумм моментов сил были определены значения приложенной нагрузки и выполнен статический анализ. Результаты расчётов напряженно-деформированного состояния приведены на рисунках 4 и 5.

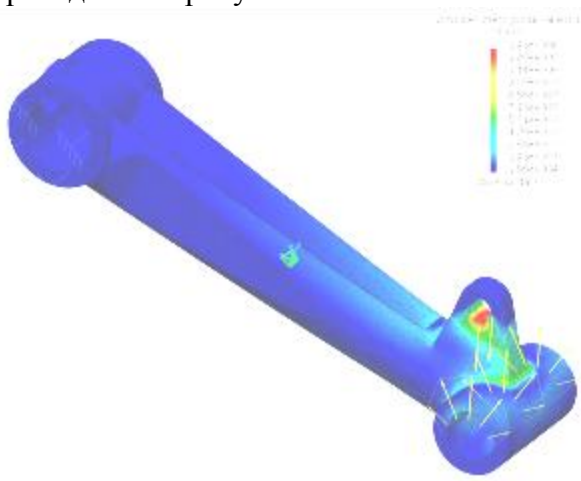


Рис. 4. Распределение напряжений в деформируемой детали

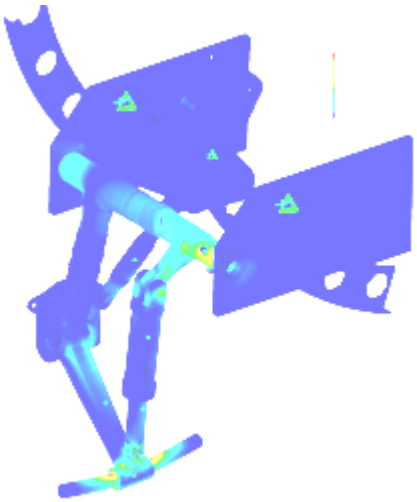


Рис. 5. Нагруженный узел в сборе

Выводы

Приведенная методика позволяет выполнять расчёты прочности элементов конструкции летательных аппаратов в процессе проектирования. Указанные этапы выполнения анализа являются базовыми и в каждом конкретном случае могут быть уточнены. Представлены результаты расчетов наиболее нагруженной детали узла шасси самолета.

Список использованных источников

1. Грувер М. САПР и автоматизация производства / М. Грувер, Э. Зиммерс: пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 530 с.

2. Шпур Г. Автоматизированное проектирование в машиностроении / Г. Шпур, Ф.Л. Краузе. – М.: Машиностроение, 1988. – 650 с.

3. Басов К. CATIA и ANSYS Твердотельное моделирование / Константин Андреевич Басов. – М.: ДМК-Пресс, 2009. – 240 с.

УДК 005.311.2:004.94

С.В. Козьяков, аспірант
П.М. Ратушний, студент

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ІНТЕГРОВАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Розглянуто формалізацію процесу концептуального проектування, представлено результати теоретичного та експериментального дослідження концептуального проектування складних технічних об'єктів.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційних систем та технологій автоматизації проектних робіт забезпечив появу різноманіття промислових виробів оригінального дизайну та призначення. Такі можливості забезпечують сучасні CAD/CAM/CAE – системи високого рівня, такі як NX компанії Siemens PLM Software, CATIA компанії DASSAULT SYSTEMES та ін. Разом з тим, етап концептуального проектування залишається малоформалізованим та методично представленим для відповідних фахівців.

Постановка завдання

Аналіз наукової та технічної літератури з питань формалізації концептуального проектування показав, що на терені СНД відсутні методики та методичні рекомендації з концептуального проектування в середовищі інтегрованих автоматизованих систем високого рівня [1-3]. Тому, автори роблять спробу формалізувати етап концептуального проектування з її практичною апробацією в інформаційному середовищі системи CATIA v6.

Результати досліджень

Основною метою конструювання є пошук необхідних інженерних рішень і втілення їх в конкретно поставленій задачі. Тому для найшвидшого отримання якісного результату процес конструювання повинен бути чітко визначеним і формалізованим, розділеним на кілька етапів. Першим етапом є технічне завдання, який обумовлює технічний проект, наступним – етап концептуального або ескізного проектування. Після нього виконується технічний проект, за яким створюється робочий проект. Одним з найважливіших етапів у проектуванні нового виробу є саме етап концептуального проектування. На жаль, саме на цьому етапі відсутні дієві методи, які б оптимізували його. На цій стадії здійснюється найбільш творча діяльність, виникають нові ідеї, рішення, що дуже важливо для об'єкта, який розробляється. Звичайно, не обов'язково все робити «з нуля», адже це не доцільно. Обов'язково треба використовувати знання попередників, однак повинна залишатись певна свобода думки, що має на меті створення нововведень. Тому під час проектування нового виробу необхідно обов'язково виконувати концептуальне проектування, а оптимізація на цьому етапі покращить весь процес розробки.

Концептуальне проектування представляє собою візуальне оформлення основної ідеї проекту, під час якого проводиться дослідження та узгодження параметрів, аналіз загальних концептуальних рішень з усіх задач, яким повинен відповідати даний проект. Концептуальний проект містить попередню конструкторську обробку всіх основних вузлів. Він базується на аналізі різних варіантів можливих конструкторських рішень, результатах розрахунків, оптимізації найбільш важливих параметрів і характеристик виробів, що проектуються. Проектування на концептуальному рівні означає здійснення процесу на понятійному рівні для отримання розуміння об'єкта, що проектується, його загальної характеристики про конструкцію, габарити, принцип роботи, взаємодію з іншими об'єктами.

Ескізні матеріали складаються з невеликої кількості ліній, що відображають без подробиць конструктивну схему та інколи ті її частини, що пояснюють і розвивають основну конструктивну ідею. Проект не повинен бути перенасиченим великою кількістю деталей і елементів, адже це значно ускладнює весь процес як розробки, так і сприйняття, крім того, на цьому етапі вони не мають цінності. В ескізній компоновці реалізована лише попередньо відібрана частина технічних вимог без детального розгляду можливості майбутньої реалізації інших вимог. Концептуальний проект може виконуватись у вигляді ескізу від руки та у вигляді комп'ютерних 3D моделей. Останні дуже ефективно використовуються, оскільки дозволяють виконувати аналіз на ранніх етапах.

Недосконалість ескізування компенсується швидкістю викреслювання. Швидкість необхідна для того, щоб конструктор зміг розглянути велику кількість варіантів, відібравши найдосконаліший. Складності графічної реалізації не повинні уповільнювати пошук оптимального рішення. Відпрацьовані варіанти повинні також перевірятись масштабним викреслюванням. Концептуальний проект може змінюватись у процесі розробки. Завдяки цьому можна легко вводити коригування, але так, щоб не змінювалась головна ідея, яка є центральною та об'єднує навколо себе решту.

Прийнято вважати, що концептуальне проектування використовується у тих випадках, коли технічний об'єкт не може бути описаний кількісними характеристиками, які дозволили б зробити опис закономірностей її функціонування чи опис розробки у вигляді аналітичних залежностей.

Розглянемо детальніше методологічні аспекти цього виду моделювання. Концептуальна математична модель разом з описом технічного об'єкта (об'єкта дослідження та процесів функціонування об'єкта, процесів обробки інформації) та способів взаємодії її структурних елементів відображає такі властивості, як приналежність технічного об'єкта до певного типу та його кількісні характеристики. Тому, крім поділу елементів моделі на об'єкти та відношення між ними, можна виділити клас атрибутів (властивостей), які вступають з елементами моделі (інформаційними об'єктами та процесами) в бінарні (взаємно однозначні) відношення, які можуть бути описані функціонально.

Таким чином, концептуальна математична модель технічного об'єкта містить такі складові: множину елементів моделі (об'єктів і процесів), відношення, які задаються над множиною елементів моделей, множину атрибутів об'єктів і відношень, множину функцій (функціональних відношень між інформаційними об'єктами, процесами та їх атрибутами).

Два перших, із вищезгаданих компонентів, утворюють схему об'єктів і процесів, а два останніх – моделі атрибутів і кількісні характеристики. Таким чином, формально концептуальну математичну модель (КММ) можна представити наступним кортежем:

$$S_{kmm} = < P, O, H_p, H_o, I_n, O_{ut}, S >, \quad (1)$$

де $P = \{p_i\}$ – множина процесів обробки інформації;

$O = \{o_j\}$ – множина інформаційних об'єктів (даних);

H_p, H_o – відношення ієрархії інформаційних об'єктів;

$I_n: P \to B(o)$ – відповідність *"I_n"* множини вхідних інформаційних об'єктів *B(o)* множині процесів *p* (*"I_n"* – інформаційна відповідність «вхідні інформаційні об'єкти процесу - процес»);

$O_{ut}: P \to B(o)$ – відповідність O_{ut} «процес – вихідні інформаційні об'єкти» множини вхідних інформаційних об'єктів *B(o)*множини процесів *P*;

$\delta: P \to B(P)$ – відношення проходження процесів (відповідність підмножини вхідних $\{p_m\} = s\{i\}$ інформаційних процесів *B(p)* множини *P* на цю множину, де $\{p_m\}$ – множина процесів, виконання яких має суворо передувати виконанню певного процесу $p_i(p_m) \in S(p_i)$);

$S = \{s_k\}$ – множина компонентів концептуальної математичної моделі;

$i = \overline{1, \dots, I}$, $j = \overline{1, \dots, J}$, $m = \overline{1, \dots, M}$, $k = \overline{1, \dots, K}$ – множина відповідних індексів.

Представлена формальна модель відображає суть концептуального проектування, яка полягає в тому, що під процесом концептуального проектування розуміють певне перетворення (i_n, O_{ut}) вхідної підмножини об'єктів (даних про них) на іншу підмножину, яку називають вихідною. Тобто, процес побудови моделі концептуального проектування може розглядатись як декларативне представлення задачі, вирішення якої полягає в описі причинно-наслідкових зв'язків щодо виробленого в предметній області перетворення інформації. Таким чином, отримано математичну модель, яка включає всі множини інформаційних об'єктів та відображає сутність концептуального моделювання.

Розглянемо можливості оптимізації процесу концептуального проектування. Оптимізація – це процес приведення об'єкта в найкращий, оптимальний стан. Оптимізація означає вибір якогось одного варіанта проекту з множини варіантів, який за тими або іншими ознаками вважається найдоцільнішим. Задача вибору оптимальних параметрів розробки вузла у відповідності з певними критеріями оптимізації є задачею оптимального конструювання.

Прийняття конкретного варіанта має вирішальне значення на всіх стадіях розробки, а тому вибір оптимального варіанта повинен здійснюватись на ранньому етапі, тобто на концептуальному рівні.

У випадку параметричного синтезу при відомій, заданій структурі об'єкта, підбираються параметри елементів таким чином, щоб ті мінімізували (максимізували) цільову функцію. Для цього нам треба використовувати алгоритми безперервного математичного програмування. У випадку, коли структура невідома, необхідно застосовувати методи дискретного математичного програмування. Якщо, крім підбору параметрів, необхідно ще й визначити структуру об'єкта, то треба застосовувати алгоритми дискретно-неперервного математичного програмування. Якщо зараз задача параметричної оптимізації вирішується практично для будь-яких об'єктів, то розвиток структурно-параметричної оптимізації знаходиться на початковому рівні. Структурно-параметрична оптимізація – це поєднання попередніх методів, що має більш універсальний характер.

Критерій оптимізації – це показник, який найбільш доцільний для даної оптимізації об'єкта. Він має бути об'єктивним і виправдовувати своє призначення. Для цього він повинен мати певні властивості, а саме: бути незалежним, однозначним, тобто не бути функцією інших факторів, бути безпосередньо пов'язаним з параметром оптимізації, бути сумісним з іншими факторами, щоб не порушувати їх роботу та ін. В якості критерію оптимізації, залежно від характеру і призначення об'єкта конструювання, можуть бути: вартість, конструктивні і точнісні показники, вага, довговічність, ресурс. Параметри оптимізації цільової функції, залежно від мети, для якої вони призначені, можуть бути:

- просторово-часовими (довжина, час, площа, об'єм, швидкість, прискорення та ін.);
- механічними (маса, сила, момент, робота, енергія, потужність, тиск тощо);
- електромагнітними (кількість струму, питомий опір, магнітний потік і т.д.);
- тепловими (кількість теплоти, тепловий потік, коефіцієнт теплопровідності й таке інше);
- акустичними (звуковий тиск, інтенсивність звуку, рівень шуму та ін.);
- якісними (зовнішній вигляд, якість поверхні тощо).

Конструктор може застосовувати варіантне конструювання (порівняння кількох варіантів конструкції і вибір варіанта з мінімумом недоліків) або оптимізацію на інтуїтивному рівні. Знання методів оптимізації, досвід роботи і здатність творчо мислити дозволяють конструктору уникнути недоліків і помилок у конструкції об'єкта.

Для практичної реалізації представлених теоретичних узагальнень концептуального проектування, в якості технічного об'єкта конструювання було розглянуто проект носової стійки шасі регіонального літака.

Були сформовані вхідні дані, які формували технічні вимоги до майбутнього проекту: стійка повинна витримувати статичне і динамічне навантаження літака даного типу, злітна вага якого не повинна перевищувати 25 т. Стійка повинна мати можливість забиратись в нішу. Привод повинен здійснюватись за допомогою гідроциліндра. Конструкція шасі повинна дозволяти експлуатацію літака як на бетонних злітно-посадкових смугах, так і на ґрунтових. Габаритні розміри обмежуються нішею шасі, а саме: висота при максимальному ході штока в межах 1800-1850 мм, ширина ніші в межах 910-950 мм, а довжина – 2000-2100 мм. Стійка повинна бути поворотною в діапазоні ±60°.

На основі таких вихідних даних розпочався пошук конструктивного рішення щодо структури майбутньої стійки. Для цього довелось розглядати багато різних схем і варіантів, вивчаючи їх переваги і недоліки.

Були сформовані основні принципи функціонування та структури стійки, розглянуті різні критерії. Стійка повинна забиратись у напрямку вздовж будівельної осі літака проти руху потоку, що набігає. Це дозволить у випадку відмови гідросистеми випустити шасі за допомогою сил тяжіння та опору повітря. Стулки при цьому повинні відчинятись і зачинятись для покращення аеродинамічних характеристик. Вони повинні приводитись в дію за допомогою тяг, які кінематично пов'язані з амортизаційною стійкою. Таким чином, рух всіх елементів буде приводитись в дію за допомогою одного основного гідроциліндра. Так ми позбуваємось додаткових приводів і вирішуємо проблему синхронізації. Стійка буде мати два колеса, що покращить розподіл навантажень на вісь і шасі в цілому. Тип самої стійки буде важільний, оскільки він забезпечує необхідне сприйняття удару (у випадку ґрунтової злітно посадкової смуги), а також високий коефіцієнт передачі.

Визначаємо кінематичну схему, складові і розміри всіх структурних елементів, структура яких ще може змінюватись. Так, для оптимального виконання даного проекту була розроблена методика визначення кінематичної схеми інструментальними засобами CAD/CAM/CAE системи CATIA v6. Розглянемо її детальніше.

Розроблена методика концептуального проектування отримана завдяки параметризації побудови ескізів у середовищі CAD/CAM/CAE системи CATIA v6.

Отриманий параметричний ескіз дуже гнучкий, бо дозволяє повністю змінювати усі свої параметри. Таким чином, ми підбираємо необхідну кінематичну схему, тобто оптимізуємо структуру механізму. Відразу перевіряємо, як об'єкт буде здійснювати рух, чи забереться стійка шасі у нішу при максимальному переміщенні штока циліндра, чи закриються стулки ніші шасі. Якщо результат нас не задовольняє, то змінюються відповідні параметри. Отже, здійснено структурну і частково параметричну оптимізацію на етапі концептуального конструювання. Кінцевий вигляд отриманої кінематичної схеми представлено на рис. 1.

Подальше концептуальне конструювання полягало у створенні 3D моделі, яка б відповідала поставленим раніше технічним вимогам і вже відомій структурі стійки та розмірам основних елементів. Процес конструювання й надалі проводили в інформаційному середовищі CAD/CAM/CAE системи CATIA v6 засобами твердотільного і поверхневого моделювання. Паралельно з побудовою виконувалась організація деталей у зборку, а також задавались усі зв'язки у вузлах між ланками у парі. Завдяки цьому розглядались всі деталі як окремі елементи, так і у взаємозв'язку з іншими. Потім конструкція компонувалась у механізм, що дозволило зробити симуляцію процесу випуску шасі. Це покращує візуальне сприйняття об'єкта конструювання і допомагає остаточно перевірити кінематику системи у просторовому відношенні. Результати концептуального

проектування представлено на рисунку 2. В подальшому спрощені елементи конструкції повинні доповнюватись усіма деталями та елементами. Відповідно до точної моделі повинні виконуватись автоматизовані інженерні розрахунки засобами CAE модулів системи CATIA v6. Таким чином, здійснюється параметрична оптимізація даного технічного об'єкта.

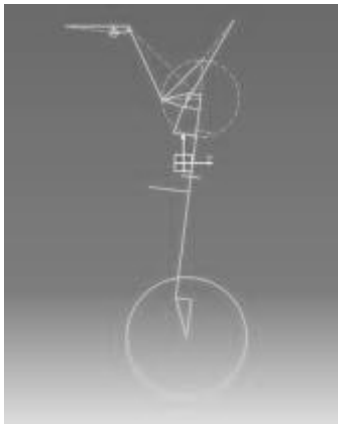


Рис. 1. Кінематична схема шасі

Рис. 2. Результат концептуального проектування

Висновок

Етап концептуального конструювання – це творчий процес, що реалізує ідеї конструктора, сприяє пошуку інновацій, забезпечуючи виконання задач конструювання з мінімальними витратами і максимальною ефективністю. Таким чином, знижується кількість помилок і зростає продуктивність всього процесу конструювання. Подальші дослідження авторів спрямовані на створення методики оптимізації, яка б вирішувала складні питання концептуального конструювання.

Список використаних джерел

1. Гольдшмидт М. Г. Методология конструирования: учебное пособие / Гольдшмидт М. Г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 173 с.

2. Лоцманенко В.В. Проектирование и конструирование (основы): учебное пособие / Лоцманенко В.В., Кочегаров Б.Е. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004 – 96 с.

3. Павленко П.Н. Автоматизированные системы технологической подготовки расширенных производств. Методы построения и управления: монография / Павленко П.Н. – К.: Книжное изд-во НАУ, 2005. – 280 с.

УДК 539.3:539.4

В.Ю. Грицюк, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ БАЛКИ НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ НА ПОПЕРЕЧНИЙ УДАР

По балці, що лежить на пружній основі, відбувається поперечний удар тілом. Розглянуті дві моделі розподілення напруження у пружній основі.

Вступ

Модель С.П. Тимошенка розрахунку балок на поперечний удар [1] враховує загальні деформації конструкції і місцеві деформації у зоні взаємодії тіла, що ударяє, і балки. Реалізація задачі виконується чисельно; вона досить трудомістка. Подальші дослідження були спрямовані у двох напрямках: вдосконалення методів розрахунку і застосування моделі для більш складних конструкцій. У праці “Колебания в инженерном деле” розглядається поперечний удар тілом по шарнірно опертій на кінцях балці, яка лежить на шарі пружної основи (рис. 1), яка моделюється за допомогою одного з варіантів, запропонованого Власовим В.З. [3] Цей варіант враховує лінійний закон розподілення по товщині шару основи нормальних напружень і сталі дотичні напруження по товщині шару основи. Така наближена модель може застосовуватися, якщо шар основи – малої товщини. У даній роботі розглянуто більш досконалий варіант моделі основи, при якому напруження затухають за нелінійним законом при заглибленні в основу.

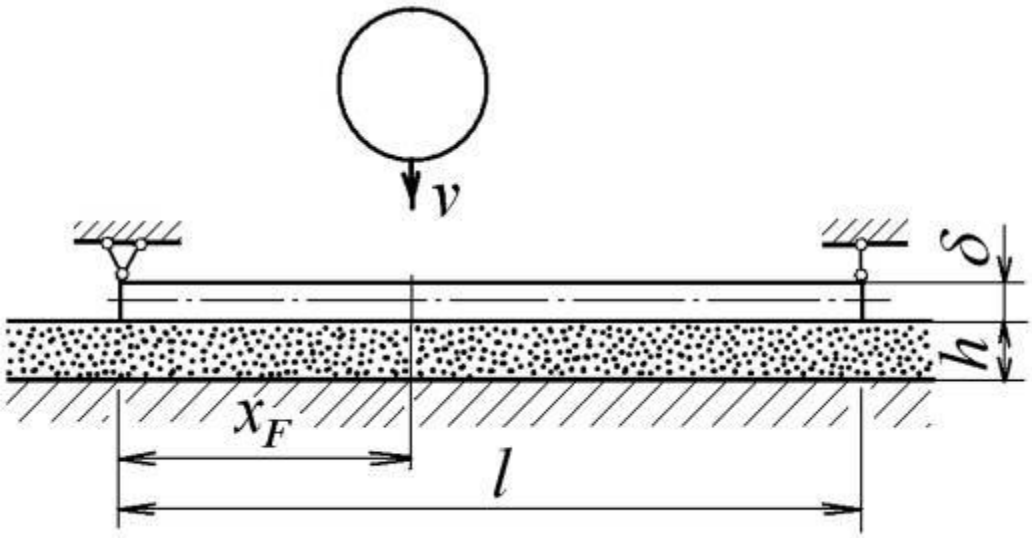


Рис. 1. Розрахункова схема

Математична модель

Силу контактної взаємодії $F(t)$ тіла і балки можна знайти з рівняння:

$$d(F) = \alpha(F) + w_F(x_F, F), \tag{1}$$

де d – вертикальні переміщення тіла;

α – вертикальні переміщення тіла, викликані контактними деформаціями у місці взаємодії тіл (тіла і балки);

w_F – вертикальні переміщення балки, що лежить на пружній основі, у місці знаходження тіла;

x_F – горизонтальна координата цього місця;

t – час.

Рівняння (1) є узагальненням відомого рівняння поперечного удару, запропонованого С.П. Тимошенком [1].

Переміщення тіла d можна визначити за допомогою формули:

$$d(t) = d_0 + \dot{d}_0 t + g\frac{t^2}{2} - \frac{1}{M}\int_0^t F(t_1)(t - t_1)\,dt_1, \tag{2}$$

де d_0, $\dot{d}_0$ – початкові переміщення і швидкість тіла;

g – прискорення земного тяжіння;

M – маса тіла.

Переміщення α можна визначити за допомогою статичної контактної задачі Герця.

Для розрахунку балки на пружній основі, товщина якої h, застосуємо модель, запропоновану Власовим В.З. [3]. Диференційне рівняння руху балки записується у вигляді:

$$a_1 w'''' + a_2 w'' + a_3 w + a_4 \ddot{w} = \frac{1}{b} q(x,t), \tag{3}$$

$$a_1 = \frac{E\delta^3}{12},\ a_2 = -2t^*,\ a_3 = k^*,\ a_4 = \frac{\gamma\delta}{g} + \frac{\gamma_O r11}{g}, \tag{4}$$

$$t^* = \frac{E_0 r11}{4(1+\nu_0)},\ k^* = \frac{E_0 s11}{1-\nu_0^2}, \tag{5}$$

$$r11 = \int_0^h \psi^2(y) b dy,\ s11 = \int_0^h \left(\frac{d\psi}{dy}\right)^2 b dy, \tag{6}$$

де $q(x,t)$ – розподілена сила, що діє по довжині балки;

b і δ – ширина і висота балки;

w – вертикальні переміщення тіла;

E і γ – модуль Юнга і питома вага матеріалу балки;

E_O, ν_O і γ_O – модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона і питома вага матеріалу основи.

У рівнянні (3) штрихами угорі позначено диференціювання за координатою x, а точками – за часом t.

Розподілення напружень в основі залежить від вибору функції $\psi(y)$ [3].

Якщо

$$\psi(y) = \frac{h-y}{h}, \tag{7}$$

то одержуємо перший варіант моделі, описаний у вступі. Цей варіант був розглянутий Грицюком В.Ю. [2].

Якщо

$$\psi(y) = \frac{sh(\eta(h-y))}{sh(\eta h)}, \tag{8}$$

то одержуємо другий варіант моделі, описаний у вступі. Він теж наближений, але більш досконалий. При збільшенні значення коефіцієнта η нерівномірність розподілення напружень збільшується. Якщо η прямує до нуля, то одержуємо перший варіант моделі.

Будемо враховувати розсіяння енергії у матеріалі основи. Для цього пружні характеристики цього матеріалу запишемо у комплексній формі

$$E_O = E_O \pm i\beta E_O, \tag{9}$$

де β – коефіцієнт розсіяння енергії у матеріалі основи.

Розкладаючи переміщення і навантаження у тригонометричні ряди і застосовуючи методи операційного обчислення, одержуємо:

$$w(x,t)=\sum_{m=1}^{\infty}[T_{0m}e^{-\mu_m t}\cos\omega_m t+\frac{\dot{T}_{0m}}{\omega_m}e^{-\mu_m t}\sin\omega_m t+$$
$$+\frac{2}{a_4 bl}\frac{\sin\alpha_m x_F}{\omega_m}\int_0^t F(t_1)e^{-\mu_m(t-t_1)}\sin\omega_m(t-t_1)dt_1]\sin\alpha_m x, \quad (10)$$

$$\omega_m=\sqrt{\frac{a_1\alpha_m^4-a_2\alpha_m^2+a_3}{a_4}},\quad \mu_m=\beta\frac{a_3-a_2\alpha_m^2}{2a_4\omega_m},\quad \alpha_m=\frac{m\pi}{l}. \quad (11)$$

Реалізація задачі

Рівняння (1) дозволяє визначити силу $F(t)$. Це робиться чисельно на послідовних малих кроках часу τ. Існують різні алгоритми чисельної реалізації [2]. У даній роботі застосовувалася ступінчаста апроксимація контактної сили. На кожному кроці сила визначається методом послідовних наближень.

Реалізація задачі виконувалася за допомогою математичного пакета MathCAD.

Приклад розрахунку

Розглянемо горизонтальний удар (у формулі (2) $g=0$) сталевою кулею, радіус якої 1 см, по балці з алюмінію, ширина якої 1 см і товщина 0,1 см. Удар відбувається посередині між шарнірними опорами балки. Балка лежить на основі, виготовленої з пінопласту ПХВ-1. Грицюком В.Ю. [2] розглядалася основа, виготовлена з епоксидного компаунда ЕК-1. Товщина основи 0,9 см. Коефіцієнт розсіяння енергії у матеріалі основи $\beta=0{,}3/2\pi$.

Для опису коливань балки враховано 40 гармонік. Сила контактної взаємодії визначалася методом послідовних наближень з точністю до 2 %. Крок інтегрування τ =0,0000005 с.

На рис. 2 наведені результати розрахунку. На рис.2 а-д – для першої моделі основи, на рис.2 е-и – для другої.

Рис. 2 а-б і рис. 2 е-є ілюструють розподілення нормальних і дотичних напружень по товщині основи.

На рис. 2 в і рис. 2 ж наведені осцилограми сили контактної взаємодії кулі і балки (n – кількість кроків часу).

На рис. 2 г і рис. 2 з – осцилограми переміщень кулі і середини балки (переміщення у напрямку удару вважаються додатними).

На рис. 2 д і рис. 2 и представлений вигляд деформованої осі балки при $n=120$.

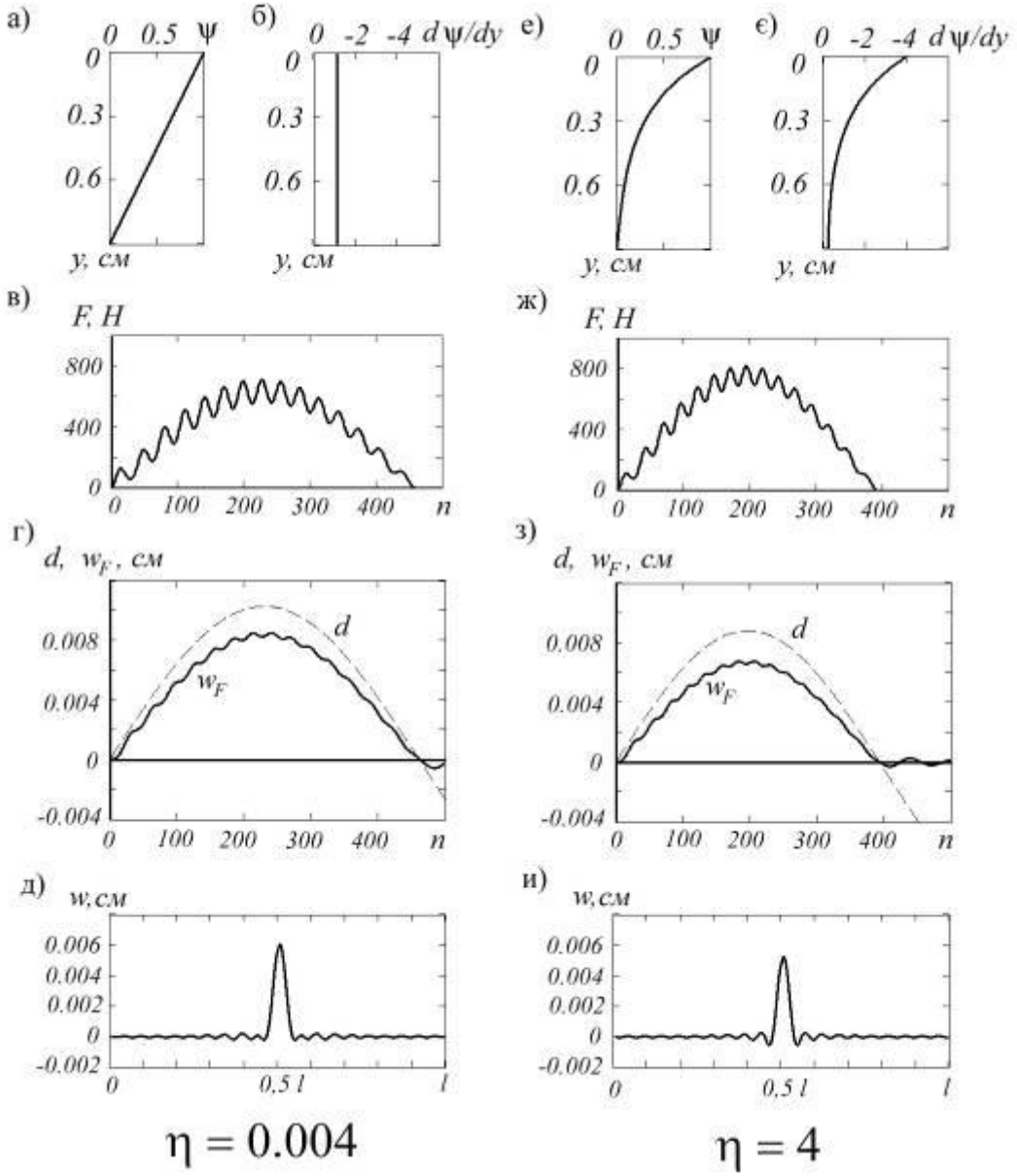


Рис. 2. Результати розрахунку

Висновки

Підтверджені висновки попередньої роботи [2]. Як і очікувалося, принципової різниці в одержаних результатах не виявлено. Якісно картина однотипна, є деяка кількісна різниця. Але це для даного конкретного випадку. Можна розглянути різні товщини основи, різні матеріали основи.

Список використаних джерел

1. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / Тимошенко С.П. – М.: Наука, 1967. – 444 с.

2. Грицюк В.Ю. Розрахунок балки на пружній основі на поперечний удар / Грицюк В.Ю. // Вісн. Чернігівського держ. техн. ун-ту. – 2010. – № 42. – С. 17-20.

3. Власов В.З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании / Власов В.З., Леонтьев Н.Н. – М.: Физматгиз, 1960. – 491 с.

РОЗДІЛ ІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.822.3

В. І. Кальченко, д-р техн. наук
І. М. Хоменко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ТЕНДЕНЦІЇ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛІВ

Наведено тенденції розвитку електромобілів, акумуляторів для них, гібридних автомобілів; перспективи використання на автомобілях водневих технологій, електрохімічних паливних елементів

1. Електромобілі.

За нинішньою уявою найбільш обіцяючими автомобілями в майбутньому слід вважати електромобілі. Вони не створюють ні шуму, ні кіптяви, більш зручні в експлуатації, але потребують вдосконалення.

За прогнозами Price Water house Coopers до 2015 року світове виробництво електромобілів зросте до 500 тис. штук на рік (таблиця 1) [1].

Таблиця 1

Плани виробників електромобілів

Компанія	Країна	Рік	Плани
Tesla Motors	США	2011	Початок продаж Model S
Phoenix Motorcars	США	2011	100000 шт. за рік
Renault	Франція	2011	Початок виробництва Renault Kangoo Express, на сайті Renault про електромобілі компанії представлено серійну модель Renault Zoe
Nissan	Японія	2012	Серійне виробництво
Detroit Electric	Китай — США	2012	Збільшення виробництва до 270 тисяч за рік
BMW	Германія	2012	Початок продажу в США
Dongfeng Nissan	Китай — Японія	2012	Початок продажу в Китаї
Ford	США	2010 2011 2012	Комерційна вантажівка Мікроавтомобіль Автомобіль С-класу
Honda	Японія	2015	Початок продажу в США
Chrysler	США	2012	Початок виробництва

Вважається, що світовим лідером у виготовленні електричного транспорту сьогодні є Китай. Так, один з підрозділів першої автомобільної китайської компанії FAW вже виготовляє і експортує пасажирські електромобілі в США та європейські країни.

Електромобіль з’явився раніше, ніж двигун внутрішнього згоряння. Перший електромобіль у вигляді візка з електромотором було створено в 1841 році [1].

Перший двомісний електромобіль І. Романова зразка 1899 року мав швидкість руху від 1,6 км/год до максимальної в 37,4 км/год.

За свідченнями «Енциклопедичного словника Брокгауза і Єфрона» [2], електромобілі були пущені в обіг Jeantaud і багатьма іншими фірмами з самого початку автомобілізму: на конкурсі 1904 р. у Парижі. У газоліново-електричному автомобілі А. Жанто і Кріжера газоліновий двигун приводив у рух динамо-машину, яка давала струм для електричного двигуна. Виявилося, що така електрична трансмісія споживає відсотків на 20 менше енергії, ніж звичайна механічна, і зручна для регулювання швидкості.

В 1910-х роках у Нью-Йоркських таксі працювало до 70 тисяч електромобілів. Значного поширення на початку століття набули і вантажні електромобілі, а також електричні омнібуси (електробуси).

Електромобіль La Jamais Contente у 1899 році встановив рекорд швидкості на суші. Він першим у світі досяг швидкості 105,882 км/год.

Відомий американський конструктор електромобілів Уолтер Бейкер отримав швидкість 130 км/год. Електромобіль фірми "Борланд Електрик" проїхав від Чикаго до Мілуокі (167 км) на одній зарядці. На наступний день, після перезарядки, електромобіль повернувся в Чикаго своїм ходом. Середня швидкість становила 55 км/год [1].

23 травня 2010 перероблена на електротягу малолітражка Daihatsu Mira EV, створена Японським клубом електромобілів, проїхала 1003 кілометри і 184 метра на одному заряді акумуляторів (http://www.licet.ru/article/a-4315.html).

24 серпня 2010 електромобіль «Venturi Jamais Contente» з літій-іонними акумуляторами на солоному озері в штаті Юта встановив рекорд швидкості 495 км/год на дистанції 1 км. Під час заїзду автомобіль розвивав максимальну швидкість 515 км/год (http://ru.wikipedia.org/wiki/ Электромобиль # cite_note).

Головним недоліком електромобілів була складна система підзарядки. Оскільки в той час не існувало вдосконалених перетворювачів змінного струму в постійний, зарядка здійснювалася складним способом. Для підзарядки використовувався електродвигун, який працював від змінного струму. Він обертав вал генератора, до якого були під'єднані батареї електромобіля.

У 1906 році було винайдено порівняно простий в експлуатації випрямляч струму, але це суттєво проблему заряджання не вирішило.

Відродження інтересу до електромобілів сталося в 1960-і роки через екологічні проблеми, пов'язані з автотранспортом, а в 1970-і роки – і через різке зростання вартості палива в результаті енергетичних криз.

Першоосновою створення електромобілів була реалізація принципу заміни механічної коробки передач на «електричну», що давно знайшло своє втілення в залізничному транспорті і на великовантажних кар'єрних самоскидах.

Основною причиною було те, що двигун внутрішнього згоряння, як джерело енергії, має оптимальні показники потужності і крутного моменту у вузькому інтервалі, зміщеному в бік високих обертів. Застосування коробки передач для запобігання вказаному недоліку ускладнює конструкцію і погіршує коефіцієнт корисної дії тягової машини.

У той же час електродвигун не вимагає трансмісії, може бути розміщений безпосередньо в колесі, забезпечує миттєвий запуск і зупинку; не потребує механізму зчеплення, оскільки для зміни частот обертання рушія транспортного засобу не потрібно мати холостий хід.

На електромобілі електроенергія від джерела енергії передається безпосередньо на електродвигуни, приводячи в рух транспортний засіб.

За методом підключення двигуна і накопичувача енергії до приводу автомобіля відомі наступні схеми:

– паралельна; двигун і накопичувач з'єднані диференціалом, який, у свою чергу, з'єднаний з приводом коліс. Використовується в автомобілях з Integrated Motor Assist (Honda). Характеризується простотою (можливе застосування разом з механічною коробкою передач) і низькою вартістю;

– послідовна; двигун з'єднаний тільки з накопичувачем, який, у свою чергу, з'єднаний з приводом коліс. У легкових автомобілях практично не використовується через низький коефіцієнт корисної дії (ККД), але близький принцип використовується в електричній трансмісії, яка застосовується у випадках, коли необхідно передати великий момент від двигуна на колеса, наприклад, у залізничному транспорті або кар'єрних самоскидах;

– послідовно-паралельна; система може працювати як послідовно, так і паралельно, залежно від режиму роботи. Реалізовано в автомобілях з Hybrid Synergy Drive (Toyota), наприклад, Toyota Prius.

За типами накопичувачі класифікують наступним чином.

Електричні:

– на основі електрохімічних акумуляторів;

– на основі інерційних накопичувачів.

Механічні:

– на основі пневматичних акумуляторів, гідроакумуляторів з пневматичним накопичувачем;

– на основі інерційних накопичувачів.

Гібридний автомобіль має два або більше двигунів, що поєднують використання декількох видів палив, проте рушійним агрегатом залишається електродвигун, всі інші джерела енергії – паливні двигуни її генерують, а акумуляторні батареї запасають і віддають електродвигуну.

Головна перевага гібридного автомобіля – зниження витрат палива і шкідливих викидів, досягається автоматичним керуванням режиму роботи системи двигунів завдяки бортовому комп'ютеру.

Першим автомобілем з гібридним приводом вважається Lohner-Porsche [1]. Автомобіль був розроблений конструктором Фердинандом Порше в 1900 - 1901 роках. У США гібридні автомобілі почав розробляти Віктор Воук у 60-ті – 70-ті роки минулого сторіччя.

Обслуговування та експлуатація електромобілів або гібридних автомобілів у кілька разів дешевше, ніж автомобілів на органічному паливі. Особливо ці переваги будуть вагомими в країнах, де вартість електроенергії істотно дешевше (наприклад, за наявності атомних, гідроелектростанцій, джерел сонячної, вітрової енергії тощо).

До основних переваг електромобілів порівняно з двигунами, що працюють на органічному паливі, відносяться:

– відсутність (суттєве зменшення – для гібридних автомобілів) забруднення оточуючого середовища;

– різке зменшення рівня шуму, що особливо важливо для великих міст;

– більш низька вартість обслуговування;

– більш високі надійність і довговічність експлуатації.

Застосування електромобілів, незважаючи на багато переваг, має ряд недоліків, серед яких:

– необхідність тривалої зарядки акумуляторів;
– велика маса акумуляторів;
– недостатня дальність пробігу автомобіля;
– відсутність зарядних станцій.

Сьогодні основним джерелом постачання електроенергії електродвигуну є літій-іонні акумуляторні батареї, які неперервно вдосконалюються науковцями і конструкторами,

але поки вони мають недостатню ємність для тривалої експлуатації і дорогі за ціною. Існуючі акумулятори забезпечують дальність пробігу автомобіля близько 150 км.

Двигун внутрішнього згоряння для гібридних автомобілів має, як правило, меншу на 30…50% потужність, порівняно зі звичайними автомобілями. Акумулятор у цьому випадку відіграє роль буфера для ДВС і ємності для рекуперативного гальмування. Привід забезпечує перехід енергії як від акумулятора до коліс (режим розгону і руху автомобіля), так і повернення енергії від коліс до акумулятора в режимі рекуперативного гальмування.

Електромобіль повинен мати своє джерело енергії – акумуляторну батарею, яка поки що занадто важка і дорога. До того ж запас енергії сучасної акумуляторної батареї недостатній для поїздки автомобіля на значну відстань, а підзарядка акумуляторів або їх заміна іншими можлива лише при їзді в містах або від однієї, спеціально облаштованої, станції до іншої.

Більш легкі акумулятори не набули поширення, оскільки ще потребують вдосконалення.

Ведуться роботи над створенням акумуляторних батарей з малим часом зарядки (близько 15 хвилин), у тому числі і з застосуванням наноматеріалів.

На початку 2005 року компанія Altairnano оголосила про створення інноваційного матеріалу для електродів акумуляторів. У березні 2006 року Altairnano і Boshart Engineering уклали угоду про спільне створення електромобіля. У травні 2006 року успішно завершилися випробування автомобільних акумуляторів з електродами літій-титанового сплаву Li4Ti5O12. Акумулятори мають час зарядки 10…15 хвилин (http://www.boshartengineering.com/).

Розглядається також можливість використання в якості джерел струму не акумуляторів, а іоністорів (суперконденсаторів), що мають дуже малий час зарядки, високу енергоефективність (більше 95%) і набагато більший ресурс циклів зарядка-розрядка (до кількох сотень тисяч). Дослідні зразки іоністорів мають питому енергоємність 32 Вт*год/кг, порівнянну з такою для свинцево-кислотних акумуляторів (30…40 Вт*год/кг) [3].

Розробляються електричні автобуси на повітряно-цинкових (Zinc-air) акумуляторах (http://www.electric-fuel.com/ev/index.html).

У серпні 2006 року в Японії затверджено план розвитку щодо вдосконалення електромобілів, гібридних автомобілів і акумуляторів для них, яким передбачено почати в Японії масове виробництво двомісних електромобілів з дальністю пробігу 80 км на одній зарядці, а також збільшення виробництва гібридних автомобілів.

Toyota працює над створенням нового покоління гібридних автомобілів Prius (повний гібрид, plug-in гібрид, PHEV).

В одній із версій водій за бажанням може включати режим електромобіля і проїхати на акумуляторах приблизно 15 км. Подібні ж моделі розробляє Ford – модель Mercury Mariner – пробіг у режимі електромобіля 40 км, і Citroën – модель C-Metisse – пробіг у режимі електромобіля 30 км та інші.

General Motors в січні 2007 року представив автомобіль Chevrolet Volt, здатний проїжджати в режимі електромобіля 65 км.

2. Впровадження водневих технологій.

В даний час різноманітними видами транспорту викидається 23% парникових газів в атмосферу Землі (http://ru.wikipedia.org). В атмосферу викидаються: вуглекислий газ, оксиди азоту й сірки та інші шкідливі сполуки. За оцінками експертів, через двадцять років їх кількість подвоїться і буде зростати в міру того, як у країнах, що розвиваються, буде збільшуватися кількість особистих автомобілів. У зв’язку з цим ряд зарубіжних фірм проявляють інтерес до використання в якості палива водню.

Іншою причиною підвищення інтересу до водневого транспорту є зростання цін на енергоносії, дефіцит палива, прагнення різних країн досягти енергетичної незалежності.

Водень принципово може використовуватися як паливо у звичайному двигуні внутрішнього згоряння. У цьому випадку знижується потужність двигуна до 82% ... 65% в порівнянні з бензиновим. Якщо внести невеликі зміни в систему запалювання, потужність двигуна збільшується до 117% в порівнянні з бензиновим аналогом, але тоді значно збільшаться викиди оксидів азоту через те, що при вищій температурі в камері згоряння зростає ймовірність підгоряння клапанів і поршнів при тривалій роботі на великій потужності. Крім того, водень при температурах і тиску, які створюються в двигуні, здатний вступати в реакцію з матеріалами двигуна і мастилом, приводячи до більш швидкого зношування деталей.

Звичайний двигун для роботи на водні не підходить, тому що водень легко запалюється від високої температури випускного колектора. Як правило, для роботи на водні використовується роторний двигун, тому що в ньому випускний колектор значно віддалений від впускного.

Широке впровадження водневого палива стримується більш високою ціною водню в порівнянні зі звичайними паливами, відсутністю необхідної інфраструктури. Проміжним рішенням можуть стати суміші традиційних палив з воднем. Наприклад, HCNG – суміш водню з природним газом.

Створюються установки, що виробляють водень з дистильованої води на борту транспортного засобу. Водень також додається до дизельного палива. Такі установки впроваджуються на великих вантажівках і гірській техніці. Це дозволяє скоротити витрату палива, збільшити потужність двигуна, скоротити викиди в атмосферу.

Водневі паливні елементи можуть виробляти електричну енергію для електродвигуна на борту транспортного засобу, замінивши тим самим двигун внутрішнього згоряння, або застосовуватися для бортового живлення.

Водень як альтернативне паливо для генератора в гібридній машині, досить небезпечний і не дуже зручний у використанні. Тому що потрібно або підтримувати в баку тиск в 700 Бар, або остуджувати водень до –260 ^{0}С.

Німецький професор хімії Вольфганг Арльт пропонує спосіб зробити водень зручним і безпечним. Він винайшов "рідкий водень", яким можна буде заправляти автомобіль як бензином сьогодні. Розвиток не зупинити, переконаний Вольфганг Арльт: "Електромобілі будуть заправлятися рідким воднем".

Основою нової речовини є вуглеводневий склад, названий N-етілкарбазол (N-ethylcarbazole), який здатний зберігати і виділяти водень. Речовина за своїми властивостями схожа на дизельне паливо: в’язка, має таку ж вагу, запах. Однак вказана речовина потребує збагачення.

У двигуні автомобіля під час руху спеціальний каталізатор видаляє водень із цієї речовини, а сама рідина знову йде в паливний елемент. "Цей каталізатор приблизно розміром з взуттєву коробку", – говорить Арльт. Відпрацьований карбазол можна буде збирати на тих же АЗС для подальшого збагачення.

Фактори, що стримують впровадження водневих технологій:

– більш висока собівартість, ніж у традиційних джерел; при цьому, наприклад, автомобіль Mazda RX-8 витрачає в середньому 38,5 кубометрів водню [7] або 11,4 літрів бензину [8] на 100 км шляху при зниженні потужності двигуна з 192 кінських сил (к.с.) на бензині до 109 к.с. на водні [7]);

– відсутність водневої інфраструктури;

– недосконалі технології зберігання водню;

– відсутність стандартів безпеки, зберігання, транспортування, застосування тощо;

– безпечне зберігання водню вимагає більшого обсягу паливних баків, ніж для бензину. Тому в розроблених на сьогоднішній день автомобілях заміна палива на водень призводить до значного зменшення обсягу багажника.

У майбутньому ця проблема буде подолана, але швидше за все за рахунок деякого підвищення габаритів транспорту.

Після катастрофи дирижабля Гінденбурга водень вважається небезпечним паливом.

Бензин на початку свого застосування так само був небезпечним паливом. Бензинові двигуни ставали причиною частих аварій та пожеж. При пробої паливного баку бензин розливається калюжею по поверхні, тоді як водень випаровується у вигляді спрямованого струменя.

Під час Першої світової війни накопичено великий досвід застосування водню в дирижаблях. Наприклад, Zeppelin - ZIV під час одного з бойових польотів піддався інтенсивному обстрілу з землі, і отримав близько 300 пробоїн. Дирижабль благополучно повернувся на базу. Zeppelin L33 в ніч з 23 на 24 вересня 1916 року був обстріляний зенітною артилерією. Один із снарядів вибухнув усередині газового мішка з воднем. Дирижабль отримав значні пошкодження, але водень не вибухнув [6].

Водневий бак BMW Hydrogen 7 пройшов всі необхідні тести на безпеку. В ході випробувань водневий бак руйнували під високим тиском, нагрівали на відкритому вогні до температури 1000° Цельсія протягом 70 хвилин, деформували твердими і важкими предметами. Водень, що знаходився в баку, не вибухав.

3. Недоліки водневого транспорту.

Суміш водню з повітрям – вибухова речовина. Водень більш небезпечний, ніж бензин, тому що горить у суміші з повітрям у більш широкому діапазоні концентрацій. Бензин не горить при коефіцієнті надлишку повітря менше 0,5 і більше 2, водень при таких співвідношеннях горить прекрасно. Але водень, що зберігається в баках при високому тиску, у випадку пробиття бака дуже швидко випаровується. Для транспорту розробляються спеціальні безпечні системи зберігання водню – баки з декількома стінками, зі спеціальних матеріалів і т. п.

Воднева силова установка значно складніше і дорожче в обслуговуванні, ніж звичайний ДВЗ. За даними Массачусетського технологічного інституту, експлуатація водневого автомобіля на даному етапі розвитку водневих технологій обходиться в сотню разів дорожче, ніж бензинового. Можливо в майбутньому вартість експлуатації зменшиться.

Поки немає достатнього досвіду експлуатації водневого транспорту.

Немає можливості швидкої дозаправки у дорозі з каністри або від іншого автомобіля. Для заправки воднем потрібно побудувати мережу заправних станцій. Для заправних станцій, що заправляють автомобілі рідким воднем, вартість устаткування більше, ніж для бензинових заправних станцій.

Ціна водню приблизно 8 євро за літр (90 грн) [9].

Летючість водню найвища серед газів, таким чином, водень важко зберегти в рідкому вигляді, це ускладнює зберігання водню, транспортування і використання, оскільки паливо випаровується з баку повністю за короткий термін (за дев'ять днів випаровується півбаку палива BMW Hydrogen [9]).

На даний момент водень виробляється або шляхом витрати значної кількості електроенергії, або з вуглеводнів. У першому випадку використовується та ж електроенергія, яка виробляється на теплових, атомних та інших електростанціях (альтернативними джерелами виробляється досить невелика кількість енергії [1]), і її не вистачить на розвиток транспорту. У другому випадку маємо використовувати ті ж види палива для виділення CO_2, а також потрібно очищувати водень від сполук сірки та інших домішок,

які в разі застосування паливних елементів значно скорочують термін їх служби. Експерти вважають, що природний газ буде набагато більш перспективним і екологічним.

4. Паливні елементи.

Паливний елемент – електрохімічний пристрій, подібний до гідравлічного елементу, але відрізняється від нього тим, що речовини для електрохімічної реакції подаються в нього ззовні [1] на відміну від обмеженої кількості енергії, що накопичується в гальванічному елементі або акумуляторі.

Паливні елементи здійснюють пряме перетворення енергії палива в електрику, минаючи малоефективні, що відбуваються з великими втратами, процеси горіння. Тобто, це електрохімічний пристрій, який у результаті високоефективного «холодного» горіння палива безпосередньо виробляє електроенергію.

Слід зазначити, що ідеальним паливним елементом, відомим науці, є мітохондрія (двомембранна гранульована або ниткоподібна органела товщиною біля 0,5 мкм).

Мітохондрія окисляє пальне (вуглеводи, білки, жири) до вуглекислого газу і води, виробляючи електроенергію за рахунок різниці потенціалів на своїх мембранах. Створення штучної мітохондрії, що окислює цукор або целюлозу, – найважливіше інженерне завдання.

Основна перевага впровадження паливних елементів у транспортні засоби – високий ККД. Наприклад, паровоз за 150 років своєї еволюції зміг досягти 5% ККД. ККД сучасного автомобільного двигуна внутрішнього згоряння досягає 35%, а ККД водневого паливного елемента – 45% і більше. Під час випробувань автобуса на водневих паливних елементах канадської компанії Ballard Power Systems був продемонстрований ККД 57%. ККД класичного свинцевого акумулятора 70…90%. Основний чинник, що стримує масове виробництво електромобілів – малий попит, обумовлений високою вартістю та малим пробігом від однієї зарядки [10]. Свинцево-кислотні акумулятори володіють низькою ємністю і великою масою. Більш перспективні нікель-метал-гідридні акумулятори, але їх масове виробництво стримується високою ціною на нікель.

Масове виробництво нікель-метал-гідридних акумуляторів для електромобілів і гібридних автомобілів викличе ще більше зростання цін на нікель, і електромобілі стануть неконкурентоспроможними за ціною.

Найбільш перспективними є літій-іонні акумулятори, але виробництво літію обмежене. В 2004 році світове виробництво літію склало всього $254 \cdot 10^3$ метричних тонн. За оцінками компанії Mitsubishi, світова промисловість до 2015 року зіткнеться з дефіцитом літію [11]. Переведення всього транспорту на літій-іонні акумулятори проблематичне: літію виробляється дуже мало. На електромобілі може бути переведена тільки невелика частина транспорту.

Також зараз розглядаються перспективи застосування на гібридних і електричних автомобілях суперконденсаторів.

На автомобілях і автобусах встановлюють, як правило, паливні елементи на протонобмінній мембрані. Їх основні переваги: компактність, мала вага, низька температура процесу.

У 2002 році Департамент Енергетики США поставив мету – знизити найближчим часом вартість паливних елементів до $ 45 за 1 кВт установленої потужності і до $ 30 у 2015 році (без врахування інфляції). Це означає, що джерело електрики для силової установки потужністю 100 кВт (134 к.с.) коштуватиме $ 3000, що можна порівняти з вартістю двигуна внутрішнього згоряння [12].

Удосконалення паливних елементів триває. Вони стають легше, компактніше, дешевше. Тепер можуть запускатися при температурі –30 °С.

Автомобілі з силовими установками на водневих паливних елементах виробляють і вдосконалюють:

– Ford Motor Company - Focus FCV;
– Honda - Honda FCX;
– Hyundai - Tucson FCEV (паливні елементи компанії UTC Power);
– Nissan - X-TRAIL FCV (паливні елементи компанії UTC Power);
– Toyota - Toyota Highlander FCHV;
– Volkswagen - space up;
– General Motors;
– Daimler AG - Mercedes-Benz A-Class;
– Daimler AG - Mercedes-Benz Citaro (паливні елементи компанії Ballard Power Systems);
– Toyota - FCHV-BUS;
– Thor Industries - (паливні елементи компанії UTC Power);
– Irisbus - (паливні елементи компанії UTC Power);
– інші поодинокі екземпляри в Бразилії, Китаї, Чехії та ін.

З 2003 року по 2006 рік 36 автобусів за програмою Clean Urban Transport for Europe, використовуючи паливні елементи, проїхали понад 2 млн. км і перевезли 6 млн пасажирів.

5. Економічність паливних елементів.

Opel Zafira з силовою установкою на водневих паливних елементах потужністю 94 кВт в умовах Вашингтону споживає 1.83 кг водню на пробіг 100 миль (160 км), тобто 4,3 літри бензинового еквіваленту. Водень на заправній станції Вашингтону продавався за ціною $ 4,75 за кг (дані на 2005 рік) [4]. Бензиновий аналог Opel Zafira з двигуном об'ємом 1,6 л потужністю 85 кВт споживає 5,8 л бензину на 100 км в умовах траси.

National Renewable Energy Laboratory (США) у своїх розрахунках використовує середню дальність пробігу легкового автомобіля 12000 миль на рік (19 200 км).

Споживання водню – 1кг на пробіг 60 миль (96 км). Тобто, для одного легкового автомобіля на водневих паливних елементах на рік потрібно 200 кг водню, або 0,55 кг на день. Один кілограм водню вважають рівним з енергетичної цінності одному галону бензину (3,78 л) [5].

Висновки

1. Надмірне забруднення оточуючого середовища, зростання вартості і вичерпаність у недалекому майбутньому ресурсів органічного палива обумовлюють необхідність створення нових видів транспорту, здатних використовувати альтернативні джерела енергії.

2. Найбільш приваблює заміна двигунів внутрішнього згоряння електромобілями, які можуть працювати, споживаючи електроенергію від акумуляторів. Впровадження електромобілів стримується відсутністю і проблемами створення достатньо ємних, недорогих і порівняно легких акумуляторів.

3. На даному етапі створення акумуляторів перспективними є акумулятори з літій-іонними елементами, але обмежена кількість видобутку літію в світі, постійне зростання ціни на нього вказують на те, що на електромобілі у найближчій перспективі може бути переведена тільки невелика частина автомобілів.

4. Альтернативою на даному етапі є створення так званих гібридних автомобілів, які поєднують двигуни внутрішнього згоряння з обмеженою потужністю і терміном використання під час поїздки автомобіля і акумуляторів як накопичувачів і джерела електроенергії для приводу коліс автомобіля.

5. Новим видом енергоресурсу слід вважати паливні елементи – електрохімічні пристрої, здатні продукувати енергію завдяки електрохімічній реакції при неперервному постачанні сировини ззовні, чим вони відрізняються від гальванічних елементів і аку-

муляторів, що потребують частих зарядок або перезарядок. На сьогодні паливні елементи вважаються досить перспективними, але ще не набули широкого промислового використання.

6. Проводяться наукові дослідження по впровадженню водневих технологій з метою їх використання як у двигунах внутрішнього згоряння, так і в паливних елементах, але їх промислове використання – справа майбутнього.

Список використаних джерел

1. http://ru.wikipedia.org/wiki/ 8C.
2. Энциклопедический словарь: в 86 т.: Репр. воспр. изд. «Энциклопедический словарь Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона». — СПб.: Фирма «ПОЛРАДИС», АООТ «Иван Фёдоров», 1993-1998. – ISBN 5-900741-01-X.
3. Конищева Т. Российская Бизнес-газета №498 от 1 марта 2005 г. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: WWW.GASBUDDY.COM .
4. Bush Visits Gas Station that Sells Hydrogen Fuel for Cars//Deb Riechmann, Associated Press. May 26, 2005.
5. http://ru.wikipedia.org/wiki/_note-14.
6. Арие М. Я. Дирижабли / Арие М. Я. – К.: Наукова думка, 1986. – С. 186.
7. http://www.autoreview.ru/archive/2006/17/mazda_rx8_hydrogen/.
8. http://www.test-drive.ru/mazda/rx8/1294.
9. http://www.companion.ua/Articles/Content/?Id=17937&Callback=72.
10. http://connectiontime.ru/settings/index.php?&dir1=hardware&dir2=oliver-wyman-elektromobili-i-cherez-15-let.
11. http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/7707847.stm.
12. http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/8019_fuel_cell_system_cost.pdf.

УДК 621.923

В.И. Венжега, канд. техн. наук

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПРУЖИНЫ

Представлен анализ и классификация отказов, возникающих в узлах автотранспортных средств по вине пружин, и предложен метод окончательной обработки пружин шлифованием, обеспечивающий высокую точность и производительность без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя.

Вступление

Работоспособность и стабильные эксплутационные характеристики автомобилей во многом лимитируются ресурсом работы пружин. Наиболее характерно это проявляется в топливной аппаратуре, газораспределительных механизмах, подвесках автомобилей, а также других механизмах. Поэтому одним из основных путей решения проблемы повышения надежности и долговечности является применение таких технологических методов обработки, которые обеспечивают высокие эксплутационные свойства ответственных пружин.

Практика показывает, что во многих случаях пружины, изготовленные по принятой технологии и из качественной проволоки, выдержавшей установленные испытания, в условиях эксплуатации преждевременно теряют упругие свойства или быстро разрушаются, особенно пружины, работающие в динамических условиях. Это свидетельствует о наличии недостатков в технологиях производства пружин и о необходимости разработки способов повышения их несущей способности и постоянства упругих свойств во времени. Существенное влияние на усталостную прочность пружин оказывает качество поверхностного слоя проволоки. Поломки пружин вследствие усталости или потеря рабочих характеристик из-за релаксации напряжений приводят к выходу из строя узлов или всей машины в целом.

Большое влияние на формирование качества поверхностного слоя детали и, в связи с этим, на их эксплуатационные свойства оказывает технология производства, а в особенности операции окончательной обработки.

Анализ исследований и публикаций

Разрушение пружины от усталости происходит вследствие многократного изменения напряжений и связано с местными пластическими деформациями в отдельных слабых микрообъемах (зернах). При высоких напряжениях и большом числе их повторений на поверхности пружины возникает трещина, распространяющаяся по сечению витка и приводящая к поломке пружин. Создание вблизи поверхности остаточных сжимающих напряжений позволяет увеличивать предельные амплитуды напряжений в поверхностном слое пружины без риска ее преждевременного разрушения. Изменяя остаточные напряжения сжатия и глубину упрочнения, можно получить различное распределение пределов выносливости с повышением их вблизи поверхности. Большое влияние на прочность пружин в целом оказывает качество внутреннего слоя (сердцевины), поэтому наряду с упрочнением поверхностного слоя необходимо стремиться к высоким прочностным свойствам исходного материала; он должен быть правильно выбран и правильно термически обработан [1].

Ю.И. Иванов и Н.В. Носов, на основе результатов обработки экспериментальных данных [2], предложили эмпирическую зависимость предела выносливости от параметров качества поверхностного слоя:

$$\sigma_{-1} = \sigma(1+\varepsilon_1) - \varepsilon_2 R_a - \varepsilon_3 \sigma_1, \qquad (1)$$

где ε_1, ε_2, ε_3 – коэффициенты, учитывающие наклеп, шероховатость и остаточные напряжения в поверхностном слое.

Из формулы видно, что можно повысить предел выносливости детали. Если после окончательной механической обработки в поверхностных слоях формируются остаточные напряжения сжатия, то последний член в формуле имеет знак плюс и, следовательно, σ_{-1} будет повышаться. Кроме этого, σ_{-1} зависит также от глубины поверхностного упрочнения, если ε_1 положительный, это увеличивает предел выносливости. Снижение шероховатости R_a всегда будет сопровождаться увеличением предела выносливости деталей.

Некоторые ученые [3] в качестве метода окончательной обработки пружин предлагают ленточное шлифование с вращением ленты вокруг детали. Устройство разработано на основе схемы одностороннего шлифования свободной ветвью абразивной ленты с вращением ленты вокруг детали. Основным недостатком предложенного метода является низкая производительность обработки.

Постановка задания

Целью работы является анализ и классификация отказов, возникающих в узлах автотранспортных средств по вине пружин, и разработка метода окончательной обработки пружин шлифованием, обеспечивающего высокую точность и производительность без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя.

Изложение основного материала статьи

Большинство автомобильных пружин можно классифицировать по следующим признакам.

1. По характеру работы: пружины сжатия или растяжения с кольцами и без них.
2. По форме пружины: преимущественно цилиндрические.
3. По направлению навивки: преимущественно правые.
4. По характеру приложения нагрузок:

- работающие при динамической нагрузке, для которых характерно большое число циклов нагружения – клапанные пружины газораспределительного механизма, пружина бензонасоса;
- работающие при динамической нагрузке – пружины форсунок дизельных двигателей, пружины стартера, пружины подвески, пружины ограничителя максимальной частоты вращения коленчатого вала, пружины центробежного или вакуумного регуляторов опережения зажигания, пружины перепускного клапана амортизатора;
- работающие при статическом приложении нагрузки – пружины устройства натяжения ремня или цепи привода распределительного вала двигателя; пружины муфты выключения, нажимные периферийные пружины нажимного диска сцепления; пружины вилки выключения сцепления; пружины дисков и барабанов тормозной системы.

5. По размерам: мелкие, средние и крупные.

Анализ основных неисправностей автомобилей позволяет сделать соответствующие выводы: основная неисправность – потеря упругости или поломка цилиндрических витых пружин, которая характерна для упругих элементов, испытывающих переменные нагрузки, а ремонт неисправностей сводится к подкладыванию шайб (при осадке пружин сжатия) и заменой новой пружиной, соответствующей техническим условиям.

Рассмотрим подробнее отказы, возникающие в узлах автотранспортных средств по вине пружин [1; 2; 3].

I. Газораспределительный механизм.

1. Неисправность: снижение мощности двигателя. Причина: негерметичность клапанов – влияет не только на снижение компрессии, но и на весь процесс образования и сгорания рабочей смеси. Происходит при ослаблении или поломке пружин клапанов.

2. Неисправность: биение ремня или цепи привода газораспределительного механизма. Причина: уменьшение упругости пружины устройства натяжения ремня или цепи привода распределительного вала двигателя.

II. Топливная система карбюраторных двигателей.

1. Неисправность: снижение давления подаваемого к карбюратору топлива, что приводит к снижению уровня топлива в поплавковой камере. Причина: уменьшение упругости рабочей пружины бензонасоса.

2. Неправильная работа ограничителя максимальной частоты вращения коленчатого вала. Причина: потеря упругости пружины.

III. Топливная система дизелей.

1. Неисправность: неудовлетворительная работа форсунок – имеется в виду как качество впрыска (давление впрыска), так и соответствия момента впрыска оптимальному варианту. При этом впрыск топлива будет происходить чуть раньше. Причина: снижение упругости рабочей пружины форсунки.

IV. Стартер.

1. Неисправность: стартер выключается, но шестерни не входят в зацепление – при этом прослушивается скрежет шестерен. Причина: ослабление буферной пружины.

V. Система зажигания.

1. Неисправность: отказ прерывателя-распределителя: неправильная работа зажигания. Причина: ослабление жесткости пружины центробежного или вакуумного регуляторов опережения зажигания.

VI. Сцепление.

1. Неисправность: неполное включение сцепления. Причина: поломка или ослабление пружины муфты выключения или нажимных периферийных пружин нажимного диска.

2. Неисправность: повышенный шум при включении сцепления. Причина: возникает при соскакивании, потере упругости или поломке пружины вилки выключения сцепления.

VII. Коробка перемены передач.

1. Неисправность: самопроизвольное выключение передач. Причина: происходит при ослаблении пружин фиксаторов или засорении гнёзд пружин.

VIII. Ходовая часть.

1. Неисправность: уводы автомобиля от прямолинейного движения. Причина: неодинаковая упругость пружин подвески.

2. Неисправность: крен кузова автомобиля. Причина: неравномерная осадка пружин подвесок.

3. Неисправность: неудовлетворительная работа амортизаторов. Причина: чрезмерная осадка пружины перепускного клапана амортизатора.

IX. Рулевое управление.

1. Неисправность: масляный насос не развивает необходимой подачи и достаточного давления в системе гидроусилителя. Причина: нарушение работы предохранительного клапана (при загрязнении, поломке пружины).

X. Тормозная система.

1. Неисправность: сильный нагрев дисков; неполное растормаживание колес. Причина: обрыв или ослабление ограничительной пружины (сжатия).

2. Неисправность: сильный нагрев тормозных барабанов; неполное растормаживание колес; скрип или вибрация тормозных механизмов колес. Причина: обрыв или ослабление стяжных пружин колодок.

Формирование качества поверхностного слоя деталей в основном осуществляется на заключительных операциях технологического процесса их получения.

Процессы шлифования характеризуются высокой теплонапряженностью процесса и большими удельными давлениями в зоне резания. Значительные изменения температуры и давления в зоне резания, в свою очередь, вызывают изменение структуры, фазового состояния и, на их основе, изменение физико-механических свойств поверхностных слоев металла. Наклеп, структурные и фазовые превращения формируют в поверхностных слоях деталей остаточные напряжения. Численное значение и знак напряжений зависят от значения и знака исходных остаточных напряжений, полученных деталью на предшествующих операциях, а также от степени силового и теплового воздействия текущей операции.

Окончательную обработку пружин предлагается производить на двусторонних торцешлифовальных станках с горизонтальной компоновкой шпиндельных узлов, за один проход, одновременно с двух сторон, применяя специально профилированные абразивные круги. Станки, как правило, состоят из литой чугунной станины, на которой крепятся две шлифовальные бабки с независимыми электроприводами, механизма подачи изделий в зону обработки и механизма правки шлифовальных кругов. Кроме этих узлов, имеются вспомогательные приборы и устройства: устройство поворота шлифовальных бабок в вертикальной и горизонтальной плоскостях, система подачи СОЖ, устройство компенсации износа шлифовального круга и другие.

Для повышения эффективности шлифования, снижения теплового воздействия, необходима профильная правка круга. Наиболее рациональным является предлагаемый комбинированный способ правки, представленный на рисунке 1.

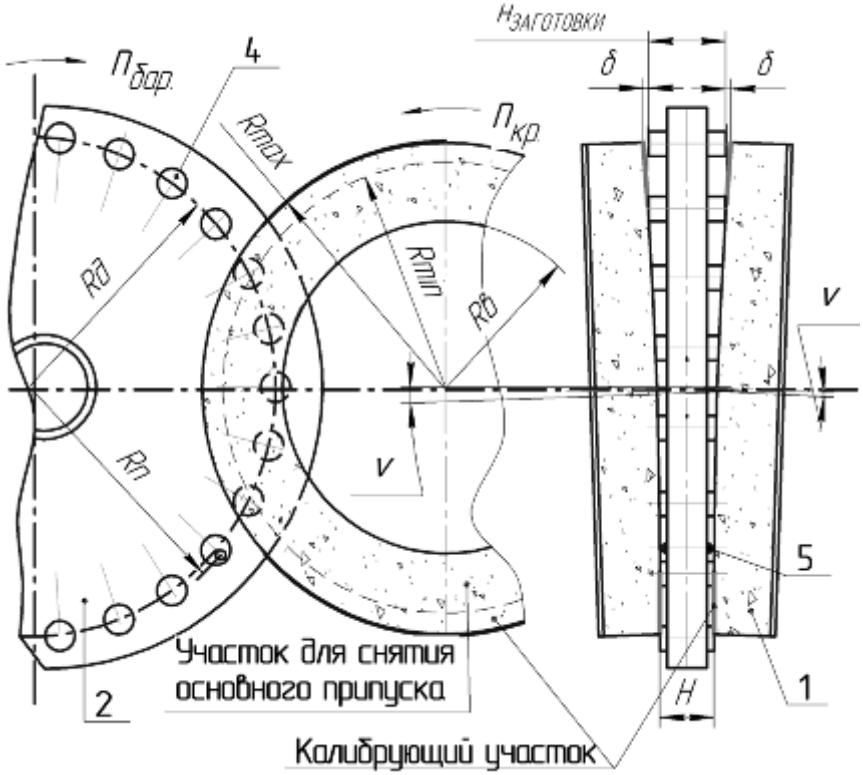


Рис. 1. Комбинированный способ правки

Круги 1 ориентируют в горизонтальной плоскости на угол γ и в вертикальной – на угол v с целью снятия припуска за один проход. Вначале вся торцевая поверхность круга правится в плоскости, перпендикулярной оси вращения круга. После этого, алмазными

карандашами 5, закрепленными на барабане подачи 2, правят участки, прилегающие к наружным диаметрам кругов. При этом величина радиуса правки R_n, по которому перемещается вершина алмазного карандаша при правке, выбирается в зависимости от формы обрабатываемой детали 4 и ее ориентации в процессе шлифования.

В рабочем цикле шлифования комбинированная правка дает возможность распределить снимаемый припуск δ между черновым и чистовым участками, увеличить рабочую длину L дуги контакта деталей с кругом, что повышает производительность обработки, снизить температуру в зоне обработки. Высокая точность формы торца детали обеспечивается на формообразующем участке 3, прилегающем к наружному диаметру круга, при выходе из зоны обработки. При этом формообразующий участок 1 не принимает участие в съеме припуска при входе в зону шлифования и имеет высокую стойкость.

Действительные значения отклонений от плоскостности и перпендикулярности, замеренные прибором „TALYROUND”, при обработке цилиндрических пружин демпферов муфты сцепления автомобилей «ГАЗ-53» (окончательный размер $Ø\,26^{=0,35}_{-0,15}$ мм) на двустороннем торцешлифовальном станке 3342АДО кругами I-450×305×63-25А40СТ1Б8 с длиной калибрующего участка 20мм, соотношением углов ориентации $\gamma = 1{,}57 \cdot \nu$, вращением заготовок, приведены на осциллограмме (рисунок 2).

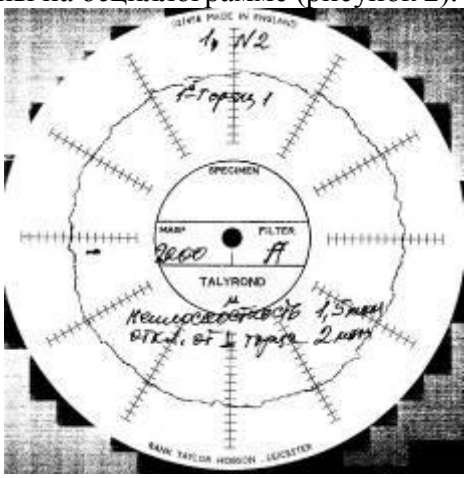


Рис. 2. Осциллограмма отклонения от перпендикулярности и плоскостности торцевой поверхности

Для определения температуры на торцах заготовки была использована искусственная термопара хромель-капель. Спай термопар фиксировался на торцах заготовки. На рисунке 3 приведены осциллограммы изменения температуры по координате обработки.

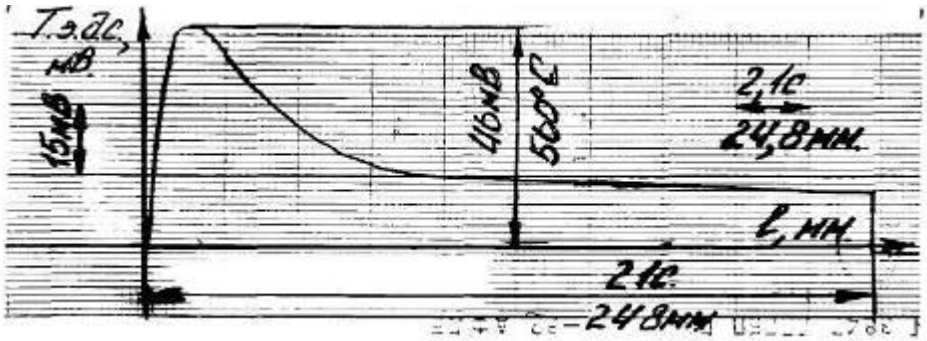


Рис. 3. Осциллограммы температуры по координате обработки

Из проведенных исследований следует, что при шлифовании предложенным методом температура на калибрующем участке не превышает критических точек и в металле не происходят структурные и фазовые изменения.

Выводы

В работе представлен анализ и классификация отказов, возникающих в узлах автотранспортных средств по вине пружин, и предложен метод окончательной обработки пружин шлифованием, обеспечивающий высокую точность и производительность без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя, что способствует повышению надежности работы механизмов автомобиля, содержащих пружины

Список использованных источников

1. Остроумов В.П. Производство винтовых цилиндрических пружин / Остроумов В.П. – М.: Машиностроение, 1970. − 169с.

2. Иванов Ю.И. Эффективность и качество обработки инструментами на гибкой основе / Иванов Ю.И., Носов Н.В. – М.: Машиностроение, 1985. – 88с.: ил.

3. Шиляев С.А. Технологические методы повышения качества пружин, применяемых в автотранспорте / Шиляев С.А., Аллаяров С.Р., Меджитов Т.Р. // Сборник научных трудов Ижевского государственного технического университета. – 2010. – №43. – С. 75-83.

4. Кальченко В.В. Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців циліндричних деталей орієнтованими абразивними кругами: дис. … канд. техн. наук: 05.03.01 / Кальченко В.В. – Харків, 1998. − 203с.

5. Венжега В.І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Венжега В.І. – Харків, 2009.− 214с.

УДК 658.286

Г.В. Пасов, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ЗАВОДУ ТА ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ

Розглянуто історію розвитку першого вітчизняного заводу з випуску вантажних автомобілів - Кременчуцького автомобільного заводу. Описано основні моделі, які випускало це підприємство, та перспективи його подальшого розвитку.

Вступ

Автомобілебудівна галузь відноситься до машинобудівного комплексу. Машинобудування на території сучасної України виникло ще в середині XIX ст. Наявність металу, вигідне транспортно-географічне розташування, зокрема, вихід до узбережжя Чорного та Азовського морів, висока концентрація сільськогосподарського виробництва сприяли розвитку тут важкого, транспортного і сільськогосподарського машинобудування [1].

У переважній більшості розвинутих країн світу провідне місце в структурі транспортного машинобудування займає автомобілебудування. Україна має досить сприятливі передумови для розвитку автомобілебудування: достатнє виробництво металу, розвинута хімічна промисловість, науково-дослідна база і достатня чисельність кваліфікованих кадрів і, що дуже важливо, великий ринок збуту продукції.

В автомобілебудуванні нашої країни склалася чітка спеціалізація підприємств на випуск окремих типів машин. Виникнувши в силу особливостей свого розміщення в промислово розвинутих районах України, де були найбільш сприятливі умови для організації внутрішньої і міжгалузевої кооперації, автомобілебудування зараз почало розвиватися і в нових економічних районах [2-4].

Як відомо, в колишньому Радянському Союзі виробництво автотранспортних засобів розміщувалося нерівномірно (велика частина автозаводів і заводів по випуску комплектуючих виробів знаходилась в Росії). Проте майже кожна колишня республіка СРСР мала (і зберегла) монопольне виробництво якого-небудь виробу. Україна є виробником середніх міських, усіх видів туристичних та міжміських автобусів, великовантажних лісовозів, трубовозів і багатоцільових автомобілів, автонавантажувачів вантажопідйомністю 5 т і вище, а також легкових малолітражних автомобілів першої групи (типу “Таврія”) [5, 6].

Оскільки українське автомобілебудування значною мірою залежало від постачання комплектуючих з країн СНД, що склалося ще за часів існування Союзу, то економічна самостійність зруйнувала майже всі економічні зв’язки, що привело до занепаду галузі. Так, у порівнянні з 1990 роком, випуск продукції в 1999 році скоротився майже на 87%.

Автомобілебудування – це одна з галузей машинобудування, що належить до галузей “вільного розміщення”, на які менше ніж на інші галузі впливають чинники розміщення.

Спеціалізація зумовлює розширення кооперації виробництва. Автомобільні підприємства кооперуються з іншими галузями промисловості – хімічною, металургійною, електротехнічною, текстильною та ін. Великі межі концентрації виробництва на основі спеціалізації та кооперації зумовлюють значимість транспортного чинника.

Мета статті

Основна мета статті – розглянути історію та перспективи розвитку Кременчуцького автомобільного заводу.

Виклад основного матеріалу

Історія КрАЗу почалася ще в тридцяті роки минулого століття, коли на Україні, у Полтавській області, у місті Кременчук почалося будівництво авіаційного заводу. Але з

початком Великої Вітчизняної війни будівництво заводу було заморожено, а побудовані заводські корпуси були зруйновані бомбардуваннями й артилерійськими обстрілами.

31 серпня 1945 року Наркомат Шляхів Сполучення видав наказ про будівництво в Кременчуці заводу мостових конструкцій. Адже країні було потрібно відновлювати зруйновану інфраструктуру автомобільних і залізничних перевезень. Уже до 1948 року завод був повністю перепрофільований і розпочав виробництво мостових конструкцій. Усього за вісім років роботи завод випустив більше 600 мостових конструкцій.

Поступово, з ходом успішної відбудови народного господарства необхідність у виробництві такої кількості мостів відпала й у 1956 році Кременчуцький завод був переведений у ведення Міністерства тракторного й сільськогосподарського машинобудування й перейменований у Кременчуцький комбайновий завод. І на поприще виробництва комбайнів і сільськогосподарської техніки завод також показав себе з гарного боку. Завод випускав цю техніку з 1956 по травень 1958 року, і за цей невеликий проміжок часу було випущено більше 11 тисяч одиниць сільськогосподарської техніки.

Саме з травня 1958 року починається історія КрАЗу як автомобільного заводу. У травні 1958 року була прийнята постанова ЦК КПРС і СМ СРСР про створення в Кременчуці заводу великовантажних автомобілів і завод був переведений на випуск важких автомобілів. Головне устаткування було перевезено з ярославського автомобільного заводу (ЯАЗ), а за ярославським заводом залишили лише виробництво силових агрегатів та перейменували його в Ярославський моторний завод (ЯМЗ). Освоєння виробництва автомобільних деталей почалося в січні 1959 року, а у квітні було завершене складання перших двох самоскидів типу ЯАЗ на рамах власного виробництва з деталей і вузлів, завезених з Ярославського автомобільного заводу.

Перші вантажівки зійшли з конвеєра вже до 1 травня 1959 року. Зійшли перші десятитонні, тривісні самоскиди під власною маркою Дніпро 222**,** які відразу ж взяли участь у Першотравневих демонстраціях. Назва Дніпро не прижилася, і вантажівкам привласнили устояне маркування за абревіатурою назви заводу. Саме так і з'явилася знаменита марка важких вантажних автомобілів КрАЗ.

До грудня 1959 року був освоєний випуск нових дванадцятитонних вантажівок прохідності КрАЗ 214 (рисунок 1). А до весни 1960 року стали випускати й експортні варіанти цих автомобілів у тропічному й північному виконанні – КрАЗ 219 (рисунок 2).

Це дуже сильно сприяло просуванню нових вантажних автомобілів на світовому ринку. Ці автомобілі відразу розійшлися такими країнами, як Аргентина, Афганістан, Болгарія, Китай, Фінляндія та ін.

Саме до цього часу завод зміг повністю перейти на самозабезпечення виробництвом запасних частин й агрегатів, а кількість робітників нараховувало приблизно 6 тисяч чоловік, що робило КрАЗ одним з найбільших автомобільних підприємств у СРСР. Навіть сьогодні більша частина продукції заводу призначена на експорт у закордонні країни, але однаково найбільша кількість з цих автомобілів поставляється до Росії.

Рис. 1. КрАЗ 214

Рис. 2. КрАЗ 219

Першу серйозну модернізацію вантажівок КрАЗ провели в 1965 році, коли їх було оснащено могутнішим й економічним дизелем ЯМЗ 238 та п’ятиступінчатою коробкою передач – так з’явився КрАЗ 257 (рисунок 3), який випускався в різних модифікаціях аж до 1995 року, поки не стало ясно, що ця модель уже безнадійно застаріла.

В 1979 році завод поставив рекорд – був досягнутий максимальний випуск вантажних автомобілів на одного робітника в співвідношенні 1:1,6, що навіть для світових виробників вантажівок було не просто (це свідчило про відповідну продуктивність праці й автоматизацію виробництва).

Рис. 3. КрАЗ 257

Серед освоєних заводом машин кранові шасі, лісовози, автопоїзди, автомобілі підвищеної прохідності. Розпочато випуск сідельного тягача високої прохідності з колісною формулою 6х6 КрАЗ 260У. Саме ця модель і служить базовою для всього сучасного сімейства вантажівок.

Дев'яності роки стали для КрАЗ перехідними, як і для всіх підприємств колишнього СРСР. Падіння залізної завіси та продаж за кордон автотехніки, яка була вироблена заводом, дозволило почати співробітництво з іноземними компаніями у виробництві автотехніки.

Так, у 1990 році компанія FAUN, яка спеціалізувалася на виробництві додаткового устаткування, маніпуляторів, автокранових стріл, лебідок, талів і гідравліки для цієї техніки, почала співробітництво й спільне виробництво спеціальної техніки з КрАЗом. Були випущені нові моделі автокранів, сміттєвози та інша техніка, що здебільшого йшла на експорт у закордонні країни.

Якість автомобілів, які постачають за кордон, була підтверджена навіть такими високими нагородами, як: Дуга Європейської Золотої Зірки (Мадрид), Європейський приз за якість (Париж) у 1993 році, коли були введені нові екологічні норми викидів двигунів Євро II.

В 1996 році КрАЗ був дійсним гігантом, який постійно розвивається, що потребувало внесення змін у саму структуру величезного підприємства. Була зареєстрована Холдингова Компанія АвтоКрАЗ, що володіє контрольними пакетами акцій підприємств ВАТ Полтавський автоагрегатний завод, ВАТ Херсонський завод карданних валів, ВАТ Токмакський ковальсько-штампувальний завод, ВАТ ВТФ КрАЗ, ВАТ КрАЗторг, ВАТ Сімферопольський завод автокерма. Чисельність працюючих у Холдингу досягла 17 тисяч чоловік, з них на головному підприємстві – 12300 чоловік. Це просто величезні цифри для дійсно працюючого підприємства, що проходило важкий момент у загальноекономічному занепаді всієї промисловості на Україні. Але КрАЗ не тільки успішно проходив цей важкий момент, але й успішно розвивався та освоював нові види техніки. Так, наприклад, з'явилися нові моделі сідельних, двохосьових вантажівок, але більшу частку у виробництві займають самоскиди, сідельні тягачі та всюдиходи. Особливою популярніс-

тю користуються автопоїзди через їхню вантажопідйомність, невибагливість в обслуговуванні та надійність, які перевірені часом. У даний момент техніка КрАЗ використовується практично в усіх областях, де необхідні вантажоперевезення. Так, використання базових шасі КрАЗ 65053 (рисунок 4), КрАЗ 65101 (рисунок 5) та КрАЗ 63221, у різних компонуваннях і спеціальному устаткуванні, яке встановлено на них, дозволяє використовувати ці автомобілі в таких областях, як нафтогазова, лісопромислова, гірська промисловість, будівництво та комунальне господарство.

Рис. 4. КрАЗ 65053

Рис. 5. КрАЗ 65101

За оцінками за всі роки експлуатації самоскидів з моменту їхнього випуску ними перевезено приблизно 10 мільярдів тон вантажів.

Висновки

Найбільшим виробником вантажних автомобілів в Україні залишається Холдингова компанія АвтоКрАЗ. З моменту створення автомобільного заводу виготовлено більше 940 тисяч автомобілів КрАЗ, які працюють у 57 країнах світу. З них: більше 300 тисяч самоскидів, що становить майже 40% від загального випуску автомобілів, 60 тисяч тягачів, 33 тисяч лісовозів [8].

Загальна динаміка розвитку галузі за підсумками 2010 року викликає оптимістичні прогнози. На думку експертів, в 2011-2015 роках зростання виробництва автомобілів в Україні продовжиться, незважаючи на те, що темпи зростання можуть трохи скоротитися у зв'язку з насиченням внутрішнього ринку. Про перспективу майбутнього зростання свідчить і те, що імпорт продукції автомобільної промисловості значно перевищує експорт.

Список використаних джерел

1. Рубец А.Д. История автомобильного транспорта России: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Рубец А.Д. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. – 304 с.

2. Історія розвитку автомобіля // Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля. – К.: Арістей, 2006. – С. 7-11.

3. Очерки истории техники в России с древнейших времен до 60-х годов XX века / под ред. Остольского В.И. – М.: Наука, 1978. – 375 с.

4. Пікашова Т.Д. Основи історії науки і техники / Пікашова Т.Д., Шашкова Л.О. – К.: ІЗМН, 1997. – 400 с.

5. Основные этапы развития отечественного автомобилестроения // Анохин А.П. Отечественные автомобили. – М.: Наука, 1968. – С. 5-10.

6. Паламарчук М.М. Економічна і соціальна географія України з основами теорії: посібник / Паламарчук М.М., Паламарчук О.М. – К.: Знання, 1998. – С. 376-392.

7. Розміщення продуктивних сил: підручник / за ред. Є.П. Качана. – К.: Вища школа, 1998. – С. 139-149.

8. Розміщення продуктивних сил: підручник / за ред. В.В. Ковалевського, О.Л. Михайлюк, В.Ф. Семенова. – К.: Знання, КОО, 1998. – С. 376-392.

УДК 621.921

Г.П. Богатырева, д-р техн. наук
В.И. Лавриненко, д-р техн. наук
Ю.И. Никитин, канд. техн. наук
В.Г. Полторацкий, канд. техн. наук
И.В. Лещук, канд. техн. наук
А.А. Девицкий, предопаватель

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ ПАСТЫ И ПОЛИРОВАЛЬНЫЕ СОСТАВЫ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНО- И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Представлены результаты исследований широкой номенклатуры абразивных паст и полировальных составов на основе порошков из сверхтвердых материалов, а также экспериментальные технологии и техпроцесс их изготовления.

Введение

В Институте сверхтвердых материалов НАН Украины (ИСМ) для шлифовки и финишной обработки (доводки и полирования) разработаны и успешно применяются пасты и суспензии широкой номенклатуры и назначения на основе порошков из сверхтвердых материалов (СТМ): синтетических алмазов (СА) и кубического нитрида бора (КНБ) – торговая марка кубонит. Ими обрабатываются детали из металлов, сплавов, ферритов, кварца, кремния, германия, самоцветов и ряда других материалов, обеспечивая высокое качество поверхности, что способствует их успешному применению в машино- и приборостроении, в ювелирном деле и ряде других отраслей [1].

Современные пасты и суспензии (полировальные составы) различной консистенции – сложные, многокомпонентные структурированные системы, состоящие из точно расклассифицированных порошков СТМ и основы – композиционной связки. В качестве основы используют различные химические вещества и соединения, которые можно подразделить на следующие группы: поверхностно-активные вещества (ПАВ), структурообразователи (воски, стеарины, парафины), высокомолекулярные полимерные соединения, смазывающе-охлаждающие жидкости (СОЖ), смывные жидкости, присадки, растворители, вспомогательные вещества.

Пасты и суспензии из СТМ, изготавливаемые на основе мелкозернистых микропорошков (менее 10 мкм) и субмикропорошков, применяются в основном в качестве полировальных составов.

Выбор соответствующих химических веществ, ингредиентов зависит от требований, предъявляемых к пастам и суспензиям. Пригодность каждого вещества определяется в основном его физико-химическими и структурно-механическими свойствами, от которых зависят эксплуатационные характеристики данной абразивной продукции и условия ее применения.

Результаты исследований

В результате выполненных в ИСМ научных исследований свойств различных ПАВ установлена возможность модификации составов композиционных систем (основ) паст и суспензий из СА и кубонита с целью получения их с оптимальными физико-механическими и физико-химическими свойствами.

Изучена также возможность регулирования структуры рабочей пленки, создаваемой пастой или суспензией на обрабатываемой поверхности, путем образования на ней адсорбционных слоев ПАВ, изменяющих скорость диффузии рабочего слоя через адсорбционный слой. Для этой цели рекомендуется вводить в состав паст и суспензий соединения

оксиэтилированных высших аминов и амидов, блок-сополимеров оксидов этилена и пропилена на основе этиленгликоля и этилендиамина, эфиров многоатомных спиртов, т.е. представителей высокомолекулярных (полимерных) ПАВ.

По смываемости пасты и полировальные составы изготавливаются и подразделяются на: смываемые водой «В»; смываемые органическими растворителями «О»; смываемые водой и органическими растворителями. Кроме химических соединений и ПАВ, в состав паст и суспензий могут входить ряд других веществ, в частности, ароматические, способные не только придавать приятный запах, но и способствовать улучшению экологической среды [2].

В составе разработанных в ИСМ паст различного назначения используются шлифпорошки из синтетических алмазов марок АС2, АС4, АС6 зернистостью от 125/100 до 50/40, микропорошки марок АСМ, АСН и др. зернистостью от 60/40 до 1/0, субмикропорошки марок АСМ1, АСМ5 зернистостью 1/0,5, 0,7/0,3, 0,5/0,1, 0,5/0, 0,3/0, 0,1/0, микропорошки из кубонита (КМ) зернистостью 60/40 – 1/0. Суспензии изготавливаются из алмазных и кубонитовых микропорошков зернистостью от 10/7 до 1/0 и субмикропорошков. В зависимости от назначения в табл. 1 приведены рекомендации о применении марок и зернистостей алмазных порошков в пастах и полировальных составах.

Таблица 1

Назначение паст и полировальных составов, изготавливаемых из алмазных порошков различных марок и зернистостей

Марка алмазного порошка	Зернистость алмазного порошка, мкм	Рекомендуемая область применения паст и полировальных составов
А2, А3, АС2, АС4, АС6	125/100 100/80 80/63 63/50 50/40	Шлифование, грубая доводка различных материалов. Параметр шероховатости обработанной поверхности R_a от 2,50 до 0,32 мкм
АМ, АСМ, АН, АСН	60/40 40/28 28/20 20/14 14/10 10/7 7/5	Полирование и доводка различных материалов (сталь, сплавы, цветные металлы, неметаллические материалы). Параметр шероховатости обработанной поверхности R_a от 0,320 до 0,050 мкм
АМ, АСМ	5/3 3/2 2/1 1/0	Тонкое полирование и доводка металлов, сплавов и неметаллических материалов. Параметр шероховатости обработанной поверхности R_a от 0,250 до 0,020 мкм
АМ1, АСМ1, АМ5, АСМ5	0,7/0,3 0,5/0,1 0,3/0 0,1/0	Тонкое полирование и доводка сталей, сплавов и неметаллических материалов. Параметр шероховатости обработанной поверхности R_z не более 0,040 мкм

Основными показателями качества паст и суспензий из СТМ, которые контролируются при изготовлении и в процессе применения, являются абразивная способность, параметр шероховатости обработанной поверхности, содержание порошка из СТМ, консистенция, термостойкость, скорость съема и параметр шероховатости поверхности, обработанной пастами и суспензиями из субмикропорошков, коллоидная и механическая стабильность. В ИСМ разработаны все необходимые методики [3; 4].

Сущность метода определения абразивной способности паст заключается в определении разности массы блока с образцами из твердого сплава марки ВК6 или ВК8 (для алмазных паст и суспензий) и образцов из стали ШХ15 (для кубонитовых паст) до и после проведения испытания на установке УАС-2М конструкции ИСМ.

Метод определения консистенции паст заключается в определении пенетрации (числа проницаемости), которая характеризует ее значение. Число проницаемости определяют с помощью пенетрометра, снабженного плунжером с конусом. Результатом является среднеарифметическое трех измерений глубины погружения конуса в образец пасты.

Для испытания скорости съема и параметра шероховатости поверхности, обработанной пастами и суспензиями из субмикропорошков, используют шлифовальный станок настольного типа с частотой вращения 80 об/мин, специальные приспособления и приборы.

Термостойкость паст характеризуется наибольшей температурой, при которой паста сохраняет эксплуатационные свойства. Для определения термостойкости используют установку конструкции ИСМ НАН Украины с нагреваемым стержнем, на который наносится навеска пасты массой 0,3 г. При первых видимых изменениях состояния нагреваемого образца регистрируют показания термометра. Проба пасты может расплавиться и из нее начинает вытекать, испаряться или выгорать наименее стойкий компонент. Температура нагрева, зарегистрированная при этом, и будет характеризовать термостойкость пасты.

Для определения коллоидной стабильности алмазных паст типа «О» на специальную подставку прибора устанавливают чашечку, заполненную навеской испытуемой основы пасты, накрывают кружком фильтровальной бумаги, предварительно пропитанным испытуемой основой. Затем наверх помещают еще несколько кружков фильтровальной бумаги, устанавливают прижимное устройство с грузом массой 1 кг, выдерживают 30 мин при комнатной температуре и под давлением отпрессовывают жидкие ингредиенты, входящие в основу пасты. Результатом служит среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Пасты и суспензии из СТМ изготавливаются нормальной (Н), повышенной (П) и высокой (В) массовыми долями алмазного или кубонитового порошка. Содержание микропорошков из СТМ в суспензиях соответствующих зернистостей то же, что и в пастах.

По консистенции пасты из СТМ подразделяются на мазеобразные (М) и твердые (Т). Для мазеобразных паст при температуре 20±5ºС консистенция должна соответствовать в пределах от 100 до 400 делений пенетрометра, твердых – от 20 до 80 делений.

Содержание массовых долей порошков в пастах разных зернистостей, а также абразивная способность и шероховатость поверхности паст из алмазных шлиф- и микропорошков с массовыми долями порошков в пастах по ГОСТ (Н, П и В) приведены в табл. 2. Скорость съема обрабатываемого материала при полировании пастами и суспензиями из алмазных субмикропорошков приведены в табл. 3, а абразивная способность паст и суспензий из кубонита – в табл. 4. Значение абразивной способности и съема обрабатываемого материала пастами и суспензиями из кубонита в среднем в 2 раза ниже, чем алмазных.

Пример условного обозначения пасты из микропорошка марки АСМ зернистостью 28/20 с повышенной массовой долей алмаза (П), смываемых водой (В), твёрдой консистенции (Т): паста алмазная АСМ 28/20 ПВТ ГОСТ 25593-83.

Массовая доля порошка в пастах и суспензиях из СТМ существенно влияет на эффективность обработки материалов. Пониженное содержание порошка в пастах приводит к снижению производительности обработки. Высокое содержание порошка в пастах, превышающее оптимальное значение, приводит к нарушению структуры пасты и накоплению шлама, что также значительно снижает работоспособность пасты.

Таблица 2

Содержание алмазного и кубонитового порошка в пасте, абразивная способность и шероховатость поверхности паст и суспензий из алмазных шлиф- и микропорошков

Зернистость алмазного порошка, мкм	Содержание алмазного и кубонитового порошка в пасте (мас., %)			Абразивная способность пасты, мг, не менее, при массовой доле алмазов			Параметр шероховатости поверхности R_a, по ГОСТ 2789-73, мкм, не более	
	Н	П	В	Н	П	В	до обработки	после обработки
125/100	40	60	–	160	220	–	–	–
100/80	40	60	–	150	200	–	–	–
80/63	40	60	–	140	190	–	–	–
63/50	20	40	–	130	180	–	–	–
50/40	20	40	–	125	175	–	–	–
60/40	8	20	40	65	125	160	0,400	0,200
40/28	8	20	40	60	110	150	0,200	0,160
28/20	6	15	30	55	100	145	0,160	0,125
20/14	6	15	30	50	95	140	0,125	0,100
14/10	6	15	30	45	90	135	0,100	0,080
10/7	4	10	20	40	85	130	0,080	0,063
7/5	4	10	20	35	75	125	0,063	0,050
5/3	4	10	20	30	60	95	0,050	0,040
3/2	2	5	10	–	–	–	0,040	0,032
2/1	2	5	10	–	–	–	0,032	0,025
1/0	2	5	10	–	–	–	0,025	0,020
1/0,5	2	5	10	–	–	–	–	–
0,7/0,3	2	5	10	–	–	–	–	–
0,5/0,1	2	5	10	–	–	–	–	–
0,3/0	2	5	10	–	–	–	–	–
0,1/0	2	5	10	–	–	–	–	–

Пасты, смываемые органическими растворителями, рекомендуются для обработки металлов и сплавов, применяются в основном при доводке и полировании. Они обеспечивают высококачественную зеркальную поверхность с чистым и ровным отражением. Разбавляются они различными маслами, керосином, их смесью. Смываются керосином, бензином и другими органическими растворителями.

Пасты и суспензии, смываемые водой («В»), рекомендуются для обработки неметаллических твердых материалов, а также металлов в тех случаях, когда недопустимо применение огнеопасных жидкостей для промывки обработанных изделий. Они разбавляются и смываются 1%-ым водным раствором тринатрийфосфата, слабыми растворами соды или дистиллированной водой.

Пасты и суспензии из СТМ, смываемые водой и органическими растворителями («ВО»), рекомендуются для обработки металлов, сплавов и неметаллических материалов. Они обладают хорошей смачивающей способностью, хорошо разбавляются и смываются дистиллированной водой, а также органическими растворителями.

При использовании паст и суспензий из СТМ взамен обычных абразивных (из карбида кремния, карбида бора, электрокорунда и др.) при той же зернистости производительность обработки увеличивается в 2-3 раза и более.

Таблица 3

Скорость съема материала при полировании пастами и суспензиями из алмазных субмикропорошков, мкм/мин

Зернистость алмазного порошка, мкм	Доля алмаза (мас,%)	АМ, АСМ1 (не менее)	АМ5, АСМ5 (не менее)
0,7/0,3	2 5 10	0,60 0,70 0,80	0,45 0,50 0,60
0,5/0,1	2 5 10	0,40 0,45 0,50	0,35 0,40 0,45
0,3/0	2 5 10	0,30 0,35 0,40	0,25 0,30 0,35
0,1/0	2 5 10	0,10 0,12 0,15	0,05 0,07 0,10

Таблица 4

Абразивная способность паст и суспензий из кубонита, мг

Зернистость алмазного порошка, мкм	Н		П		В	
	норма (не менее)	фактически	норма (не менее)	фактически	норма (не менее)	фактически
60/40	30	35	50	76	75	80
40/28	30	32	50	75	75	79
28/20	28	30	45	60	65	72
20/14	26	28	42	56	62	68
14/10	22	25	40	50	54	63
10/7	18	20	27	35	47	60
7/5	13	18	24	30	42	48
5/3	9	12	15	20	30	41

В ИСМ проведены исследования физико-механических характеристик составов паст, включающих смеси порошков различных абразивных материалов, с целью снижения расхода порошка из СТМ и стоимости пасты. Известно, что присутствие дополнительного абразивного материала в смеси улучшает качество обработанной поверхности. Обычно в такие смеси дополнительно вводят абразивный материал, зернистость которого меньше или равна зернистости основного абразивного порошка. Так, некоторые алмазные пасты содержат карбид кремния или карбид бора в качестве наполнителя [5].

Пасты с повышенной термостойкостью оцениваются максимальной температурой, при которой они удерживаются в зоне обработки. Их целесообразно применять в тех случаях, когда процесс сопровождается выделением большого количества тепла. Исследовались алмазные пасты, основа которых включала смесь термостойких органических соединений с температурой плавления выше 150ºС. В результате проведенных исследований был создан целый ряд высокоэффективных составов паст и суспензий на основе ПАВ, структурообразователей, термостойких соединений, обладающих смачивающими, диспергирующими, адгезионными, антистатическими и другими свойствами, обеспечивающими высокую работоспособность.

При использовании алмазных паст необходимо создать условия, исключающие возможность их загрязнения или попадания в данную пасту более крупных зерен. Любое более крупное зерно может оставить на обрабатываемой поверхности глубокие риски, что ведет к дополнительной затрате труда на повторную обработку деталей, а в некоторых случаях может привести к браку.

Притир применяют только для одной зернистости. Для этого его маркируют или окрашивают в цвет, присвоенный этикетке пасты данной зернистости. В качестве материала для притира используют чугун, незакаленную сталь, латунь, медь, фибру, древесину, кожу, войлок, фетр и др. Выбор притира зависит от обрабатываемого материала, его твердости и требуемой шероховтаости поверхности. Для осуществления доводки необходимо, чтобы абразивные зерна вдавливались в поверхность притира. Этот процесс называется шаржированием притира.

При выборе материала для изготовления притира руководствуются следующими правилами. Чем глубже риски на поверхности от предыдущей обработки, тем больший припуск снимают при доводке и тем крупнее должна быть зернистость применяемой алмазной пасты, тверже притир. Если имеются алмазные пасты мелких зернистостей и необходимо получить высокое качество обрабатываемой поверхности, применяют наиболее мягкие притиры. Используя притиры различной твердости, можно получить разные результаты при одной и той же зернистости.

Проводились исследования, целью которых было определить влияние характеристик материалов, контактирующих с абразивным порошком, на возникновение электрических явлений в зоне обработки [6]. Результаты показали, что наибольшая величина электризации наблюдается при контакте абразивных зерен с медными материалами и материалами, имеющими в своем составе медь, в том или ином процентном соотношении, наименьшая величина – при контакте с диэлектриками. Также на величину электризации в зоне шлифования влияют характеристики абразивного материала, обрабатываемого материала и режимы обработки. Кроме того, было определено, что повышение величины электризации в зоне обработки способствует повышению продуктивности процесса, следуя из вышеприведенного, достичь этого можно, в том числе, используя в качестве материала притира медь и латунь.

Доводка производится последовательно двумя-тремя алмазными пастами с постепенным переходом от более крупной к более мелкой. Количество последовательно применяемых паст зависит от припуска и требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности. При небольших припусках и малых рисках доводка осуществляется пастой одной зернистости.

Одним из важнейших достоинств паст из СТМ является обеспечение высокоэффективной обработки деталей из твёрдых неметаллических материалов, сплавов, закаленных сталей, а также доводки сопрягаемых поверхностей деталей.

Применение паст из АС и кубонита при изготовлении гидравлической, пневматической и топливной аппаратуры из различных материалов обеспечивает необходимое качество уплотнительных поверхностей (перед притиркой уплотнительные поверхности обрабатываются до требуемой шероховатости поверхности).

С целью улучшения эксплуатационных характеристик, повышения производительности и качества обработки в ИСМ разработаны новые высокоэффективные составы суспензий из СТМ в аэрозольной упаковке. Основой являются специально подобранные ПАВ, совмещающиеся с используемым при аэрозольной упаковке пропеллентом, который создает давление в баллоне для суспензии. Для улучшения экологической среды в настоящее время в качестве пропеллентов вместо фреонов используют пропан-бутановые смеси, которые совмещаются со многими органическими ПАВ. Аэрозольный способ экономически выгоден, так как в 2-3 раза уменьшается удельный расход алмазного порошка, повышается эф-

фект его действия и сокращается трудоемкость обработки. Алмазные суспензии в аэрозольной упаковке испытаны и применены на ряде промышленных предприятий различных отраслей промышленности. Результаты испытаний подтвердили высокую эффективность и целесообразность их внедрения при обработке специальных изделий.

Выводы

Обеспечение возросших требований к повышению качества абразивной обработки является важнейшей задачей в современном машино- и приборостроении, ювелирном деле, решение которой во многих случаях невозможно без применения паст и полировальных составов из СТМ на операциях доводки и полирования деталей (изделий) из труднообрабатываемых материалов. В связи с этим весьма перспективным направлением в решении сложных проблем в данной области по повышению работоспособности паст является использование в их составах композиционных порошков с углеродной матрицей, получаемых методом эпитаксиального синтеза [7-9]. Научно-технологический алмазный концерн НАН Украины и ИСМ обладают надежной технологией изготовления широкой номенклатуры паст и полировальных составов из СТМ – синтетических алмазов и кубонита, что позволяет удовлетворять все более возрастающие потребности промышленности в качественной абразивной продукции для шлифования, доводки и полирования деталей в машино- и приборостроении [10].

Список использованных источников

1. Новиков Н.В. Итоги и современные тенденции получения инструментальных сверхтвердых материалов / Новиков Н.В. // Сверхтвердые инструментальные материалы на рубеже тысячелетий: получение, свойства, применение: материалы международной научно-технической конференции, 4-6 июля 2001 г. – Киев: ИСМ НАН Украины, 2001. – С. 4-6.

2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: монография в 6 томах. Том 4. Инструменты и технологические процессы в прецизионной финишной обработке / под общей ред. Н.В. Новикова. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, НПЦ «Алкон» НАНУ, 2006.

3. Новиков Н.В. Методы испытаний инструментальных материалов / Новиков Н.В., Лошак М.Г. – Москва 2005. С. 90 – 111.

4. Новиков Н.В. Однородность шлифпорошков синтетических алмазов и критерии ее количественной оценки / Новиков Н.В., Никитин Ю.И., Петасюк Г.А. // Сверхтвердые материалы. – 1999. – № 5. – С. 65-73.

5. Синтетические сверхтвердые материалы: ВЗХ т. 2 / редкол.: Н.В. Новиков (отв. ред.) и др. – Киев: Наукова думка, 1986. – 264 с.

6. Лавріненко В.І. Дослідження зміни напруженості електростатичного поля при шліфуванні / Лавріненко В.І., Ситник Б.В., Дєвицький О.А. // Високі технології в машинобудуванні: збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2008. – С. 215-220.

7. Новиков Н.В. Целенаправленное получение композиционных алмазных материалов с углеродной связкой и дифференцированными свойствами / Новиков Н.В., Никитин Ю.И., Полторацкий В.Г., Федосеев А.В. // Сверхтвердые материалы. – 1995. – № 3. – С. 13-19.

8. Новиков Н.В. Способ оценки однородности абразивного порошка: патент Украины № 53964 / Новиков Н.В., Никитин Ю.И., Богатырева Г.П., Петасюк Г.А.; опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2.

9. Новиков Н.В. Абразивная паста: патент Украины № 4940 / Новиков Н.В., Никитин Ю.И., Богатырева Г.П., Полторацкий В.Г., Муровский В.А.; опубл. 15.02.2005.

10. Новиков Н.В. Современные технологии обработки и инструменты из сверхтвердых материалов ИСМ НАН Украины в машино- и приборостроении / Новиков Н.В., Шепелев А.А. // Інструментальний світ. – 2001. – № 10-11. – С. 10-16.

УДК 621.365.9:621.923.42

В.В. Кальченко, д-р техн. наук
В.П. Войтенко, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ

Сформулированы требования к электроприводам в составе комплексов для шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали. Предложена концепция использования импульсных преобразователей с адаптивным квазиоптимальным регулированием для решения задач указанных комплексов, призванная способствовать существенному повышению эффективности и качества обработки поверхности. Разработаны функциональные схемы, а также алгоритмы работы цифровых регуляторов.

Введение

Глобальная тенденция повышения качества выпускаемой продукции сопровождается ростом требований и усложнением технологии обработки деталей. В итоге трудоемкость операций, реализуемых, например, на станках, оснащенных абразивным инструментом, составляет от 30 до 60% общей трудоемкости обработки [1]. Значительным шагом на пути повышения как эффективности, так и качества обработки поверхности является реализация возможностей шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали [2]. Потенциал этой технологии не может быть раскрыт в полной мере без разработки электроприводов, удовлетворяющих ряду специфических требований по точности, быстродействию и стабильности работы как в условиях изменения характера нагрузки, так и присутствия внешних возмущений.

Известно большое количество работ по проблематике станочного электропривода [3; 4], что само по себе свидетельствует как о нерешенности многих существующих проблем, так и об имеющемся потенциале дальнейшего совершенствования. Например, в последние годы отчетливо просматривается тенденция развития принципов прямого цифрового управления со все более широким использованием так называемых «интеллектуальных» алгоритмов [5]. Элементная база и достижения в области как силовой, так и информационной электроники [6] открывают новые возможности и позволяют существенно улучшить качество переходного процесса как в режиме изменяющегося задания на регулирование, так и в условиях различных дестабилизирующих факторов.

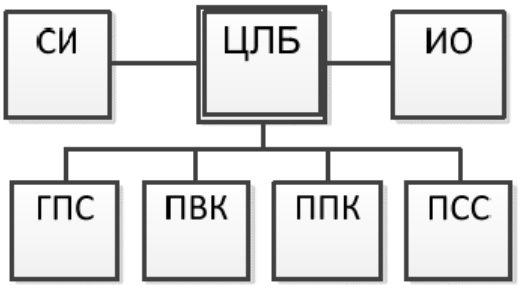
Целью данной статьи является разработка концепции использования импульсных преобразователей с квазиоптимальным регулированием в процессе шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали, что способно существенно повысить эффективность и качество обработки поверхности.

Формулирование требований к электроприводу процесса шлифования со скрещивающимися осями

В практическом пособии [4] приведен один из многочисленных вариантов классификации, а также технические характеристики регулируемых электроприводов для станков и промышленных роботов. Технологический процесс шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали [2] выдвигает жесткие требования не только к главному приводу, но также и к приводам вращения и осевой подачи шлифовального круга. Кроме того, появляется необходимость в точном программном изменении и стабилизации угла скрещивания. Неточности позиционирования и стабилизации инструмента, помимо прямой ошибки формообразования, приводят к другим негативным проявлениям и, в итоге, – к ухудшению интегральных показателей качества процесса обра-

ботки детали. Так, некоторые ученые [2] отмечают, что превышение глубины шлифования на 0,01 мм может привести к росту температуры детали на 25%.

Отсюда следует, что приводы станка, способного реализовать потенциал процесса шлифования со скрещивающимися осями, образуют электромеханический комплекс, представляющий собой иерархическую информационно-управляющую структуру (рисунок 1). На верхнем уровне находится центральный вычислительный блок, использующий 3D-модели формообразования [2] с целью формирования заданий интеллектуальным модулям нижнего уровня иерархии. Последние выполняют две функции: обмениваются информацией с центральным блоком и управляют приводом, отвечающим за одно из требуемых движений комплекса.



ЦЛБ – центральный логический блок; СИ – стандартный интерфейс; ИО – интерфейс оператора; ГПС – главный привод станка; ПВК – привод вращения круга; ППК – привод подачи круга; ПСС – привод скрещивания круга.

Рис. 1. Иерархия информационных устройств комплекса шлифования со скрещивающимися осями

Блок стандартного интерфейса позволяет организовать информационное взаимодействие с компьютером, удаленным постом контроля и управления и др., что существенно расширяет возможности комплекса.

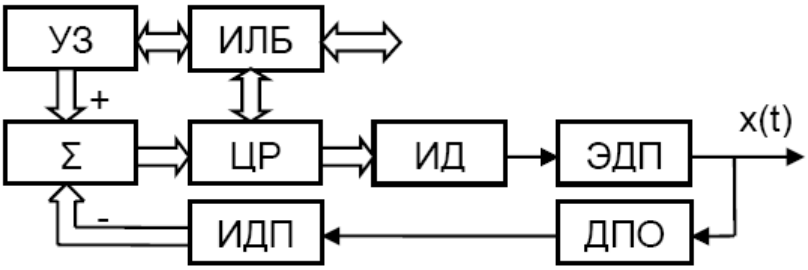
Высокие требования по точности и стабильности выполнения программных движений обуславливают необходимость широкого использования цифровых технологий для построения приводов комплекса. Дополнительные преимущества такого подхода заключаются в возможности унификации ряда аппаратных блоков, а также в высокой повторяемости характеристик в серийных устройствах, упрощении пусконаладки, проверки работоспособности и обслуживания.

Дополнительные возможности дает применение современных микроконтроллеров в блоках нижнего уровня на рисунке 1. Во-первых, программируемая логика повышает гибкость всей системы, т.е. возможность адаптации унифицированной аппаратной части под конкретную задачу. Во-вторых, облегчается организация взаимодействия с центральным блоком. В-третьих, сама аппаратная часть устройств информационной электроники становится компактнее, и открываются возможности использования продвинутых алгоритмов прямого цифрового управления.

Выбор структуры и алгоритма работы привода

На рисунке 2 показана упрощенная функциональная схема интеллектуального привода, соответствующего нижнему уровню иерархии на рисунке 1. Отличительная особенность – реализация большинства информационных функций программно-аппаратными средствами микроконтроллера.

Интерфейс с ЦЛБ обеспечивает прием команд от устройства управления верхнего уровня иерархии, а также передачу в обратном направлении диагностической информации и, при необходимости, – измеренного значения регулируемого параметра по координате движения. В зависимости от конкретного использования такими параметрами могут быть скорость подачи, угол скрещивания и др.



УЗ – устройство задания; ИЛБ – интерфейс с ЦЛБ; ЦР – цифровой регулятор; ИД – интерфейс с двигателем; ЭДП – электродвигатель привода; x(t) – регулируемый параметр по координате движения; ДПО – датчик параметра координаты движения; ИДП – интерфейс с датчиком параметра.

Рис. 2. Функциональная схема интеллектуального привода комплекса шлифования

В устройстве задания формируется цифровой код, эквивалентный требуемому текущему значению параметра *x(t)*. Интерфейс с датчиком параметра оценивает цифровой эквивалент этого значения, а сумматор дает ошибку (отклонение) выходного параметра от заданного уровня.

Руководствуясь кодом ошибки, цифровой регулятор вырабатывает последовательность управляющих воздействий, формат которых определяется используемым методом управления движением. Наиболее перспективным вариантом интерфейса с двигателем можно считать применение реверсивного широтно-импульсного преобразователя. Импульсный режим работы силового вентиля обеспечивает максимальную энергоэффективность, высокую точность, быстродействие и стабильность работы устройства. При этом, если использовать резидентные широтно-импульсные модуляторы микроконтроллера, дополнительные аппаратные затраты не требуются.

Особого внимания заслуживает вопрос выбора цифрового регулятора. Несмотря на длительное использование, в промышленности наиболее популярным остается пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор. Однако к его недостаткам можно отнести чересчур искусственную методику настройки, практически не поддающуюся автоматизации. Так, коэффициенты регулирования приходится подбирать индивидуально и непосредственно на конкретном приводе. Существуют адаптивные разновидности данного алгоритма, успешно отрабатывающие возмущения по нагрузке. Тем не менее, унификация алгоритма для приводов, отвечающих за стабилизацию различных параметров движения, невозможна.

В технологическом процессе шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали предлагается использовать квазиоптимальное управление широтно-импульсным преобразователем [5; 6]. Важнейшим его достоинством является получение вида переходного процесса, близкого к апериодическому – т.е. без перерегулирования – за время, близкое к минимальному, что особенно актуально для удовлетворения требований по точности обработки [7]. Настройка такого регулятора может производиться в полуавтоматическом режиме по алгоритму, включающему в себя процедуру идентификации объекта управления [8].

Таким образом, становится актуальной задача проверки работоспособности совокупности работающих согласованно нескольких реверсивных широтно-импульсных преобразователей с квазиоптимальным управлением. Каждый такой преобразователь содержит свою собственную автономную замкнутую систему автоматического управления, поэтому сравнительно легко выполнить декомпозицию поставленной задачи. Поскольку структура и алгоритм работы каждой из систем идентичны, остается произвести анализ только лишь одной из систем, выяснив для каждой, прежде всего, отличия динамических параметров.

Выводы

1. Сформулированы основные требования к электроприводу процесса шлифования со скрещивающимися осями, причем информационные устройства комплекса шлифования представлены в виде иерархической структуры, элементы которой обмениваются информацией по стандартному интерфейсу.
2. Для нижнего уровня иерархии разработана функциональная схема интеллектуального привода комплекса шлифования со скрещивающимися осями, для которой предложено использовать реверсивный широтно-импульсный преобразователь с цифровым квазиоптимальным регулятором.

Список использованных источников

1. Миндлин Я.Б. Централизованная подготовка абразивного инструмента к работе / Миндлин Я.Б., Кащук В.А. // Станки и инструмент. – 1988. – №4. – С. 23 – 27.
2. Грабченко А.И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали: монография / Грабченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В. – Чернигов: ЧГТУ, 2009. – 356 с.
3. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Белов М. П., Новиков В. А., – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 576 с.
4. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы: практ. пособие: в 14-ти кн. Кн. 14/ О.П. Михайлов, Р.Т. Орлов, А.В. Пальцев. Современный электропривод станков с ЧПУ и промышленных роботов; под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высш. шк., 1989. – 111 с.
5. Войтенко В.П. Квазиоптимальные промышленные регуляторы с автоматической параметрической идентификацией / Войтенко В.П. // Технічна електродинаміка. – 2004. – С. 85-90. – (Тем. вип. “Силова електроніка та енергоефективність”, ч. 3).
6. Войтенко В.П. Застосування штучних нейронних мереж для ідентифікації промислових об'єктів керування / Войтенко В.П., Хоменко М.А., Рудіч П.В. // Вісник ЧДТУ: зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – № 1 (47). – С. 196-201.
7. Кальченко В.І. Дослідження процесу однопрохідного двостороннього шліфування / Кальченко В.І., Кальченко В.В., Рудик А.В., Венжега В.І. // Вісн. ЧДТУ. – 2007. – №28. – С. 35-44.
8. Войтенко В.П. Нейроидентификация в промышленных регуляторах / Войтенко В.П., Хоменко М.А. // Технічна електродинаміка. – 2008. – С. 60-61. – (Тем. випуск “Силова електроніка та енергоефективність”, ч. 2).

УДК 621.9.06:621.941:621.9-112.5

В.М. Чуприна, канд. техн. наук
О.М. Говоруха, бакалавр
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАЗОВИХ КОМПОНОВОЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ В САПР

Виконані порівняльні розрахунки динамічних характеристик різних варіантів шпиндельних вузлів на опорах кочення. Встановлено вплив основних компоновочних параметрів на динамічні характеристики. Це дозволяє забезпечити раціональний вибір компоновок.шпиндельних вузлів під час проектування в САПР.

Вступ

Підвищення точності, продуктивності і рівня автоматизації металорізальних верстатів потребує забезпечення стабільності роботи всіх їх вузлів. Найбільш відповідальними у верстатах є шпиндельні вузли, які значною мірою (до 70-90%) визначають якість металорізальних верстатів. Одними з найважливіших показників якості верстатів є динамічні показники, які визначаються за відповідними динамічними характеристиками [3]. При цьому динамічні характеристики верстатів і їх вузлів можна отримувати як експериментальним, так і розрахунковим шляхом [1;4;5;7].

Найбільша доцільність динамічного розрахунку проявляється під час проектування нових моделей верстатів та їх вузлів на стадії оптимізації, коли виникає необхідність у швидкій оцінці розроблених конструкцій за динамічними критеріями (наприклад, при виборі кращого варіанту з ряду конструкцій). Динамічний розрахунок є інформативним і дозволяє отримати дані про статичну жорсткість, динамічну податливість, власні частоти, форми коливань конструкції, коефіцієнти динамічності та інші параметри якості, а також дозволяє виявити “слабкі місця” розробленої конструкції. Крім того, розрахунковий шлях є також і найбільш економним – він дозволяє проводити повне імітаційне моделювання конструкції і не потребує виготовлення експериментальних зразків для проведення досліджень [6].

Під час проектування шпиндельних вузлів верстатів (наприклад, у САПР) часто виникає задача вибору і параметричної оптимізації основних компоновочних параметрів вузла [5]. Від їх раціонального призначення великою мірою залежать точність, жорсткість, вібростійкість конструкції, а також ефективність обробки на верстаті в цілому (причому як при чистових, так і при чорнових динамічних режимах обробки деталей) [3].

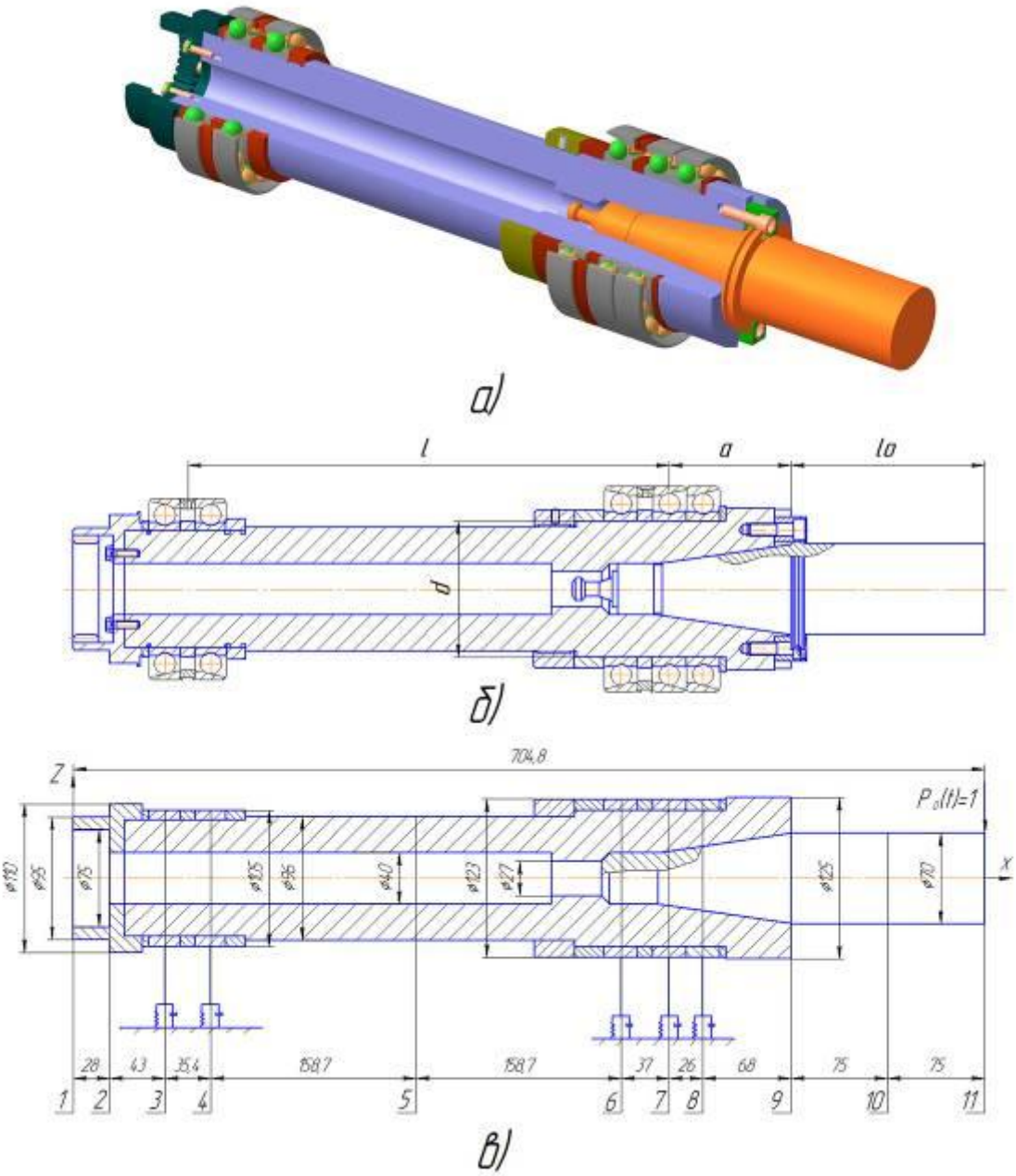
Мета статті

Основою метою даної роботи є дослідження впливу основних компоновочних параметрів шпиндельних вузлів (зокрема: діаметра шпинделя, міжопорної відстані, довжини консолі) на динамічні характеристики для їх раціонального вибору під час проектування шпиндельних вузлів.

Для реалізації цієї мети необхідно розробити конструкції та скласти динамічні моделі шпиндельних вузлів, провести динамічні розрахунки і визначити статичну податливість, резонансні частоти й амплітуди коливань переднього кінця шпинделя та знайти оптимальні значення міжопорних відстаней для різних діаметрів шпинделів. На базі проведених розрахунків слід побудувати графіки залежності оптимальних значень основних динамічних показників від міжопорної відстані (при різних діаметрах шпинделя). На основі отриманих результатів можна зробити висновки про оптимальні значення міжопорних відстаней з метою їх наступного використання під час оптимізації конструкцій шпиндельних вузлів.

Методи і результати

У даній роботі проведено динамічні дослідження однієї з типових компоновок шпиндельних вузлів багатоцільового верстату моделі ИР500ПМФ4. Конструкція шпиндельного вузла та його динамічна модель з розбиттям на ділянки показані на рис.1.



а) 3-D модель шпиндельного вузла;
б) робоче креслення шпиндельного вузла;
в) розрахункова динамічна модель шпиндельного вузла
Рис.1. Вихідні моделі шпиндельного вузла багатоцільового верстату моделі ИР500ПМФ4

В опорах застосовані кулькові радіально-упорні підшипники, які зібрані за схемами «триплекс» і «дуплекс» в передній і задній опорах відповідно. В конусі шпинделя жорстко закріплена інструментальна оправка. В усіх проведених дослідженнях змінювались тільки параметри шпиндельного вузла *d, a, l*, а параметри інструментальної оправки залишались незмінними – довжина l_o=150мм та діаметр d_o=70мм.

Динамічний розрахунок шпиндельних вузлів здійснювався в програмі «DYNAMO-S». Програма складена за методом початкових параметрів у матричній формі для визначення переміщень і силових впливів в усіх перерізах динамічної моделі шпинделя та розрахунку його основних динамічних характеристик. Метод дозволяє звести розраху-

нок складної системи до ряду циклів алгебраїчних операцій, які багатократно повторюються і відповідають переходу від однієї ділянки системи до іншої, та успішно застосовувати комп'ютери [2]. Програма розроблена на кафедрі металорізальних верстатів Чернігівського державного технологічного університету [6].

Наведемо приклад динамічного розрахунку одного з варіантів обраної конструкції шпиндельного вузла для шпинделя з діаметром у передній опорі d =100мм та міжопорною відстанню l =400мм (при розмірі консольної частини шпинделя a =100мм).

Початковими даними для розрахунку є:

- побудована параметрична 3D-модель шпиндельного вузла з оправкою;
- розрахункова динамічна модель шпинделя;
- обчислені вихідні дані по кожному перерізу і кожній ділянці роторної системи;
- номер перерізу з прикладеною радіальною силою (на кінці оправки);
- розрахунковий частотний діапазон для обчислення динамічних характеристик.

Метод розрахунку передбачає розбиття динамічної моделі на ділянки за допомогою перерізів, яке здійснюється з урахуванням таких факторів: зміна діаметра вала, зосереджена (ножова) опора (наприклад, підшипник, що має жорсткість і демпфірування), зосереджений вантаж з масою і моментом інерції, жорстко закріплений безпосередньо на шпинделі (наприклад, зубчасте колесо), підвісний вантаж з масою і моментом інерції та інші впливові фактори.

На наступному етапі розрахунку визначалися параметри, які характеризують окремі ділянки динамічної моделі. До них зокрема відносяться:

- довжина ділянки, l_i;
- зосереджена маса, M_i;
- розподілена маса, m_i;
- жорсткість при згині EI_i, де E – модуль Юнга, I_i – момент інерції i-го перерізу;
- розподілена жорсткість в підшипнику;
- коефіцієнт демпфірування в підшипнику.

Після формування файлу з початковими даними і запуску програми автоматично формується файл результатів, в якому для різних частот програма видає координати для побудови частотних характеристик шпиндельного вузла (в полярній системі координат).

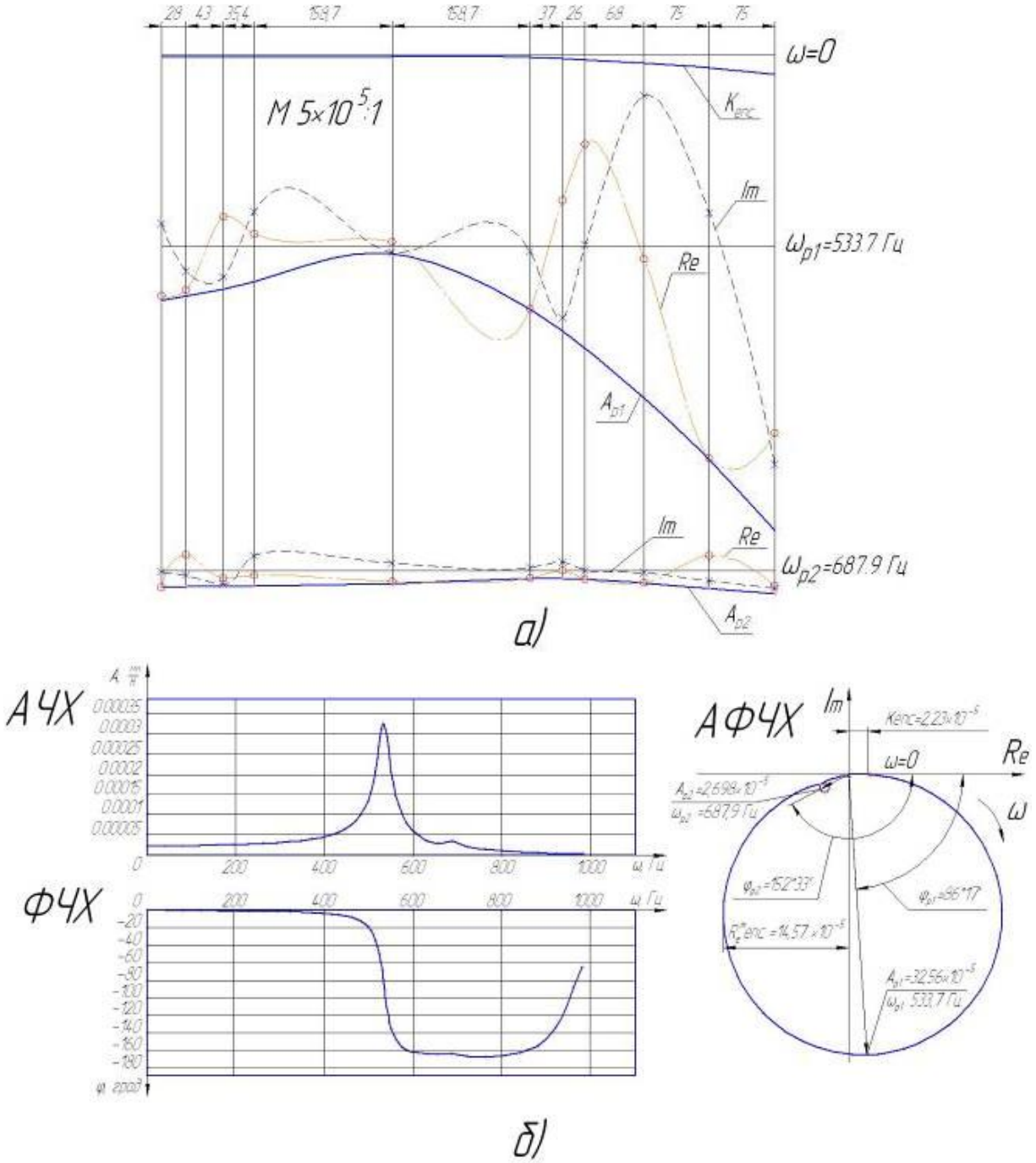
В програмі розраховуються динамічні характеристики у формі амплітудно-частотних(АЧХ), фазово-частотних(ФЧХ), амплітудно-фазово-частотних(АФЧХ) та інших характеристик, а також форми коливань шпинделя (видаються амплітуди і фази для кожного з перерізів). Приклад побудованих характеристик приведений на рисунку 2. Розрахунок дозволяє визначити основні параметри АФЧХ в зоні різання (перетин 11), зокрема, статичну податливість K_{enc} (рис. 3) та резонансні частоти ω_{p1}, ω_{p2} і амплітуди A_{p1}, A_{p2} шпиндельного вузла (для даної схеми – дві). Першою резонансною частотою є 533,7 Гц (рис. 4), другою – 687,9 Гц (рис. 5).

На першому етапі дослідження виконувались розрахунки динамічних характеристик шпиндельного вузла при варіюванні міжопорної відстані l (300, 350, 400, 450 та 500 мм), а також діаметра в передній опорі шпинделя d (60, 100, 140, 180 та 220 мм). При цьому діаметр між опорами приймався рівним d, а в задній опорі – на 10-20мм менше (параметр a =100 мм не змінювався). В результаті було проведено серію розрахункових експериментів і визначені основні параметри динамічних характеристик (АФЧХ). На рисунку 6 показані 3D-графіки залежностей основних параметрів АФЧХ (K_{enc}, ω_{p1}, ω_{p2}, A_{p1}, A_{p2}) від міжопорної відстані та діаметра в передній опорі шпинделя.

Проведемо аналіз отриманих результатів.

На графіку статичної податливості (рис. 6а) видно, що K_{enc} більше залежить від діаметра в передній опорі. Зі збільшенням діаметра до розміру 100мм спостерігається стрімке зме-

ншення статичної податливості, бо шпиндельний вал стає більш жорстким і тому він менше піддається прогину від статичного навантаження. Але потім зменшення $K_{епс}$ уповільнюється, з чого можна зробити висновок, що подальше збільшення діаметра валу меншою мірою впливає на його на податливість, деформація більше залежить від деформації підшипників. Також простежується вплив і міжопорної відстані, а саме зі зменшенням якої статична податливість знижується. Це пояснює сучасну тенденцію до скорочення шпиндельних валів тим, що зі зменшенням міжопорної відстані вал стає жорсткішим на згин.



а) статичний прогин $K_{епс}$ та форми коливань A_p на першому та другому резонансі;
б) основні динамічні характеристики (АЧХ, ФЧХ, АФЧХ) конструкції
Рис.2. Динамічні характеристики роторної системи шпиндельного вузла з інструментальною оправкою

П А Р А М Е Т Р Ы А Ф Ч Х

N	F	AM	PH	AM	PH
1	.0	.23552E-05	.00000E+00	.23613E-05	.00000E+00
		.23707E-05	.00000E+00	.23748E-05	.00000E+00
		.16951E-05	.00000E+00	.23115E-05	.00000E+00
		.39848E-05	.00000E+00	.53058E-05	.00000E+00
		.90920E-05	.00000E+00	.14860E-04	.00000E+00
		.22332E-04	.00000E+00		

Рис.3. Статична податливість шпиндельного вузла

58	533.7	.62441E-04	-.26747E+03	.57075E-04	-.26653E+03
		.48902E-04	-.26469E+03	.42278E-04	-.26266E+03
		.84706E-05	-.20825E+03	.71636E-04	-.91034E+02
		.97717E-04	-.88968E+02	.11775E-03	-.87959E+02
		.17363E-03	-.86307E+02	.24573E-03	-.84989E+02
		.32564E-03	-.83972E+02		

W= .5337E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 1
W= .5337E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 2
W= .5337E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 3
W= .5337E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 4
W= .5337E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 9
W= .5337E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 10
W= .5337E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 11

Рис. 4. Перша резонансна частота для шпиндельного вузла 533,7 Гц

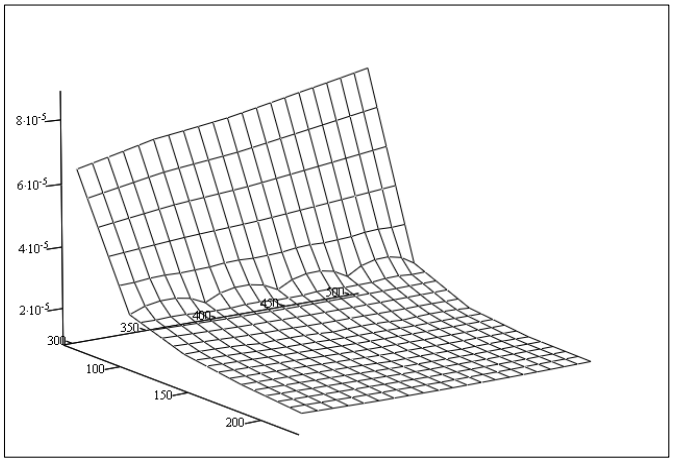
89	687.9	.19371E-04	-.31722E+03	.18857E-04	-.31445E+03
		.18177E-04	-.30992E+03	.17750E-04	-.30597E+03
		.15163E-04	-.28647E+03	.94203E-05	-.23946E+03
		.94271E-05	-.21832E+03	.10203E-04	-.20422E+03
		.14416E-04	-.17889E+03	.20584E-04	-.16396E+03
		.26985E-04	-.15480E+03		

W= .6879E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 2
W= .6879E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 3
W= .6879E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 4
W= .6879E+03 -РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА КООРДИНАТЫ 11

Рис.5. Друга резонансна частота для шпиндельного вузла 687,9 Гц

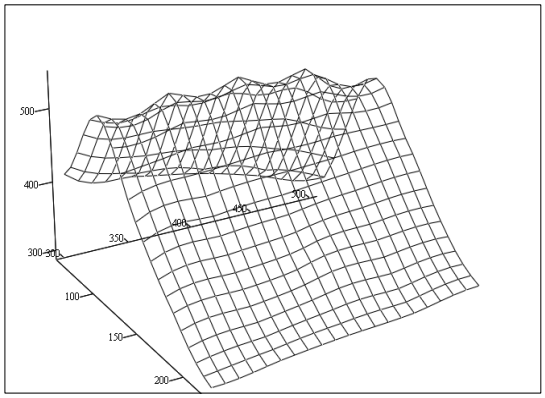
Проте, з іншого боку, для більших діаметрів зростає роль маси шпинделя, що призводить до зміни власних частот коливань системи (рис. 6-б). Так, до діаметра 100мм підвищення резонансної частоти (до 450-500 Гц) є наслідком збільшення діаметра в передній опорі, підвищення жорсткості вала на згин і збільшення жорсткості самої опори. Але з подальшим збільшенням діаметра передньої опори маса і жорсткість шпинделя суттєво збільшується, а жорсткість опори значно менше впливає на частоту, тому вона різко зменшується (до 300 Гц при 200мм). При другому резонансі конструкція веде себе подібно, але пік резонансної частоти знаходиться при діаметрі 180мм.

Щодо міжопорної відстані, то вона теж впливає на резонансну частоту. Для діаметра 60мм зі збільшенням міжопорної відстані резонансні частоти постійно знижуються. Це говорить про те, що оптимальна міжопорна відстань є меншою за 300мм. Для діаметра 100мм знайдено оптимум міжопорної відстані – 400мм. Для інших значень діаметрів зі збільшенням міжопорної відстані їх резонансна амплітуда постійно збільшується. Це говорить про те, що оптимальне значення міжопорної відстані лежить вище обраного діапазону. Резонансні амплітуди (рис. 6-в) теж залежать від діаметра передньої опори та міжопорної відстані, а саме зі збільшенням діаметра та зі зменшенням відстані між опорами амплітуда зменшується, бо шпиндельний вал стає жорсткішим, а також відбувається підвищення жорсткості в опорах. Лише для другого резонансу при діаметрі 180мм спостерігається стрибок амплітуди, що пояснюється другою формою коливань шпинделя.

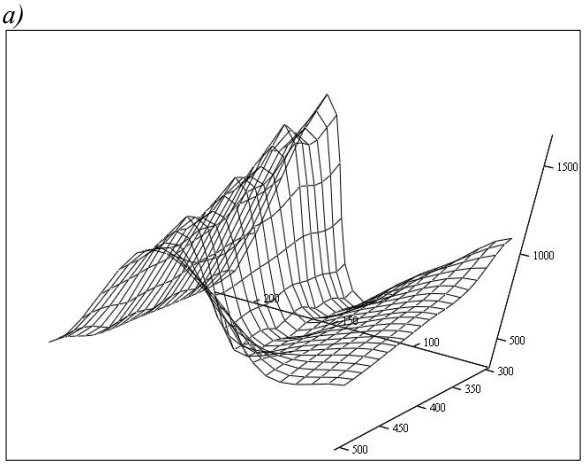


(d, l, Kепс)

а)

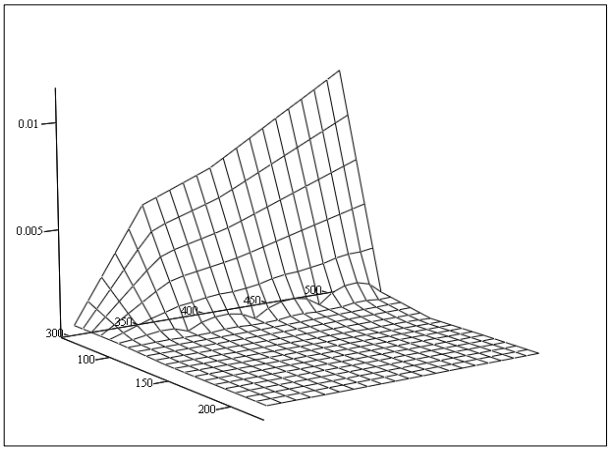


d, l, ω1

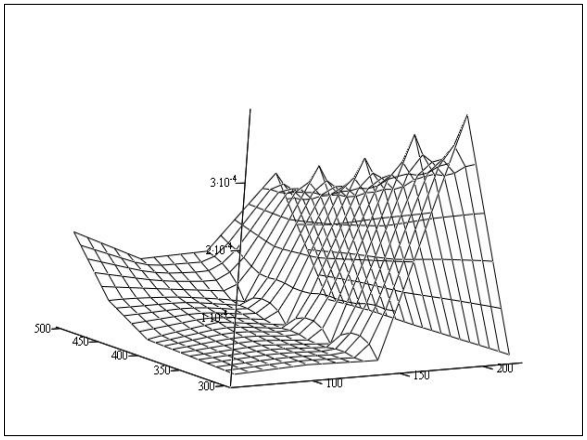


d, l, ω2

б)



(d, l, A1)



в)

а) статична податливість Кепс;
б) резонансна частота ωр (першого та другого резонансу, відповідно);
в) резонансна амплітуда Ар (першого та другого резонансу, відповідно)

Рис.6. 3D-графіки залежності основних динамічних параметрів від діаметра передньої опори та міжопорної відстані шпиндельних вузлів

Для уточнення результатів виконаних розрахунків були проведені додаткові розрахункові експерименти ще для двох діаметрів 80мм та 120мм. При цьому загальна картина впливу діаметра передньої опори та міжопорної відстані не змінилась, але були знайдені оптимальні значення міжопорних відстаней для кожного з діаметрів.

Після проведення основних досліджень виникла необхідність у наступних додаткових дослідженнях.

1. З метою уточнення залежностей для діаметра 100мм міжопорна відстань змінювалась від 240мм до 500мм з інтервалом 20мм.
2. Для знаходження оптимумів уведені два додаткові діаметри 80мм та 120мм і розширено діапазон міжопорних відстаней від 100мм до 900мм.

Додаткові аналогічні розрахунки були проведені для усіх змінних параметрів шпиндельних вузлів. Отримані результати зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Результати розрахункових експериментів

№ п/п	*d*, мм	*l*, мм	$K_{епс}$, мм/Н	Перший резонанс		
				ω_{p1} , Гц	A_{p1} , мм/Н	φ_{p1}
1	2	3	4	5	6	7
1	60	100	.72242E-04	384.3	.18322E-02	-.90155E+02
2	60	150	.58743E-04	429.1	.17089E-02	-.89447E+02
3	60	200	.57644E-04	437.0	.21168E-02	-.86968E+02
4	60	250	.60473E-04	429.0	.28584E-02	-.90029E+02
5	60	300	.64910E-04	413.2	.39360E-02	-.89168E+02
6	60	350	.71319E-04	388.5	.57720E-02	-.90817E+02
7	60	400	.75399E-04	371.4	.71489E-02	-.88408E+02
8	60	450	.80966E-04	346.9	.92064E-02	-.90357E+02
9	60	500	.86572E-04	320.4	.11251E-01	-.87119E+02
10	80	150	.40203E-04	467.1	.77629E-03	-.88961E+02
11	80	200	.35182E-04	502.2	.70326E-03	-.86697E+02
12	80	250	.33910E-04	517.1	.74687E-03	-.87419E+02
13	80	300	.34242E-04	518.9	.87475E-03	-.86977E+02
14	80	350	.35365E-04	511.5	.11135E-02	-.88777E+02
15	80	400	.36917E-04	494.6	.15396E-02	-.90751E+02

Продовження таблиці 1

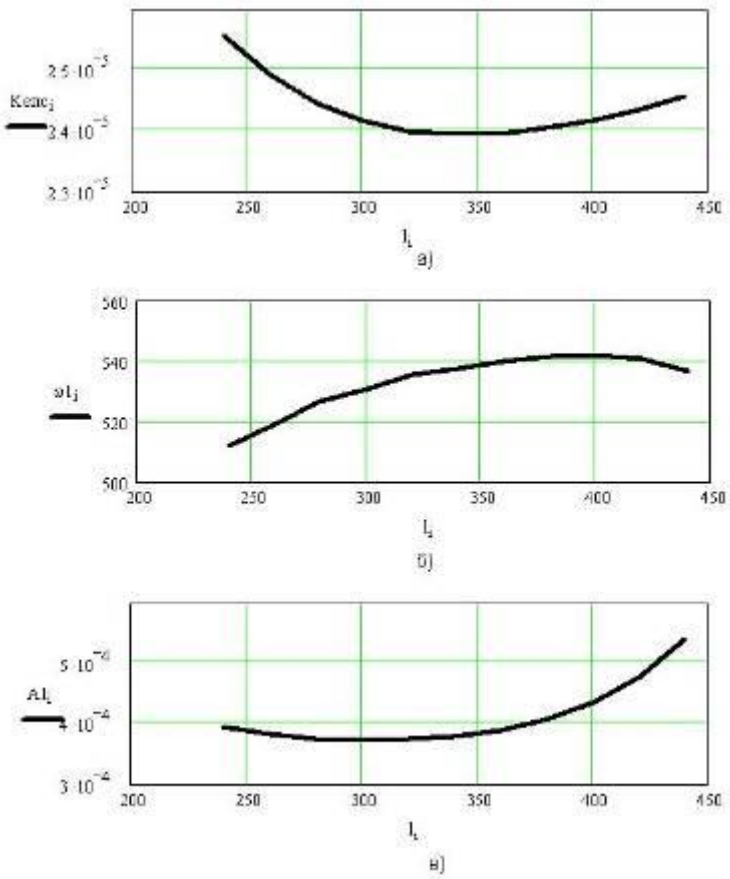
1	2	3	4	5	6	7
16	80	450	.38715E-04	466.3	.22211E-02	-.86650E+02
17	80	500	.40658E-04	428.8	.29803E-02	-.88487E+02
18	100	240	.25568E-04	511.7	.39486E-03	-.88321E+02
19	100	260	.24901E-04	519.0	.38227E-03	-.84795E+02
20	100	280	.24448E-04	526.1	.37490E-03	-.86891E+02
21	100	300	.24159E-04	530.5	.37202E-03	-.84142E+02
22	100	320	.23996E-04	535.2	.37341E-03	-.86575E+02
23	100	340	.23933E-04	537.5	.37904E-03	-.83819E+02
24	100	360	.23950E-04	540.0	.38989E-03	-.85828E+02
25	100	380	.24032E-04	541.5	.40707E-03	-.87332E+02
26	100	400	.24167E-04	541.7	.43395E-03	-.88219E+02
27	100	420	.24344E-04	540.4	.47579E-03	-.88706E+02
28	100	440	.24558E-04	536.1	.53886E-03	-.85105E+02
29	100	460	.24801E-04	529.3	.61970E-03	-.86002E+02
30	100	480	.25070E-04	518.7	.67782E-03	-.93059E+02
31	100	500	.25360E-04	502.2	.69127E-03	-.88384E+02
32	120	300	.19906E-04	487.8	.26401E-03	-.82732E+02
33	120	350	.19096E-04	499.3	.23872E-03	-.82032E+02
34	120	400	.18757E-04	506.9	.22179E-03	-.82400E+02
35	120	450	.18706E-04	510.0	.20858E-03	-.74588E+02
36	120	500	.18842E-04	518.4	.27011E-03	-.85720E+02
37	120	550	.19102E-04	476.4	.11807E-03	-.34802E+02
38	120	600	.19450E-04	434.3	.10700E-03	-.55914E+02
39	120	650	.19859E-04	393.3	.15120E-03	-.57872E+02
40	120	700	.20313E-04	358.0	.21276E-03	-.84075E+02
41	120	750	.20800E-04	324.8	.30197E-03	-.92795E+02
42	140	300	.17808E-04	430.6	.24506E-03	-.87055E+02
43	140	350	.16720E-04	443.2	.21273E-03	-.87181E+02
44	140	400	.16108E-04	450.6	.19007E-03	-.82226E+02
45	140	450	.15790E-04	455.3	.16921E-03	-.78983E+02
46	140	500	.15664E-04	458.6	.13858E-03	-.76025E+02
47	140	550	.15669E-04	446.6	.97268E-04	-.30393E+02
48	140	600	.15764E-04	425.1	.63931E-04	-.13602E+02
49	140	650	.15926E-04	395.2	.50696E-04	-.18308E+02
50	140	700	.16136E-04	370.1	.51033E-04	-.47020E+02
51	140	750	.16382E-04	342.0	.73432E-04	-.63356E+02
52	180	300	.14879E-04	350.1	.22589E-03	-.86074E+02
53	180	350	.14059E-04	358.2	.20115E-03	-.85662E+02
54	180	400	.12878E-04	372.0	.16475E-03	-.87270E+02
60	180	450	.12362E-04	379.3	.14692E-03	-.90131E+02
61	180	500	.12023E-04	383.1	.13367E-03	-.83988E+02
62	180	550	.11807E-04	385.7	.11436E-03	-.77644E+02
63	180	600	.11679E-04	389.4	.11609E-03	-.79309E+02
64	180	650	.11614E-04	391.4	.11391E-03	-.82289E+02
65	180	700	.11596E-04	392.8	.10997E-03	-.84900E+02
66	180	750	.11615E-04	331.0	.25697E-04	-.66107E+01
67	180	800	.11662E-04	319.7	.22386E-04	-.11834E+02
68	180	850	.11731E-04	295.7	.22935E-04	-.66660E+01
69	220	300	.12952E-04	293.0	.21602E-03	-.90466E+02
70	220	350	.11833E-04	304.7	.17706E-03	-.90434E+02
71	220	400	.11073E-04	314.0	.15036E-03	-.91940E+02

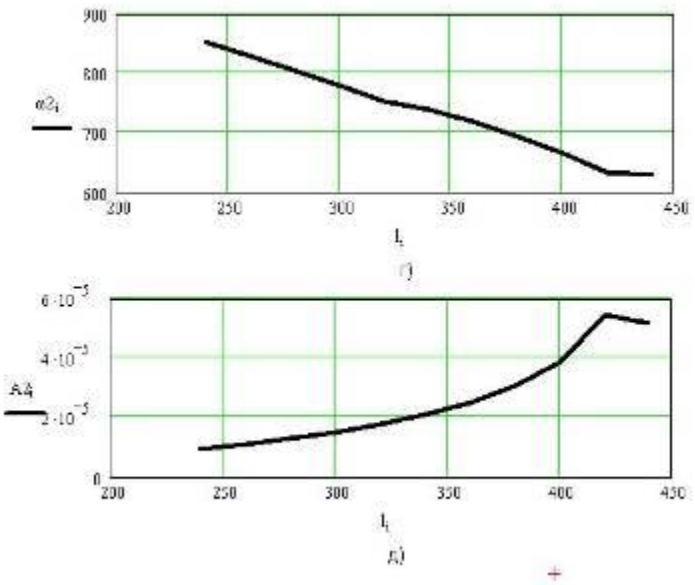
Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
72	220	450	.10545E-04	319.9	.13313E-03	-.80973E+02
73	220	500	.10172E-04	334.3	.10479E-03	-.86496E+02
74	220	550	.99083E-05	335.3	.88611E-04	-.86330E+02
75	220	600	.97220E-05	332.6	.74029E-04	-.70887E+02
77	220	650	.95929E-05	331.2	.55380E-04	-.77255E+02
78	220	700	.95068E-05	325.0	.41264E-04	-.60832E+02
79	220	750	.94536E-05	315.4	.30947E-04	-.36900E+02
80	220	800	.94263E-05	309.3	.20158E-04	-.30059E+02
81	220	850	.94193E-05	291.5	.18668E-04	-.77529E+01
82	220	900	.94286E-05	280.3	.16330E-04	-.36079E+01

За результатами першого додаткового дослідження побудовані графіки залежностей основних динамічних параметрів від міжопорної відстані шпиндельного вузла (рис. 7).

На рисунку 7а зображена залежність статичної податливості від міжопорної відстані, величина якої зі збільшенням міжопорної відстані спочатку зменшується до мінімуму, а потім зростає. Для неї було знайдено оптимальне значення – 340мм. Аналогічно веде себе і перша резонансна амплітуда (рис. 7в), оптимум для якої складає 300мм. Перша резонансна частота (рис. 7б) – навпаки, спочатку зростає до максимуму (при відстані 400мм), а потім падає. Для другого резонансу оптимумів не виявлено. Друга резонансна частота (рис. 7г) постійно падає, а амплітуда (рис. 7д) – зростає.

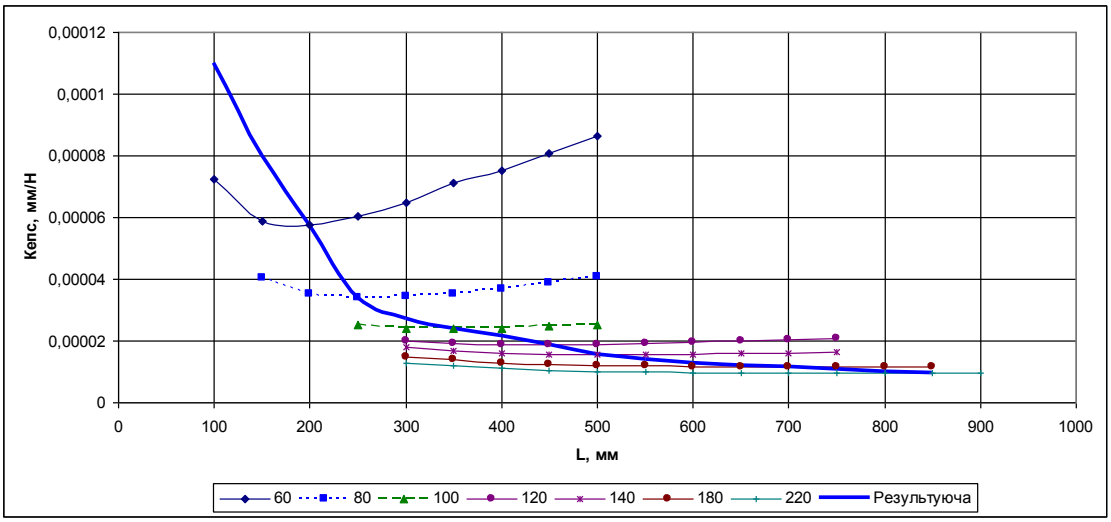




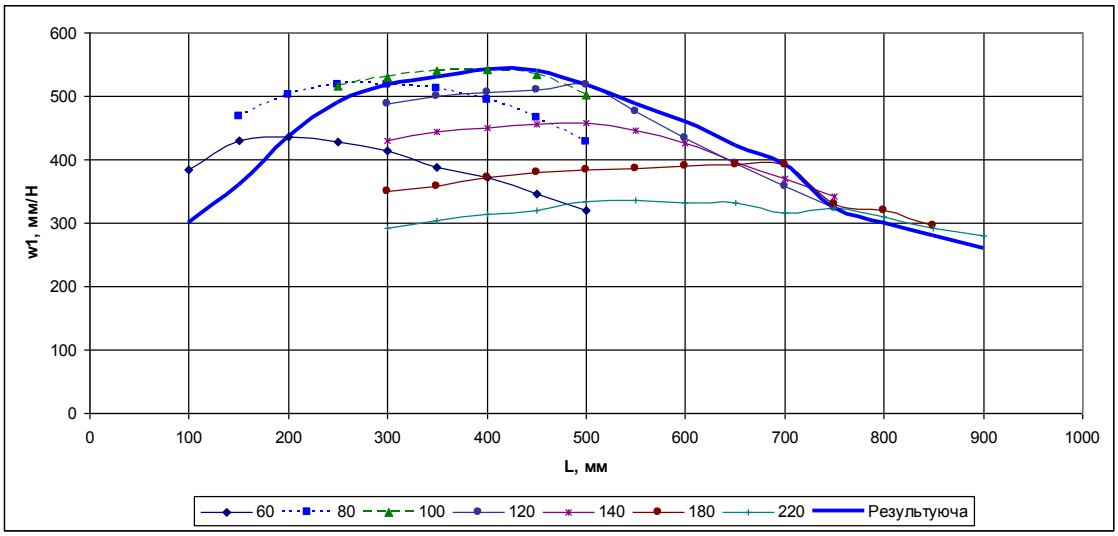
а) статична податливість;
б) перша резонансна частота;
в) перша резонансна амплітуда;
г) друга резонансна частота;
д) друга резонансна амплітуда

Рис.7. Графіки залежності основних параметрів АФЧХ від міжопорної відстані шпиндельного вузла (для діаметра 100мм в передній опорі)

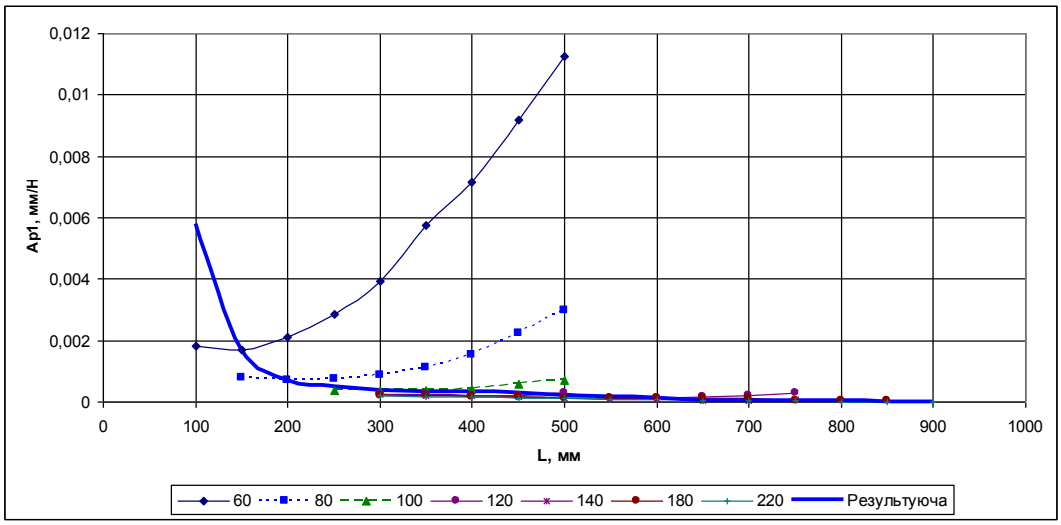
За результатами другого додаткового дослідження побудовані графіки залежності основних параметрів шпиндельних вузлів від міжопорної відстані для різних діаметрів передньої опори – 60, 80, 100, 120, 140, 180, 220мм (рис. 8).



а)



б)



в)

а) статична податливість K_{enc};
б) перша резонансна частота ω_{p1};
в) перша резонансна амплітуда A_{p1}

Рис.8. Графіки залежності основних параметрів шпиндельних вузлів від міжопорної відстані (для різних діаметрів передньої опори – 60, 80, 100, 120, 140, 180, 220 мм)

На рисунку 8а зображений результуючий графік залежності оптимального значення статичної податливості для різних діаметрів від міжопорної відстані. З графіка видно, що зі збільшенням діаметра передньої опори мінімальне значення K_{enc} (статичний оптимум) постійно зменшується і при цьому зміщується в бік збільшення міжопорної відстані.

Подібне явище спостерігається і для першої резонансної амплітуди (рис. 8в), але при інших значеннях міжопорних відстаней.

Щодо першої резонансної частоти (рис. 8б), то її оптимальна (максимальна) величина для різних діаметрів буде різною: до 100мм – зростає, а потім – зменшується.

З графіків видно, що для шпиндельних вузлів великого діаметру (більше 100мм) оптимальні значення K_{enc} і амплітуди змінюються менше, а оптимальна резонансна частота падає. Це можна пояснити тим, що шпиндельний вал стає більш жорстким і масивнішим.

Висновки

Результати приведених досліджень дозволяють зробити важливий висновок про те, що, крім статичних оптимумів основних компоновочних параметрів шпиндельного ву-

зла, існують аналогічні динамічні. При цьому вони не співпадають за значеннями параметрів, хоча і знаходяться поряд (зміщуються як в менший, так і в більший боки від статичних). При цьому для малих діаметрів шпинделів (менш жорстких) точки розташування оптимумів (практично з усіх параметрів) змінюються більш динамічно.

Таке зміщення оптимумів необхідно враховувати при параметричній оптимізації конструкцій шпиндельних вузлів. Особливо це стосується шпиндельних вузлів спеціальних і спеціалізованих верстатів, в яких параметри динамічної системи практично не змінюються протягом усього життєвого циклу роботи верстата.

Отже, для досягнення найкращого результату конструювання шпиндельного вузла потрібно враховувати отримані залежності і забезпечити оптимальні співвідношення між діаметром передньої опори та міжопорною відстанню при заданих параметрах довжини консолі шпинделя.

Бажані раціональні параметри конструкції шпиндельних вузлів (оптимуми компоновок) можна знайти за допомогою розробки спеціалізованої САПР, в якій передбачена багатокритеріальна параметрична оптимізація вузлів як за статичними, так і за динамічними та інших показниками і характеристиками.

Список використаних джерел

1. Данильченко Ю.М. Прецизійні шпиндельні вузли на опорах кочення / Данильченко Ю.М., Кузнєцов Ю.М. – Тернопіль: Економічна думка, 2003. – 342с.
2. Ивович В.А. Переходные матрицы в динамике упругих систем: справочник / Ивович В.А. 2-е издание. – М.: Машиностроение, 1981 – 183с.
3. Кудинов В.А. Динамика станков / Кудинов В.А. – М.: Машиностроение, 1967 – 360с.
4. Пуш А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность / Пуш А.В. – М.: Машиностроение, 1992. – 288с.
5. Чернянский П.М. Оптимальное проектирование шпиндельных узлов с увеличением числа подшипников в опорах / Чернянский П.М., Шабанов В.В. // Технология металлов. – М.: ООО "Наука и технологии", 2007. – № 5. – С. 38-42.
6. Чуприна В.М. Динамічний розрахунок шпиндельних вузлів у САПР металорізальних верстатів / Чуприна В.М., Липлянський Ю.С. // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки". – Чернігів, 2001. – № 13. – С. 44-51.
7. Чуприна В.М. Порівняльний розрахунок динамічних характеристик шпиндельного вузла верстату 16К20Ф3 в САПР / Чуприна В.М., Дмитренко М.А., Лоскутов С.В. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2009. – № 37. – С. 105-116.

УДК 621.941.025

В.В. Кальченко, д-р техн. наук, професор

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Ю.Д. Юрченко, ст. викладач

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

ОБРОБКА АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ ТОКАРНИМИ РІЗЦЯМИ З ВНУТРІШНІМ ТЕПЛОВІДВЕДЕННЯМ

Наведені результати експериментальних досліджень інтенсивності поверхневого зносу та температури різання при обробці аустенітних сталей збірними токарними різцями з внутрішнім тепловідведенням.

Постановка проблеми

Нержавіючі та жаростійкі сталі аустенітного класу широко використовуються в аерокосмічній техніці, машинах та апаратах харчової і хімічної промисловості, теплоенергетиці та інших галузях. Процес токарної обробки таких матеріалів супроводжується інтенсивним теплоутворенням і високою температурою на поверхнях контакту з інструментом, значними силами різання та підвищеним рівнем вібрацій. Усе це призводить до швидкого зносу інструмента, неможливості застосування продуктивних режимів різання та багатократного збільшення часу обробки деталей.

Одним із перспективних шляхів вирішення даної проблеми є застосування збірних токарних різців з внутрішнім тепловідведенням, що забезпечують значне підвищення продуктивності обробки таких сталей та зменшення інтенсивності зносу багатогранних твердосплавних пластин шляхом інтенсифікації відведення тепла із зони різання. Проведення експериментальних досліджень та встановлення оптимальних режимів різання такими інструментами є невід'ємною частиною підвищення ефективності обробки аустенітних сталей.

Аналіз досліджень і публікацій

На основі досліджень науковців [1-10] було встановлено, що визначальними в процесі обробки різанням нержавіючих та жаростійких сталей являються як температурно-силовий фактор, так і фізико-механічні характеристики інструментальних та оброблюваних матеріалів.

А.Д. Макаровим [3] встановлено, що для кожного конкретного сполучення інструментального та оброблюваного матеріалів при роботі на будь-якій подачі оптимальним швидкостям різання відповідає постійна, так названа оптимальна, температура різання Θ_o, при якій забезпечується максимальна розмірна стійкість інструменту. Ф.Я. Якубов [4] показав, що при роботі на оптимальних швидкостях різання температура на контактних поверхнях, деформації та напруження сприяють утворенню поверхневих шарів інструмента зі зносостійкими властивостями.

Виходячи з теорії критичних температур різання металів, А.Н. Єрьоміним [6] були визначені екстремальні точки на кривих усадки і твердості стружки, межі міцності та відносного подовження. У своїй роботі І.С. Правєдніков [8] доводить, що найбільш різка зміна пластичних властивостей та твердості оброблюваних матеріалів і сплавів відбувається при критичних температурах поліморфних перетворень $\Theta_{пп}$. Аналіз вказаних робіт показав, що оптимальна температура різання Θ_o практично співпадає з критичною температурою поліморфних перетворень $\Theta_{пп}$ відповідного оброблюваного матеріалу. Проте, незважаючи на значний накопичений теоретичний та практичний досвід, у літературних джерелах майже відсутня інформація про особливості протікання процесів різання у збі-

рних інструментах з внутрішнім тепловідведенням, що обумовлює потребу подальшого їх дослідження та розробки рекомендацій щодо ефективного використання.

Мета статті

Мета даної роботи полягає у встановленні основних закономірностей впливу режимів різання на інтенсивність відносного поверхневого зносу і температуру різання при обробці аустенітних сталей збірними токарними різцями з внутрішнім тепловідведенням.

Виклад основного матеріалу

Продуктивність та точність обробки тісно пов'язана з розмірною стійкістю інструмента, яка у найбільш повній мірі характеризується величиною відносного поверхневого зносу $h_{в.п}$, мкм/0,1м^2. Відомо, що точки мінімуму на кривих $h_{в.п}$=f(v) відповідають значенням оптимальних швидкостей різання, для яких існує відповідне значення оптимальної температури різання.

Для встановлення значень оптимальних температур та швидкостей різання при обробці аустенітних сталей збірними токарними різцями з внутрішнім тепловідведенням на першому етапі були проведені однофакторні стійкісні дослідження $h_{в.п}$=f(v) при постійних подачі та глибині різання.

Експериментальні дослідження проводились двома серіями. Перша серія – обробка різцями стандартизованої конструкції; друга серія – різцями з внутрішнім тепловідведенням. Дослідження проводили на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20 при зовнішньому поздовжньому точінні заготовок із нержавіючої жаростійкої сталі аустенітного класу 12Х18Н9Т твердістю 160...170 НВ, $\sigma_в$= 600 МПа. Діаметр заготовок знаходився у межах D = 80…130 мм, довжина становила L =250 мм. Закріплення заготовок на верстаті здійснювалось по циліндричній поверхні запресованої оправки з упором по торцю у трьохкулачковому патроні. Другим кінцем заготовка опиралась центровим отвором на центр задньої бабки верстата.

Для дослідів використовувалися експериментальні різці з державками стандартизованої конструкції та державками з внутрішнім тепловідведенням. Збірний різець з внутрішнім тепловідведенням [10] містить державку, в якій виконаний спеціальний канал, заповнений матеріалом з високою теплопровідністю (міддю), що з'єднує нижню поверхню багатогранної різальної пластини з поверхнею різцетримача верстата. Різці оснащувались багатогранними різальними пластинами типу 10114-110408 ГОСТ 19065-80 із твердого сплаву марки Т15К6. Геометричні параметри різців: $\varphi = 45^o$, $\varphi_1 = 27^o$, $\gamma = 5^o$, $\alpha = \alpha_1 = 7^o$, $\lambda = 5^o$, r =1 мм. Швидкість різання змінювалась у діапазоні V = 80…200 м/хв з кроком 20 м/хв, подача становила S = 0,1; 0,25 та 0,4 мм/об, глибина різання становила t = 0,5 мм. Коливання швидкості різання в дослідах становили ± 3 м/хв від прийнятих номінальних значень.

У дослідах використовувалися різальні пластини, що пройшли попереднє тарування на зносостійкість. Розбіжність пластин по зносостійкості не перевищувала ±5%. Величина радіального зносу $h_г$ різальної пластини вимірювалася на інструментальному мікроскопі моделі ИМЦ-100×50, А з електронним блоком цифрової індикації розміру та точністю відліку розміру 0,001 мм. Вимірювання зносу здійснювали через кожні 450…500 м шляху різання.

Кожний дослід повторювався не менше трьох разів з подальшим усередненням отриманих результатів. За результатами кожної серії дослідів будувались графічні залежності радіального зносу $h_г$, мкм від шляху різання l м, на основі яких визначалась величина відносного поверхневого відносного зносу $h_{в.п}$.

Визначення відносного поверхневого зносу здійснювалось за методикою прискорених стійкісних випробувань А.Д. Макарова [3]. При цьому різальні пластини не доводились до повного зносу, коли $h_{гк}$ = 100…120 мкм (точка С на ділянці нормального зно-

су). Оскільки інтенсивність зносу на ділянці АС постійна, то дослід припиняли, коли ділянка нормального зносу між точками А і В мала достатню довжину для точного вимірювання h_r (рис.1). Довжина шляху різання при цьому становила не менше 2000 м.

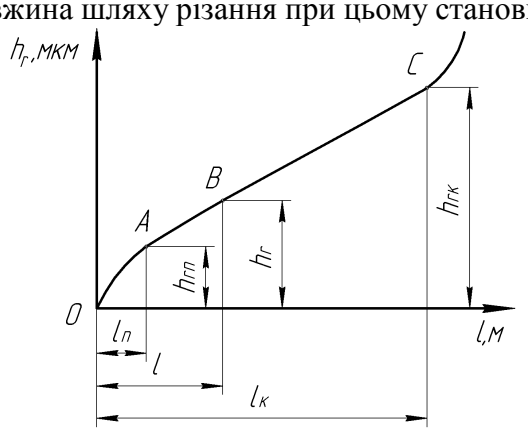


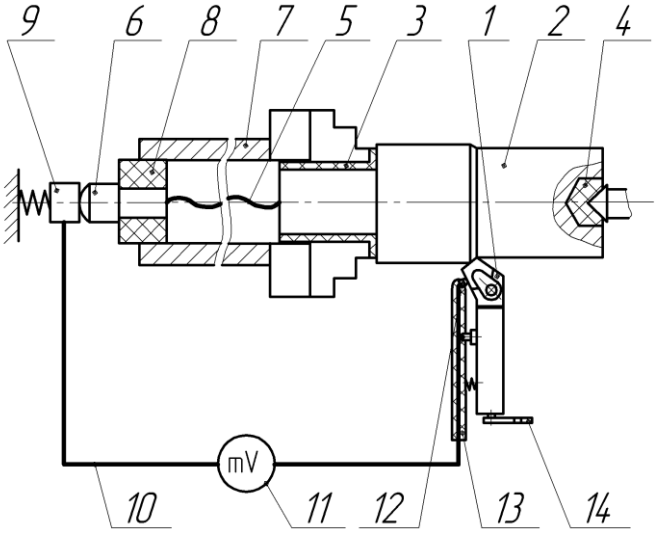
Рис.1. Залежність радіального зносу від шляху різання

Відносний поверхневий знос визначався за формулою

$$h_{в.п} = \frac{(h_r - h_n)100}{(l - l_n)S}, мкм / 0,1м^2 , \quad (1)$$

де h_r – радіальний знос у точці В, мкм; h_n – початковий радіальний знос ув точці А, мкм; l – довжина шляху різання в точці В, м; – l_n – початкова довжина шляху різання в точці А, м; S – подача, мм/об.

Паралельно із стійкісними дослідами проводились також вимірювання температури різання. Температура різання вимірювалася методом природньої термопари. Для проведення дослідів була виготовлена установка, схема якої показана на рис. 2.



1 – різцець, 2 – заготовка, 3 – діелектричні підкладки, 4 – діелектрична вставка, 5 – дріт, 6 – стрижень, 7 – шпиндель верстата, 8 – діелектрична втулка, 9 – струмознімач, 10 – дріт, 11 – мілівольтметр, 12 – рухомий контакт, 13 – важіль, 14 – фіксатор

Рис. 2. Схема установки для вимірювання температури різання

Заготовка ізолювалась від кулачків токарного патрона з допомогою діелектричних підкладок і діелектричної вставки, якою заготовка опиралась на центр задньої бабки верстата. При вимірюваннях температури різання рухомий контакт притискався до різальної пластини пружиною. Рухомий контакт, як і різальна пластина, був виготовлений із твердого сплаву Т15К6 для усунення паразитної термопари.

Різець, на відміну від класичного методу, не ізолювався від різцетримача верстата, оскільки при наявності діелектричних підкладок не можливо було оцінити реальний вплив внутрішнього тепловідведення на температуру різання. У зв'язку з цим вимірювання термо-ЕРС здійснювалось з інтервалом 30…40 с, короткочасним притисканням на 3...5 с рухомого контакту до різальної пластини. Після стабілізації показників мілівольтметра, важіль з рухомим контактом відводився від різальної пластини й утримувався фіксатором, що перешкоджало його нагріванню і появі паразитних термо-ЕРС.

Кожен дослід повторювався три рази з наступним усередненням результатів. Зупинки в процесі дослідів для проведення вимірювань зносу становили в середньому 2,5…3 хв. Інтервал між дослідами становив не менше 60 хв, що було необхідним для охолодження дослідної установки до кімнатної температури (18…20^{0}С), при якій починався кожен із дослідів. За результатами кожної серії дослідів будувались графічні залежності температури різання від швидкості різання $\Theta = f(v)$ при постійних подачі та глибині різання.

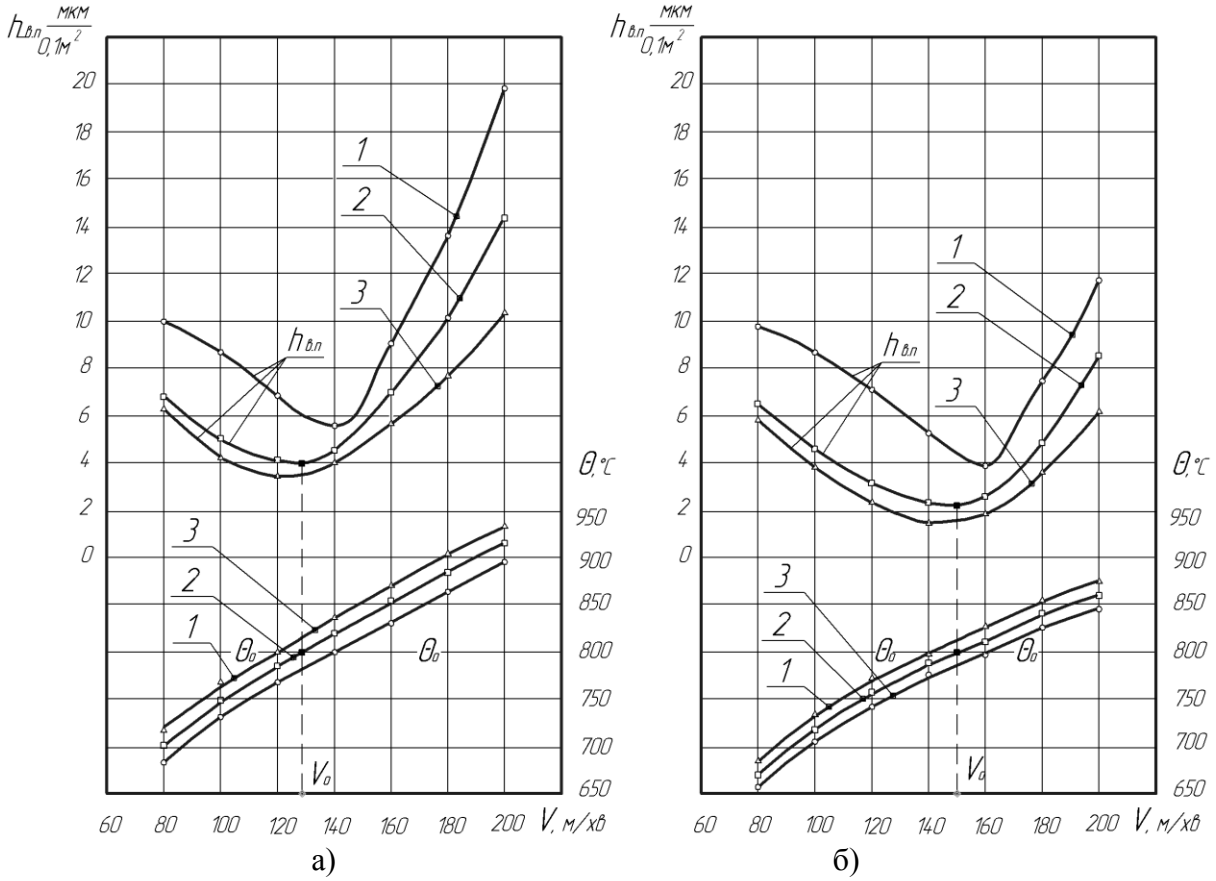
На достовірність результатів вимірювання методом природньої термопари, крім умов термостатування її вільних кінців, впливає також величина вхідного опору мілівольтметра, який використовується для вимірюванні термо-ЕРС [9]. Вхідний опір мілівольтметра повинен бути не меншим 1...2 кОм, тому при проведенні експериментів був використаний мілівольтметр МП-18 кл.1 з вхідним опором 2,5 кОм. Ціна поділки шкали мілівольтметра складала 0,5 мВ, діапазон шкали складав 0...45 мВ.

Тарування термопари "12Х18Н9Т–Т15К6" здійснювалося у стальній ємності із розплавом свинцю. Для цього у розплавлений за допомогою електротигеля, свинець занурювалися на 5…8 секунд два термоелектроди, виготовлені з інструментального та оброблюваного матеріалів, під'єднані дротами до клем мілівольтметра МП-18. Температура розплаву вимірювалася штучною повіреною термопарою типу ХА з електронним блоком цифрової індикації. Похибка вимірювання блоку цифрової індикації температури складала ±1,5^{0}С у діапазоні вимірювання від 0^0 С до +900^0 С.

Під час тарування одночасно реєструвалися температура штучної термопари і напруга на мілівольтметрі натуральної термопари. Тарувальний графік будувався по п'яти точках при температурі розплаву 400...900 ^{0}С. Температура нагрівання розплаву встановлювалась за допомогою автотрансформатора. Значення термо-ЕРС реєструвалися при нагріванні та охолодженні розплаву з подальшим усередненням результатів вимірювань.

Для встановлення залежності температури різання від часу роботи різця один із дослідів кожної серії був проведений при безперервному точінні протягом 20 хвилин. Перерви між проходами різця становили не більше 5…7 с. Після закінчення кожного із дослідів здійснювався контроль радіального зносу (h_r, мкм) та довжини фаски по задній поверхні ($h_З$, мм) різальної пластини.

У результаті проведених досліджень були отримані залежності відносного поверхневого зносу та температури різання від швидкості різання при різній величині подач при обробці сталі 12Х18Н9Т різцями стандартизованої конструкції та різцями з внутрішнім тепловідведенням (рис.3).



1-S = 0,10 мм/об, 2-S = 0,25 мм/об, 3- S = 0,40 мм/об

Рис. 3. Вплив швидкості різання на температуру різання та відносний поверхневий знос при точінні різцем стандартизованої конструкції (а) та різцем з внутрішнім тепловідведенням (б)
(Сталь 12Х18Н9Т, різальна пластинка Т15К6, t = 0,5 мм)

Із отриманих графіків (рис.3) видно, що для обох різців криві залежностей відносного поверхневого зносу від швидкості різання носять немонотонний характер, а положення точок мінімуму залежать як від швидкості різання, так і від подачі. Слід також відмітити, що при збільшенні подачі від 0,1 мм/об до 0,4 мм/об величина відносного поверхневого зносу $h_{в.п}$ зменшується, а точки мінімуму зміщуються у бік менших швидкостей, при роботі на яких зафіксовані однакові температури різання $\Theta = 800\ ^0C$ з коливаннями в межах $\pm 10\ ^0C$.

Така закономірність може бути пояснена тим, що для аустенітної сталі 12Х18Н9Т за даними дослідження [9] при температурі 750^0C, що відповідає початку рекристалізації $\Theta_{п.р}$, відбуваються поліморфні перетворення, внаслідок чого зростає до максимуму пластичність ($\delta_{max} = 98\%$), зменшується міцність (до $\sigma_в = 150$ МПа) та зменшується коефіцієнт усадки стружки, що приводить до зменшення сил різання та їх стабілізації в проміжку температур 750…800 ^0C. Разом з цим при температурах 700…800 ^0C відбувається значне зменшення адгезійних сил, практично зникає наріст та зменшується ділянка контакту стружки з передньою поверхнею інструмента. Все це приводить до зменшення роботи, яка витрачається на стружкоутворення, що у свою чергу приводить до зменшення силового навантаження на різальні кромки інструмента та зменшує інтенсивність його зносу.

У той же час при вказаних вище температурах відбуваються також структурні зміни у контактних шарах інструмента – формування фрагментованої дислокаційної структури зерен WC, TiC та зв’язки-матриці, що створює умови зміцнення робочих поверхонь твердосплавного інструмента та збільшує їх опір контактним навантаженням.

Усі ці фактори обумовлюють існування оптимальної і постійної для даних умов температури різання (Θ_o = 800 ^{0}C), при досягненні якої спостерігається найменша (але різна для різних подач) інтенсивність відносного поверхневого зносу.

За даними Т.Н. Лоладзе [1] при обробці нержавіючих сталей твердими сплавами групи ТК при температурах 700…750 ^{0}C відбувається поступовий перехід від адгезійного до дифузійного зносу, а при температурах 800…850 ^{0}C відбувається головним чином дифузійний знос інструмента, інтенсивність якого може бути надзвичайно висока. Це пояснює різке зростання відносного поверхневого зносу в зоні температур більших за 800 ^{0}C. Як видно із графіків (рис.3), праві гілки кривих відносного поверхневого зносу мають значно більш інтенсивне зростання ніж ліві, де відбувається переважно адгезійне зношування, яке меншою мірою впливає на інтенсивність відносного зносу, ніж дифузійний знос.

Аналізуючи залежності температури різання від швидкості різання, можна зробити висновок, що при обробці різцями з внутрішнім тепловідведенням (рис.3 б) температури різання у діапазоні швидкостей V = 80…200 м/хв були меншими на 30…70 ^{0}C у порівнянні з різцями стандартизованої конструкції (рис.3 а). В наслідок цього відбувається зміщення точок мінімуму відносного зносу в бік більших швидкостей. Так, при подачі S = 0,25 мм/об оптимальна швидкість різання становила V_o = 127 м/хв для різця стандартизованої конструкції та V_o = 150 м/хв для різцями з внутрішнім тепловідведенням. При цьому величина $h_{в.п}$ була менша у 1,8 рази для різця з внутрішнім тепловідведенням у порівнянні з різцем стандартизованої конструкції. Із графіків видно, що при одній і тій же величині відносного зносу $h_{в.п}$ = 4 мкм/0,1м^2 швидкість різання для різця з внутрішнім тепловідведенням може бути збільшена до 175 м/хв, що дозволяє збільшити продуктивність обробки в 1,38 рази. В той же час, при роботі з подачею S = 0,40 мм/об при тих же умовах, швидкість різання для різця з внутрішнім тепловідведенням може бути збільшена у 1,5 рази.

Дещо протиречивим на перший погляд є зменшення відносного поверхневого зносу при збільшенні подачі, оскільки при цьому відбувається зростання температури різання та активізація адгезійного та дифузійного зносу. Але в той же час при збільшенні подачі відбувається збільшення шляху різання, що приводить до зменшення відносного поверхневого зносу. Також при збільшенні подачі відбувається зменшення коефіцієнта усадки стружки, що приводить у свою чергу до зменшення сил різання та інтенсивності зносу. Тому можна зробити висновок, що у даних умовах зростання температури різання створює менший негативний вплив на відносний поверхневий знос, ніж позитивний, від збільшення шляху різання та зменшення сил різання.

За результатами дослідів при безперервному точінні протягом 20 хв (V = 180 м/хв, S = 0,25 мм/об, t = 0,5 мм) радіальний знос становив h_r=65 мкм (знос по задній поверхні $h_з$=0,53 мм) для різця з внутрішнім тепловідведенням та h_r=153 мкм ($h_з$=1,25 мм) для різця стандартизованої конструкції. Більш значна різниця зносу (у 2,35 рази) свідчить про те, що ефективність внутрішнього відведення тепла зростає при обробці довгомірних деталей.

Враховуючи те, що для досягнення мінімальної собівартості слід працювати на швидкостях V_{Cmin} які у 1,2…1,25 рази більші ніж оптимальні V_o [4], то ефект від застосування різців з внутрішнім тепловідведенням у таких умовах буде зростати.

Висновки

Проведенні дослідження показали, що інтенсифікація внутрішнього відведення тепла із зони різання забезпечує значне підвищення стійкості різальних пластин та продуктивності обробки аустенітної сталі.

Збільшення розмірної стійкості різців з внутрішнім тепловідведенням може позитивно впливати на точність обробки.

Обробку аустенітних сталей слід виконувати на швидкостях різання V_o або V_{Cmin} при можливо більших подачах.

Найбільш ефективне застосування різців з внутрішнім тепловідведенням може бути досягнуте при обробці аустенітних сталей та інших важкооброблюваних матеріалів в умовах роботи без застосування МОТС при інтенсивному теплоутворенні та високими температурами в зоні різання.

Список використаних джерел

1. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Лоладзе Т.Н. – М.: Машиностроение, 1982. – 318 с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / Бобров В.Ф. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1976. — 278 с.
4. Основи теорії різання матеріалів: підручник для вищ. навч. закладів / Мазур М.П., Внуков Ю.М., Доброскок В.Л. [та ін.]. – Львів: Новий Світ-2000, 2010. – 422 с.
5. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / Резников А.Н. – М.: Машиностроение, 1981. – 348 с.
6. Ерёмин А.Н. Физическая сущность процесса резания сталей / Ерёмин А.Н. – Свердловск: Машгиз, 1951. – 226 с.
7. Григорович В.К. Твёрдость и микротвёрдость металлов / Григорович В.К. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
8. Праведников И.С. Физическая сущность критических температур резания / Праведников И.С. // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 3. – С.297-310.
9. Слободяник П.Т. Методы и средства контроля температуры при механической обработке / Слободяник П.Т. // Машиностроит. пр-во. Сер. Технология и оборудование обработки металлов резанием: Обзор информ. ВНИИТЭМР.– М., 1990. – Вып. 2. – 36с.
10. Мироненко В.В. Збірні токарні різці з внутрішнім тепловідводом / Мироненко В.В., Юрченко Ю.Д. // Вісник ЧІТІ. – Черкаси, 2002.

РОЗДІЛ ІІІ. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.03

Ю.В. Фальченко, канд. техн. наук
С.Г. Григоренко, канд. техн. наук
В.Е. Федорчук, мол. наук. співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, м.Київ, Україна

М.М. Руденко, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м.Чернігів, Україна

ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕРЕХІДНИКІВ НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ-АЛЮМІНІЙ ЗВАРЮВАННЯМ ТИСКОМ У ВАКУУМІ

Розроблена технологія зварювання тиском у вакуумі біметалічних трубних перехідників з нержавіючої сталі Х18Н9Т с алюмінієм АД1. Встановлено, що модифікування поверхні сталевої заготовки за допомогою отворів сприяє локалізації пластичної деформації в стику й одержанню зварних з'єднань з міцністю не нижче міцності алюмінію.

Вступ

У ряді сучасних конструкцій, наприклад, енергетичних апаратах, питання про можливість утворення надійних з'єднань труб з різнорідних металів є питанням про можливість одержання цих апаратів взагалі.

З'єднання труб з алюмінієвих сплавів з трубами зі сталей за допомогою перехідників широко застосовується в конструкціях вузлів, де до них пред'являються високі вимоги за працездатністю. У посудинах для зберігання й транспортування криогенних продуктів використовують труби з нержавіючої сталі й алюмінієвих сплавів, які з'єднують за допомогою вставок та перехідників.

Складність одержання зварних з'єднань алюмінію зі сталлю зумовлена:

1) значною різницею в температурах плавлення сталі (~1530^{0}С) і алюмінію (660^{0}С);
2) відмінностями в коефіцієнтах лінійного розширення: для алюмінію – 23,5х10^{-6}, заліза – 11,9х10^{-6} 1/ºС при кімнатній температурі та відповідно 31,1х10^{-6} і 14,3х10^{-6} 1/ºС при 500 ºС;
3) наявністю на поверхні алюмінію тугоплавкої окисної плівки – Al_2O_3.

Метою даної роботи є розробка технологічного процесу зварювання тиском у вакуумі біметалічних трубних перехідників сталь-алюміній з міцністю на рівні міцності алюмінію.

Дослідження впливу обробки поверхні на формування зварного з'єднання

Дослідження впливу обробки поверхні на формування зварних з'єднань проводили на плоских і циліндричних зразках. Розмір плоских зразків: сталь Х18Н9Т – 50х20х2мм, алюміній АД1 – 50х20х4 мм. Поверхні зразків з нержавіючої сталі перед зварюванням шліфували або шліфували й полірували. Поверхні зразків з алюмінію перед зварюванням зашабрювали. Зварювання зразків проводили у вільному стані при температурі Т=500 ^{0}С, тиск Р=8 МПа, швидкість нагрівання v≈ 5 ^{0}С/хв. Деформація з'єднань становила ε = ~25%. Температуру й тиск процесу зварювання вибирали, виходячи з рекомендацій робіт [1;2].

Відомо, що основні складнощі при дифузійному зварюванні у вакуумі нержавіючої сталі з алюмінієм виникають внаслідок утворення в стику тендітних інтерметалідних з'єднань. Інтерметаліди на початкових стадіях розвитку, коли вони не утворюють суцільного шару в контакті, практично не виявляють впливу на механічні характеристики

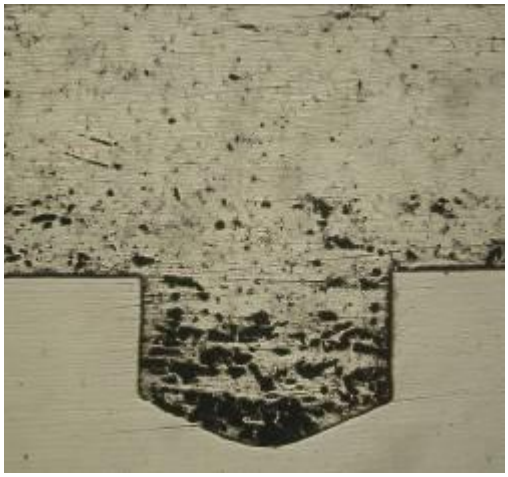
з'єднання. При наявності в контакті суцільного інтерметалідного шару пластичність і міцність з'єднань падає. Це зумовлено не тільки високою крихкістю нової фази, але й внутрішніми напруженнями, що виникають внаслідок об'ємних змін [3]. При зварюванні металів, що утворюють інтерметаліди, необхідно прагнути звести до мінімуму третю стадію процесу дифузійного зварювання – стадію об'ємної взаємодії, зумовлену дифузійними процесами. Тому час зварювання становив t = 1 хвилину [3].

Після зварювання отримані з'єднання розрізали на електроерозійному верстаті на смужки розміром 50х9 мм. Проводили випробування з'єднань на кут загину. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що більш високу міцність мають зразки, у яких поверхня сталевої деталі оброблена шліфуванням. Кут загину таких з'єднань становить $\alpha=120^0$. Однак треба відзначити, що в обох випадках відбувалося розтріскування з'єднань на краях.

Відомо [4;5], що застосування м'яких перфорованих прошарків дозволяє локалізувати пластичну деформацію на контактній поверхні деталей, що зварюються. При зварюванні металокерамічних з'єднань модифікування поверхні кераміки [6] шляхом створення на її поверхні «армуючих отворів» дозволяє підвищити тріщиностійкість виробів в 1,3…1, 5 рази. Тому, для усунення розтріскування з'єднань, поверхню сталевої пластини модифікували шляхом висвердлювання «глухих» отворів.

Отвори на поверхні сталевої пластини робили діаметром Ø2,5 мм глибиною ~ 1,2 мм з кроком 10х10 мм. Отримані з'єднання також випробовували на кут загину. Кут загину склав $\alpha=180^0$, при цьому розтріскування з'єднань не спостерігалося.

Проведені металографічні дослідження біметалічних з'єднань (рис.1). У зоні з'єднання зразків з отворами виявлено окремі ділянки з наявністю шару інтерметаліду (рис. 1а). У зразку без отворів інтерметалід займає 50-70% від площі зони з'єднання (рис. 1б). Необхідно відзначити, що зварювання обох зразків здійснювалося одночасно.



x100

а)

x100

б)

Рис.1. Мікроструктура зони з'єднання зразків зі сталі Х18Н9Т й алюмінію АД1: а – з'єднання з отворами на поверхні сталевої заготовки; б – з'єднання без отворів

Відомо, що збільшення швидкості пластичної деформації приводить до зменшення товщини інтерметалідного шару в 2-3 рази [7]. Також відомо, що в початковий час зварювання напруження, що діють у контакті, значно перевищують межу текучості, і розвивається активна пружнопластична деформація мікровиступів. Через кілька секунд після додавання навантаження швидкість деформації падає на 2…3 порядки, і процес

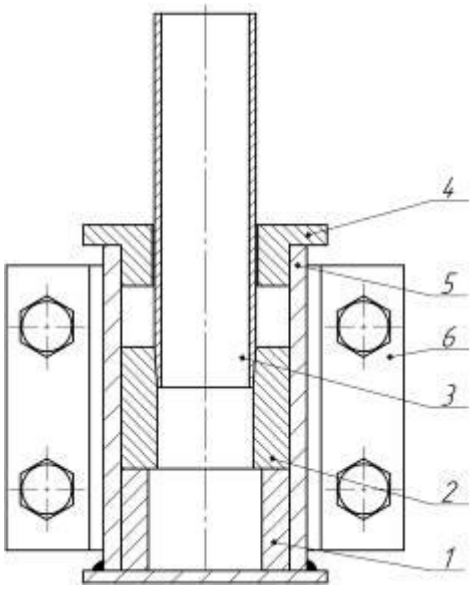
переходить у стадію несталої повзучості [8]. Можна припустити, що отримана різниця в товщині шару, що утворювався, інтерметаліду в зразку з отворами й у зразку без отворів зумовлена різними швидкостями пластичної деформації приконтактних шарів алюмінію щодо поверхні нержавіючої сталі. У випадку зварювання зразка з отворами швидкість пластичної деформації алюмінію була вище, ніж у випадку зварювання зразка без отворів.

Дослідження особливостей зварювання тиском у вакуумі трубних заготовок

Зварювання трубних заготовок з нержавіючої сталі Х18Н9Т і алюмінію АД1 проводили у вакуумній камері установки П-115. Сталева труба мала зовнішній діаметр Ø25 мм, внутрішній – Ø20 мм, висоту – 30 мм, а алюмінієва труба – відповідно Ø41,5 і Ø23,6 мм при висоті 30 мм.

Для проведення зварювання було виготовлено розбірне обладнання (рис. 2), призначене для центрування й фіксації трубних заготовок перед зварюванням. Схема обладнання і його вид представлені на рис. 2. Усередину обладнання вставляли опорну шайбу 1, на яку встановлювали алюмінієву заготовку 2. У щільному контакті з алюмінієвою заготовкою перебувала сталева заготовка 3, зверху яку центрувала розбірна напрямна шайба 4. Фіксацію трубних заготовок та центруючих втулок здійснювали за допомогою двох сталевих ободів 5, до яких були приварені провушини 6 з отворами. Відповідно до відпрацьованої на зразках методики, на поверхні сталевої трубки висвердлювали отвори (рис. 3). На кінці сталевої трубки для центрування з алюмінієвою трубкою створювали конусність. Безпосередньо перед зварюванням поверхні зразків знежирювали ацетоном.

Після зварювання отримане біметалічне з'єднання розрізали на електроерозійному верстаті на циліндричні заготовки товщиною 5 мм. На рис. 4 представлений макрошліф з'єднання Х18Н9Т-АД1. Як видно з рис. 4, у процесі зварювання відбувається повне заповнення отворів алюмінієм, що видавлюється за рахунок пластичної деформації приконтактних об’ємів металу. Проведені механічні випробування показали, що руйнування зварних з'єднань відбувається по алюмінію.



а)

б)

Рис.2. Обладнання для одержання біметалічних труб: а – схема обладнання, б – вид у зборі

Рис.3. Вид сталевої заготовки

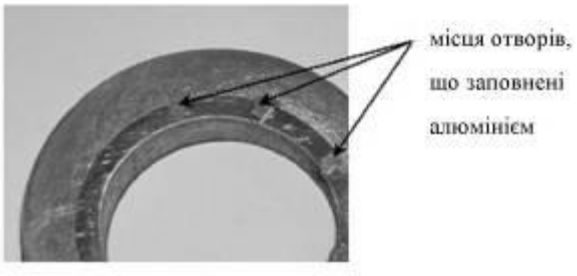


Рис.4. Макрошліф зварного з'єднання

Висновки

Розроблена технологія одержання біметалічних трубних з'єднань Х18Н9Т-АД1 методом зварювання тиском у вакуумі. Модифікування поверхні більш твердої сталевої заготовки отворами дозволяє збільшити швидкість пластичної деформації приконтактних шарів алюмінію, що забезпечує одержання зварних з'єднань з мінімальною товщиною інтерметалідного шару.

Список використаних джерел

1. Бачин В.А. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки / Бачин В.А., Квасницкий В.Ф., Котельников Д.И. [и др.] – М.: Машиностроение, 1991. – 271 с.
2. Диффузионная сварка материалов: справочник / под ред. Н.Ф. Казакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
3. О формировании соединений при диффузионной сварке в вакууме / Копылов Ю.Н., Казаков Н.Ф., Гришин И.С., Конюшков Г.В. // Диффузионная сварка в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов: сборник научных трудов VII всесоюзной научно-технической конференции. – Москва, 1973. – №6. – С. 12-25.
4. Мусин Р.А. Интенсификация пластической деформации прокладок при диффузионной сварке / Мусин Р.А., Лямин Я.В. //Автоматическая сварка. – 1991. – №8. – С. 26-29.
5. Мусин Р.А. Деформируемость перфорированных прокладок при диффузионной сварке / Мусин Р.А., Лямин Я.В.// Сварочное производство. – 1994. – №6. – С.24-26.
6. Разработка методов интенсификации процесса диффузионной сварки и повышение прочности металл-керамических соединений: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лямин Я.В. – Пермь, 1998. – 20 с.
7. Терновский А.П. Особенности образования соединений разнородных металлов при диффузионной сварке по схеме принудительного деформирования / Терновский А.П., Каракозов Э.С., Зимидченко С.С. // Автоматическая сварка. – 1983. – №3. – С.31-34.
8. Конюшков Г.В. Диффузионная сварка в электронике / Г.В. Конюшков, Ю.Н. Копылов. – М.: Энергия, 1974. – 167 с.

УДК 621.9.048:621.791–442.2

А.Б. Жидков, канд. техн. наук
З.А. Гумбатов, студент

Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, г. Луганск, Украина

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИБРООБРАБОТКИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Описана программа, реализующая обобщенную математическую модель взаимодействия поля остаточных и вибрационных напряжений. В качестве исходных данных в программе используются основные характеристики дебалансного вибратора, геометрические параметры его расположения, геометрические характеристики сечения в окрестностях исследуемой точки, характеристики обрабатываемого материала и начальное распределение остаточных напряжений. С использованием программы выявлен характер зависимостей между основными параметрами низкочастотной виброобработки и ее эффективностью, которая определялась как величина пластической деформации по любому из главных направлений.

Постановка проблемы в общем виде

Качество сварных конструкций во многом определяется максимальными значениями и градиентами остаточных напряжений в отдельных сварных соединениях. Одним из способов снижения пиковых значений и уменьшения неравномерности распределения остаточных напряжений является послесварочная низкочастотная виброобработка (НВО). В настоящее время не существует полного теоретического описания процессов перераспределения напряжений в результате НВО. При практическом использовании режимы обработки подбирают для каждой конкретной конструкции эмпирически, и правильность их выбора во многом зависит от опыта специалистов, проводящих НВО.

Анализ последних публикаций

Основными параметрами НВО являются величина вибрационной силы, частота обработки, схема расположения вибратора и время обработки [1; 2]. Однако анализ процессов, происходящих при взаимодействии поля остаточных напряжений с полем вибрационных напряжений, показал, что важными являются также характер распределения вибрационных напряжений, начальное распределение остаточных напряжений, свойства основного металла, параметры АЧХ конструкции и другие технологические факторы, которые не были учтены ранее [3-5]. Влияние на АЧХ обрабатываемого тела различных схем объединения изделий в блоки, применение двух вибраторов, а также расположения опор и дополнительных масс показало ограниченные возможности данных способов управления НВО [6; 7].

Цель статьи

Целью данной статьи является оценка влияния различных параметров НВО на степень снижения пиковых напряжений в сварном соединении и установления взаимной связи между этими параметрами.

Основной материал

Объектом исследования выступала математическая модель взаимодействия собственного поля остаточных напряжений с вибрационными напряжениями, возникающими при НВО. В качестве расчетных параметров использовали следующие переменные:

- положение центра дебалансного вибратора относительно исследуемой точки сварного соединения. Задается координатами X,Y,Z в декартовой системе координат, центром которой является исследуемая точка, а направления осей X,Y,Z совпадают с направлением главных остаточных напряжений σ_1, σ_2, σ_3;

- параметры дебалансного вибратора. Задаются величиной массы дебаланса, радиусом вращения дебаланса, частотой вращения и углами поворота плоскости вращения дебаланса относительно всех трех осей декартовой системы координат, описанной выше. Данные параметры позволяют определить проекции действия вибрационного усилия на выбранные оси в каждый момент времени для одного оборота вибратора с заданным шагом, шаг разбивки для каждого оборота также задается;

- распределение остаточных (начальных) напряжений для исследуемой точки. С учетом особенностей распределения напряжений в сварных соединениях, выполненных сваркой плавлением, практически всегда можно считать известными максимальные значения и направления действия главных напряжений. Так, для прямолинейного шва, выполненного на жестком листе из низкоуглеродистой стали, обычно σ_1 направлены вдоль шва и достигают $\sigma_{0,2}$ основного металла, σ_2 направлены поперек шва и достигают $0{,}5\sigma_{0,2}$ основного металла, а σ_3 направлены перпендикулярно плоскости сварки и составляют до $0{,}3\sigma_{0,2}$ основного металла. В других случаях численные значения остаточных напряжений могут быть оценены по-иному;

- геометрические характеристики сечений, перпендикулярных соответствующим осям в окрестностях искомой точки. Задаются площадями и моментами инерций относительно соответствующих осей;

- статические и динамические характеристики обрабатываемого материала. Задаются в виде динамического предела текучести материала, модуля Юнга и объемного коэффициента Пуассона.

В качестве основной гипотезы выбрана гипотеза о начале пластической деформации при нахождении точки, характеризующей напряженное состояние материала в координатах главных напряжений на поверхности цилиндра Мизеса. При этом, ввиду малости пластических деформаций, связь между напряжениями и деформациями принята линейной (Закон Гука).

Для реализации обобщенной модели создана программа, позволяющая рассчитывать величину суммарных напряжений и пластических деформаций за один оборот вибратора при заданных параметрах в окрестностях заданной точки. Внешний вид окна программы показан на рис. 1.

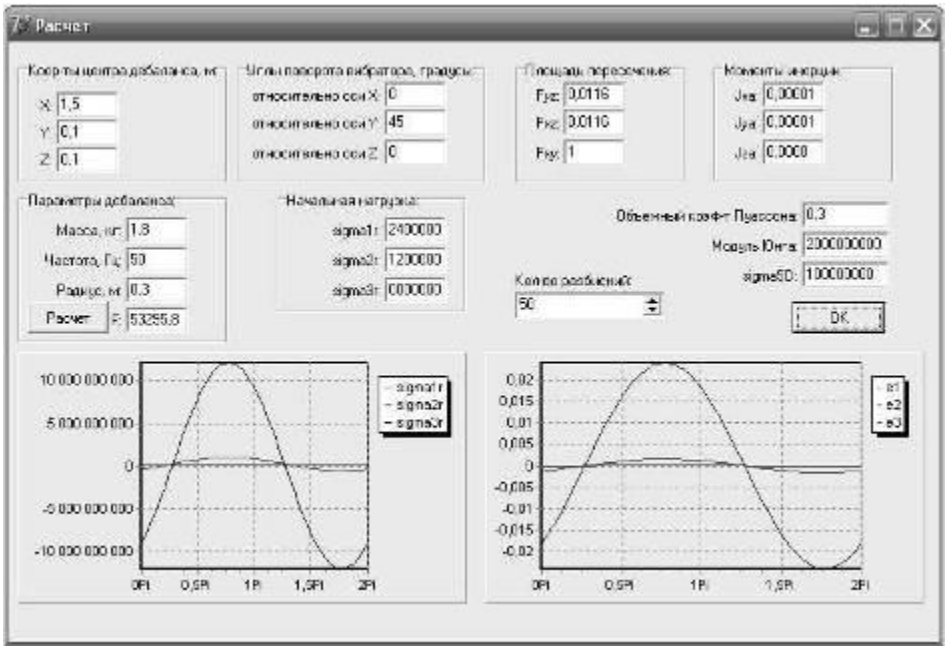


Рис. 1. Внешний вид окна программы Vibro

Результаты выводятся в виде графиков напряжений σ_1, σ_2, σ_3 и деформаций ε_1, ε_2, ε_3, а также сохраняются в файле Excel, структура которого показана на рис. 2.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Углы, градусы				Параметры дебаланса				Координаты		
2	Альфа	Бета	Гамма		Частота	Радиус	Масса		X	Y	Z
3	0	45	0		50	0,3	1,8		1,5	0,1	0,1
4											
5	Площади пересечений				Моменты инерции				Начальные напряжения		
6	Fyza	Fxza	Fxya		Jxa	Jya	Jza		sigma1	sigma2	sigma3
7	0,0116	0,0116	1		0,00001	0,00001	0,0008		2,4E+08	1,2E+08	30000000
8											
9	Коэф-т Пуассона		Модуль Юнга		sigmaSD			Вибрационная сила			
10	0,3		2E+11		100000000			53295,86377			
11											
12	Phi, рад	sigma1	sigma2	sigma3	e1	e2	e3				
13	0	-3,6E+08	75248033	-9,1E+09	-0,0012	-9E-05	-0,01816				
14	0,128228	-2,9E+08	79531015	-8E+09	-0,00105	-8,1E-05	-0,01598				
15	0,256457	-2,1E+08	84478497	-6,7E+09	-0,00089	-7,1E-05	-0,01354				
16	0,384685	-1,2E+08	90009240	-5,4E+09	-0,00071	-6E-05	-0,01087				
17	0,512913	-2,3E+07	96032431	-4E+09	-0,00053	-4,8E-05	-0,00802				

Рис. 2. Структура результирующего файла

В текущей версии программы ввод исходных параметров и вывод результатов осуществляется в системе СИ.

Необходимо отметить, что не все исходные параметры являются независимыми для реальных задач. Так, геометрические характеристики сечения зависят от конкретного изделия, положения центра вибратора в выбранной системе координат и углов поворота плоскости вибратора относительно осей. Набор характеристик материала также определен и не может изменяться для одного материала, а распределение начальных напряжений остается постоянным только в начальный момент времени, а затем изменяется в процессе релаксации под действием НВО. Величина вибрационной силы зависит от геометрических параметров вибратора и частоты.

Необходимо также отметить, что в данной модели не рассматривались резонансные колебания, при которых на собственных частотах изделия эквивалентные вибрационные усилия скачкообразно возрастают в несколько раз.

Однако в частных случаях возможны практически любые сочетания геометрических параметров, входящих в модель, и сочетания остаточных напряжений. Параметры вибратора и характеристики материала представляются более определенными и варьироваться в рамках данной работы не будут.

С использованием описанной выше программы был проведен вычислительный эксперимент с целью выявления наиболее и наименее значимых параметров. Варьирование параметров было произведено от максимальных до минимальных значений при рассмотрении НВО балки коробчатого типа с использованием наиболее вероятных конкретных значений. Такой подход позволил сузить пределы изменения исследуемых параметров. При варьировании предполагалось, что параметры являются независимыми.

В качестве целевой функции были выбраны наибольшие значения деформаций в любом из главных направлений. Поскольку эффективность обработки определяется величиной изменения начальных уровней напряжений, а реализуются такие изменения только за счет пластической деформации. Можно считать, что наиболее эффективными будут такие параметры обработки, при которых $\varepsilon_i \rightarrow \max$.

Выявлен характер зависимости между основными исходными параметрами и наибольшими деформациями.

Установлено, что параметры, описывающие положение вибратора (координаты и углы поворота относительно осей координат), связаны с величиной пластической деформации экспонентными зависимостями. Причем, в отдельных случаях изменение одного или нескольких из этих параметров не влияет на величину пластической деформации.

Связь между геометрическими характеристиками сечения и величиной пластической деформации линейная.

Необходимо отметить, что в каждом конкретном случае любой из параметров имеет выраженные экстремумы, что дает возможность определить такие параметры режима для обрабатываемой конструкции, которые приведут к снижению той или иной составляющей напряженного состояния в конкретной точке (зоне) конструкции. Используя предложенную модель и программу, можно также выбрать оптимальную последовательность обработки с тем, чтобы избежать высоких уровней локального перенапряжения металла, что приводит к росту скорости пластической деформации и появлению повреждений вследствие исчерпания локальной пластичности.

Практическое использование программы показало, что большой объем используемых исходных переменных и большой объем полученных результатов затрудняет работу с ней. Для решения практических, а не исследовательских задач необходимо создать средства автоматизированного ввода или импорта из файлов-библиотек исходных параметров и оптимизировать поиск нужных данных в результатах.

Выводы

Используя разработанную модель и программу, можно спрогнозировать величину пластической деформации по любым главным направлениям для заданных параметров НВО. Полученный характер зависимостей между исходными параметрами и величиной пластической деформации могут служить основой для оптимизации параметров режима НВО. Ни один из параметров, использованных в модели, не является незначимым, но в отдельных случаях изменения любого из параметров режима обработки не приводит к заметному изменению эффективности НВО.

Список использованных источников

1. Рагульскис К. М. Вибрационное старение / Рагульскис К. М., Стулильнас Б. Б., Толутис К. Б. – Л.: Машиностроение, 1987. - 72 с.

2. Лащенко Г.И. Вибрационная обработка сварных конструкций / Лащенко Г.И. – К.: Экотехнология, 2001. – 56 с.

3. Гедрович А.И. Новые возможности повышения качества сварных конструкций с применением виброобработки / Гедрович А.И., Жидков А.Б. // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 3 (426). – С. 89-94.

4. Жидков А. Б. Теоретическое обоснование выбора режима виброобработки ответственных металлоконструкций / Жидков А. Б. // Вісник ДонНАБА 2009-5(79): матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. Том 1. «Будівлі та конструкції з застосуванням нових матеріалів та технологій». – Макіївка, 2009. – С. 32-34.

5. Жидков А.Б. Основные подходы к управляемой виброобработке сварных конструкций / Жидков А. Б. // Вібрації в техниці та технологіях. – 2010. – № 3 (59). – С. 16-20.

6. Жидков А.Б. Вплив технологічних факторів на процес віброобробки зварних конструкцій з метою підвищення їх ресурсу / Жидков А.Б., Сисоєв В.О. // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. пр. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2010. – С. 142 – 149.

7. Жидков А.Б. Модель колебаний балки при нагружении двумя вибраторами / Жидков А.Б., Стативка Ю.И. // Вісник Східноукр. держ. ун-ту ім. В.Даля. – 2010. – № 3 (145). Ч. 2. – С. 61-67.

УДК 621.791:666.1.037.42

Л.Я. Березін, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОВНІШНІХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ РІЗНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуті основні напрямки використання зовнішніх електричних полів для отримання нероз'ємних з'єднань різнорідних матеріалів. Визначені оптимальні умови для отримання вакуум-щільних з'єднань ситалу СО-115М, кварцового скла марок КВ або КУ між собою і з особливо чистим алюмінієм марки А999 та безкисневою міддю марки МБ товщиною до 0,5 мм.

Постановки проблеми

Газорозрядні прилади (ГП) знайшли широке використання для навігаційних цілей та в приладах автономного керування рухом літаків, кораблів, торпед, реактивних снарядів. До ГП (наприклад, лазерні гіроскопи) в навігаційних комплексах, де потрібній довготривалий та автономний режим роботи, висуваються особливо жорсткі вимоги.

Основним елементом лазерного гіроскопа (ЛГ) є кільцевий резонатор (КР). В якості основного конструкційного матеріалу для резонатора вибирають плавлений кварц або ситал СО-115М (α = (2,5–6)·10^{-7} K^{-1} при 323 – 693 K), до якого треба приєднати: діелектричні дзеркала із кварцового скла марки КВ або КУ (α = (4 – 5,8)·10^{-7} K^{-1} при 323 – 723 K) або ситалу СО-115М, що стійкі до впливу високих температур і плазми газового розряду; катод з особливо чистого алюмінію марки А999 (α = 276,8·10^{-7} K^{-1} при 293 – 723 K); два аноди з безкисневої міді марки МБ (α = 170·10^{-7} K^{-1} при 293 – 393 K). Товщина опорної частини електродів 0,5 мм та більше.

Велика різниця в температурних коефіцієнтах лінійного розширення для матеріалів, що з'єднуються, відносно велика товщина опорної частини електродів, різка різниця в фізико-хімічних властивостях, обмеження по температурі зварювання, високі вимоги до якості з'єднань та жорсткі експлуатаційні вимоги складають основу проблем по виготовленню вузлів резонатора ЛГ.

Вузли КР, які виготовлені з вказаних матеріалів з використанням традиційних способів отримання вакуум-щільних з'єднань, таких як склеювання, метод оптичного контакту, паяння та способи зварювання, що широко застосовуються на практиці, не задовольняють весь комплекс технічних вимог до ЛГ.

Перспективним способом отримання герметичних з'єднань у вузлах ГП є зварювання в електричних полях (ЗЕП), яке має ряд істотних переваг та дозволяє отримати вакуум-щільні з'єднання матеріалів з різкими відмінностями фізико-хімічних властивостей.

Напрямки використання зовнішніх електричних полів

Зовнішні електричні поля (ЕП) знайшли широке використання для:

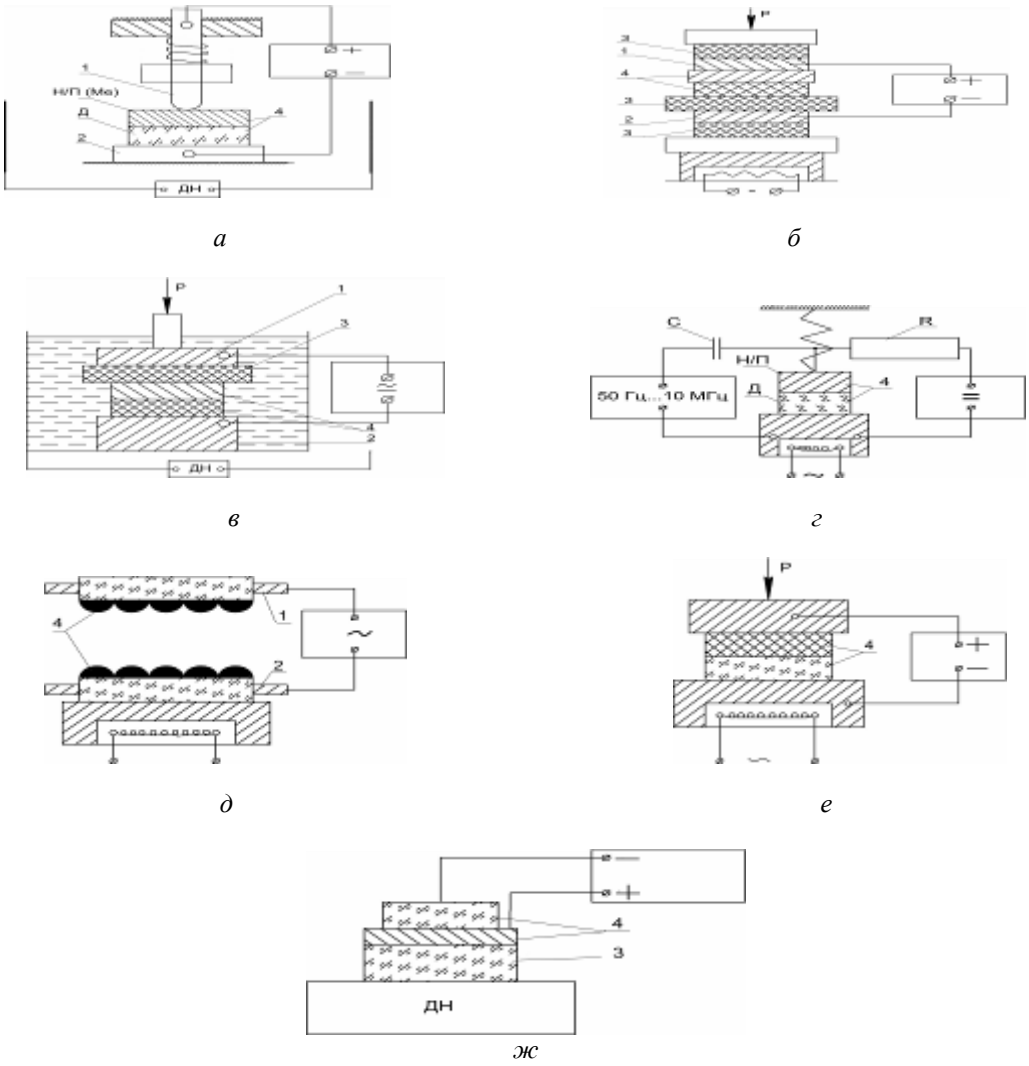
- отримання нероз'ємних з'єднань різнорідних матеріалів;
- підвищення продуктивності, міцності, зниження енерговитрат при дифузійному зварюванні у вакуумі (ДЗВ) та паянні;
- підвищення якості клейових з'єднань;
- отримання спеціальних властивостей зони з'єднання або зварених матеріалів у цілому;
- поєднання процесу зварювання з термодифузійним покриттям зварних деталей;
- захисту від приварювання обладнання до деталей, що зварюються;
- отримання з'єднань, що роз'єднуються, для кріплення різнорідних матеріалів під час їх механічної обробки за допомогою електростатичних кріпильних приладів, заснованих на використанні пондеромоторних сил.

Використання ЕП в процесі зварювання та паяння дозволяє отримати вакуум-щільні з'єднання самих різнорідних матеріалів. У загальному випадку це діелектрик з

діелектриком, металами та напівпровідниками, а також метали між собою і з напівпровідниками, наприклад, ситали, кварцове, лужне силікатне скло, сапфір, кераміка між собою та з напівпровідниками (наприклад, кремнієм, германієм), кольоровими металами і сплавами на їх основі.

Принципові схеми ЗЕП, що вже використовуються, показані на рисунку 1.

При утворенні з'єднання діелектриків з металами в атмосфері повітря ЕП розглядаються як один з основних, що активує процес зварювання, чинників.



1, 2 – електроди; 3 – ізолятор;
4 – деталі, що зварюються; R – електричний опір; C – ємність; ДН – джерело нагріву; Н/П – напівпровідник;
Ме – метал; Д – діелектрик; а - [1]; б - [2]; в - [3]; г – [4]; д - [5]; е - [6]; ж - [7]
Рис. 1. Принципові схеми зварювання з використанням електричних полів

Необхідною умовою отримання нероз'ємного з'єднання при ЗЕП з'єднань діелектрик-метал (або напівпровідник) є:

- величина шорсткості поверхонь, що зварюються, – R_a = 0,006 – 0,5 мкм;
- величина напруженості ЕП не більше $1{,}1\cdot10^3$ кВ·м$^{-1}$;
- величина (густина) струму, що проходить крізь деталі, що зварюються, $I_{зв}$ = (2 – 400)·10^3 mA ($j = 1\cdot10^{-7}$ – 10 mA·мм$^{-2}$) і його спадання в процесі зварювання;
- температура процесу зварювання ($T_{зв}$) повинна забезпечити виникнення в діелектрику, що зварюється, іонної провідності та бути не нижче ТК-100

(температура, при якій питома електропровідність скла не менше 10^{-8} $Ом^{-1}$ $см^{-1}$) і загалом складати величину 0,1 – 0,3 від температури плавлення найбільш легкоплавкого з матеріалів, що з'єднуються;

- витримка при заданих значеннях струму (напруги) і температури протягом певного проміжку часу (15 – 1200 с).

Приведені значення основних параметрів процесу ЗЕП змінюються в широкому діапазоні. Відсутність однозначних критеріїв, рекомендацій, у тому числі і розрахункових залежностей, ускладнює їх визначення. Ті свідчення, які ми маємо, відносяться до конкретних матеріалів, вони носять експериментальний та нерідко суперечливий характер.

В якості критеріїв, за якими можливо судити про ступінь завершеності процесу утворення з'єднання, пропонується використовувати зміну напруги зварювання ($U_{зв.}$) або характер спаду струму. В роботі Хоменко М.М. [8] ступінь завершеності процесу ЗЕП визначається характером зміни струму, який повинен наростати до максимального значення, що свідчить про повне протікання поляризаційних процесів у діелектрику.

Більшість дослідників якість зварних вузлів визначали за величиною роботи відриву (W), вимірюваній за методом Дерягіна-Кротова.

У цілому збільшення $T_{зв.}$, $U_{зв.}$ (або $I_{зв.}$), $\tau_{зв.}$ і зменшення мікрошорсткості поверхонь R_a , що зварюються, сприяє підвищенню якості з'єднань (рисунок 2).

Зменшення R_a та підвищення $T_{зв.}$ і $U_{зв.}$ зменшує час зварювання (час подачі електричної напруги) $\tau_{зв.}$. З підвищенням $U_{зв.}$ вплив $T_{зв.}$ на міцність з'єднання підвищується.

Характер залежності міцності з'єднання від $T_{зв.}$ ілюструє процес утворення фізичного контакту, а хід залежності міцності з'єднань від $\tau_{зв}$ відображає розвиток процесу утворення з'єднань інтегрально, по всій номінальній площині контакту.

В загальному випадку ЗЕП може проводитись на постійному і (або) змінному, а також імпульсних струмах. Використання змінного струму та зміна полярності постійного струму не зупиняє процесу утворення зварного з'єднання.

Більшість дослідників вважають за необхідність використання постійного струму з подачею позитивного потенціалу на метал або напівпровідник при їх зварюванні з діелектриками.

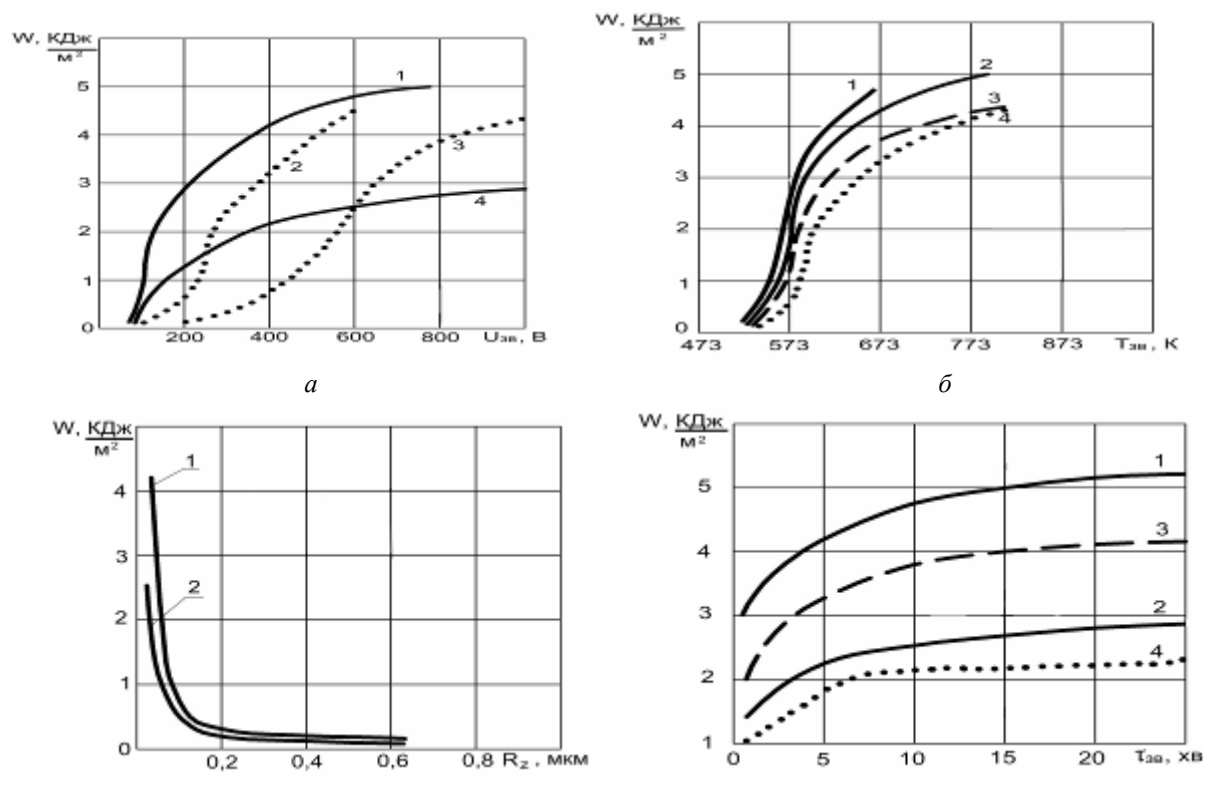
Основним критерієм у виборі полярності під час зварювання в електростатичному полі більшість дослідників вбачають у створенні умов для розподілення потенціалу в зоні зварювання, яке забезпечує накопичення заряду на границях контакту матеріалів, що зварюються, і утворення максимальної напруженості ЕП в зазорі між ними (наприклад, внаслідок міграційної поляризації діелектрика). Але фізико-технічні особливості впливу полярності на формування з'єднання при ЗЕП не мають ще експериментального обґрунтування.

При ЗЕП напруга, яка прикладається до деталей, що зварюються, зазвичай така, що струм направлено перпендикулярно до площини контакту, а в деяких випадках паралельно поверхням, що зварюються.

Відсутній єдиний підхід до питання про те, чи необхідно при ЗЕП зовнішнє зусилля стиску ($P_{зв.}$) та в який момент часу технологічного циклу зварювання його необхідно прикладати. Маються відомості, що використання ЕП дозволяє знизити питоме зусилля стиску $P_{зв.пит.}$, а в ряді випадків вести процес зварювання і без нього.

У випадку використання зовнішнього стискаючого зусилля воно може прикладатися:

- після нагріву до $T_{зв.}$ і одночасно з подачею електричної напруги;
- до нагріву і прикладання напруги;
- до нагріву і прикладання напруги з деякою постійною величиною, яка в подальшому змінюється по спеціальній програмі.



—— – та - - - – *СО-115М - алюміній [9, 10];* ••••••• – *С52-2 - алюміній [11],* $\tau_{зв}$ *=10 хв.: а – залежність роботи відриву від напруги зварювання: 1 – 723К; 2 – 823 К; 3 – 623 К; 4 – 573 К; б – залежність роботи відриву від температури зварювання: 1 – 1000 В; 2 – 600 В; 3 – 300 В; 4 – 600 В; в – залежність роботи відриву від шорсткості поверхні: 1 – 723 К, 600 В,* $\tau_{зв}$ *=10 хв; 2 – 573 К, 1000 В,* $\tau_{зв}$ *=10 хв; г – залежність роботи відриву від часу зварювання: 1 – 723 К, 600 В; 2 – 573 К, 1000 В; 3 – 673 К, 300 В; 4 – 623 К, 600 В*

Рис. 2. Вплив технологічних параметрів на міцність з'єднань, що отримані зварюванням в електричному полі

Зварювання в ЕП проводять в атмосфері повітря, вакууму, захисних газах і електролітах.

У цілому ЗЕП має ряд істотних переваг та дозволяє отримати вакуум-щільні з'єднання матеріалів з різкими відмінностями фізико-хімічних властивостей при:

- великій різниці температурних коефіцієнтів лінійного розширення;
- невеликому питомому зусиллі стиску деталей, що зварюються;
- температурах зварювання 0,1-0,3 від температури плавлення найбільш легкоплавкого з матеріалів, що з'єднуються;
- збереженні оптичних властивостей скляних виробів;
- високій стерильності процесу зварювання;
- можливості за одну операцію отримати багатошарові структури;
- підвищенні продуктивності, зниженні енерговитрат і покращенні властивостей з'єднання;
- більш простій конструкції зварювального обладнання та меншій її вартості (наприклад, у 5-10 разів, ніж для ДЗВ).

Проте, незважаючи на перспективність ЗЕП, її промислове використання обмежене внаслідок недосконалого вивчення процесу утворення з'єднання та відсутності типового зварювального обладнання.

Таким чином, подальші дослідження процесу ЗЕП являються одним із основних напрямків по його оптимізації та інтенсифікації.

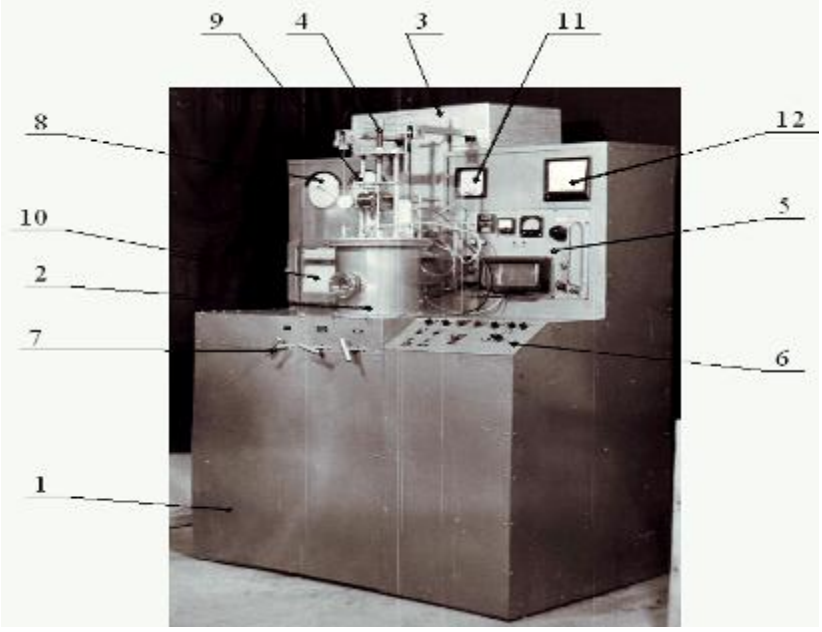
Мета та завдання роботи

ЗЕП як спосіб отримання вакуум-щільних з'єднань має переваги перед іншими способами, що використовуються для отримання герметичних вузлів із різнорідних матеріалів.

У зв'язку з цим метою даної роботи є створення умов для отримання вакуум-щільних з'єднань ситалу СО-115М з алюмінієм А999, безкисневою міддю МВ, кварцовим склом і ситалом СО-115М у вузлах ГП на основі дослідження закономірностей ЗЕП діелектрика з металом в атмосфері повітря.

Виклад основного матеріалу досліджень

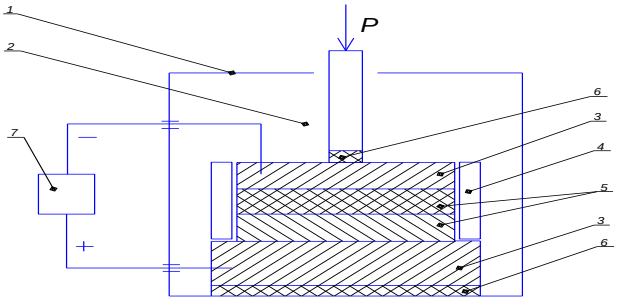
Зварювання вузлів проводилося на спеціально сконструйованій установці, що зображена на рисунку 3.



1 – корпус установки; 2 – зварювальна камера; 3 – механізм піднімання кришки зварювальної камери; 4 – механізм стискання деталей, що зварюються; 5 – високовольтне джерело живлення на базі УПУ–1М; 6 – пульт керування; 7 – вентилі відкачки і напуску газів у зварювальну камеру; 8 – вакуумметр; 9 – манометр для вимірювання надлишкового тиску у зварювальній камері; 10 – самопишучий потенціометр, що записує температуру в зоні зварювання; 11 – прилад М303К; 12 – амперметр

Рис. 3. Загальний вигляд установки для зварювання в електричному полі

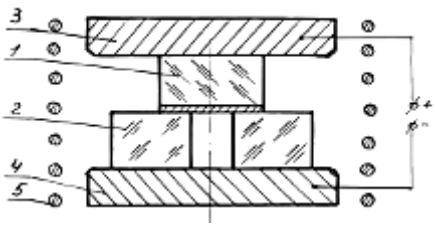
Принципова схема зварювання вузлів метал-діелектрик, яка використовувалась для з'єднання катодів та анодів з корпусом резонатора, наведена на рисунку 4.



1 – зварювальна камера; 2 – шток для передачі механічного зусилля (зварювання може вестися без зовнішнього зусилля стиску); 3 – електроди; 4 – нагрівний пристрій (радіаційний нагрів); 5 – деталі, що зварюються; 6 – ізолятори; 7 – високовольтне джерело живлення

Рис. 4. Принципова схема зварювання вузлів метал-діелектрик в електричному полі

Схема підводу електричного потенціалу для зварювання вузлів діелектрик-діелектрик (вузли дзеркал), яка використовувалась для з'єднання дзеркал з корпусом резонатора, наведена на рисунку 5.



1 – ситалове або кварцове дзеркало з напиленим шаром алюмінію; 2 –корпус резонатора; 3, 4 – електроди; 5 – нагрівач

Рис. 5. Схема підводу електричного потенціалу для зварювання вузлів дзеркало-корпус резонатора в електричному полі

У даній роботі визначені оптимальні умови отримання всіх вузлів резонатора ЛГ в атмосфері повітря, що задовольняють технічним вимогам. Залежно від призначення вузлів їх отримання має свої особливості.

Для отримання вузлів катодів та анодів, де товщина металу досягала 0,5 мм, процес зварювання проводився з використанням зовнішнього стискаючого зусилля. Досліджувалася товщина алюмінію 0,1 – 3 мм при $T_{зв}$ = 448 – 723 *К* та $P_{зв.пит.}$ = 10 – 55 МПа, $\tau_{зв}$ = 10 хв. Катоди з алюмінію приварювалися безпосередньо до корпусу резонатора, а аноди – через прокладку з алюмінію. З'єднання ситалу з алюмінієм товщиною до 3 мм, що були одержані, мають міцність на відрив більше 12 МПа та є вакуум-щільними. Результати поляризаційно-оптичного обстеження вузлів на приладі ПКС-250 показали, що залишкові напруження в зоні з'єднання не перевищують 1 МПа. В той же час аналогічні з'єднання, одержані методом ДЗВ, 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. На рисунку 6 показані залежності величин відносної деформації стиснення алюмінію ψ, товщини алюмінію після зварювання h_n, залишкових напружень у зоні зварювання $\sigma_{зал}$, міцності з'єднання на відрив $\sigma_{відр}$ від початкової товщини алюмінію h.

Було знайдено оптимальний режим зварювання вузлів катоду та аноду: $T_{зв}$ = 673 – 693 *К*, $P_{пит.}$= 20 – 22,5 МПа, $\tau_{зв}$ = 10 хв.

Для отримання вузлів дзеркал були проведені дослідження, які показали можливість отримання якісного зварного з'єднання ситалу СО-115 М з ситалом СО-115 М та кварцовим склом у діапазоні температур зварювання 473 – 673 *К* при використанні напиленого на поверхню кварцового скла, що зварюється, або на один із ситалів прошарку алюмінію.

Діелектричні властивості кварцового скла та ситалу сильно різняться. Крім того, одна з головних умов отримання таких з'єднань – це температура зварювання, яка не повинна перевищувати 473 *К*. Все це накладає певні особливості на отримання вузлів дзеркал.

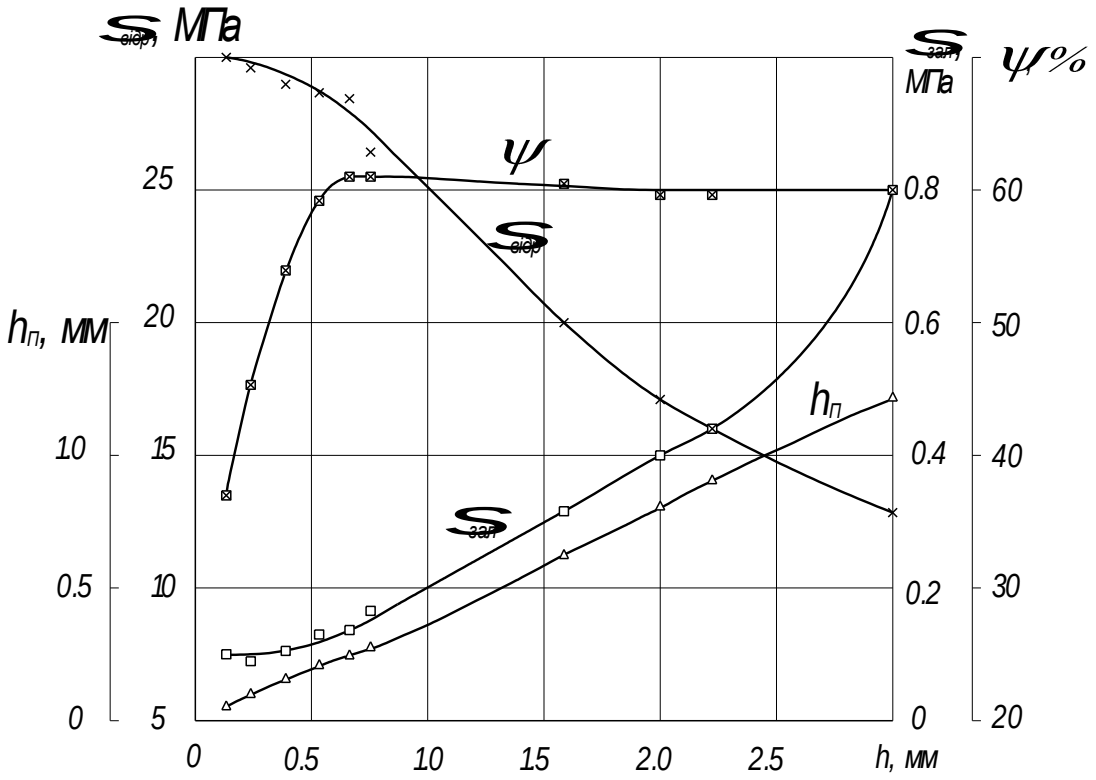


Рис. 6. Залежність міцності з'єднання від початкової товщини алюмінію А999

Вплив величини початкової напруги зварювання $U_{зв.п.}$, $P_{зв.пит.}$ та $\tau_{зв}$ при $T_{зв}$ = 473 *К* на міцність зварного з'єднання $\sigma_{відр}$ ситалів СО-115 М при використанні напиленого прошарку алюмінію представлена на рисунках 7 – 9.

Дослідження залежності $\sigma_{відр}$ $(\tau_{зв})$ (рисунок 7) при $T_{зв}$ = 473 *К*, $j_{зв.п.} = 3 \cdot 10^{-3}$ mA·мм^2, $P_{зв.пит.}$ = 5 МПа показало, що при $\tau_{зв}$ менше 10 хв руйнування вузлів ситал-алюміній-ситал проходить по площині зварювання без порушення цілісності матеріалів, що зварюються. Збільшення часу зварювання до 30 хв у цілому забезпечує досягнення заданої, відповідно до технічних вимог, міцності і вакуум-щільності з'єднань. В інтервалі часу 30 – 60 хв $\sigma_{відр}$ змінюється несуттєво.

Беручи до уваги час досягнення заданої міцності (декілька десятків хвилин), відповідальним за утворення зварного з'єднання потрібно вважати процес міграційної поляризації в ситалі, час встановлення якої і визначає утворення міцного і герметичного з'єднання. Цей час більше ніж при температурах 573 К та 673 *К*, оскільки, чим нижча $T_{зв}$, тим менша активність процесу поляризації і тим більше треба часу для накопичення заряду на поверхнях, що зварюються, для їх активної електростатичної взаємодії.

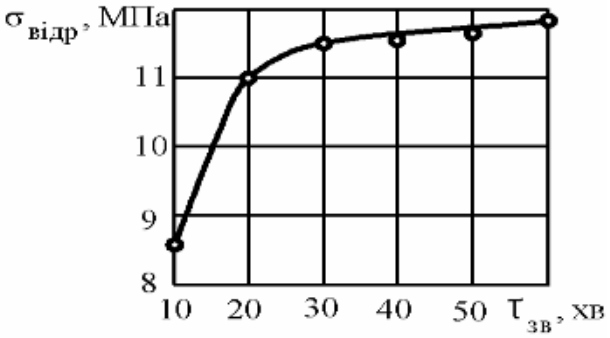


Рис.7. Вплив часу зварювання на міцність з'єднання ситал-ситал при використанні проміжного прошарку алюмінію

Зміна величини електричної напруги (рисунок 8) найбільш суттєво впливає *на* $\sigma_{відр}$ ($\tau_{зв}$ = 30 хв, $T_{зв}$ = 473 *К*, $P_{зв.пит.}$ = 5 МПа) при $U_{зв.п.}$ не менше $1{\cdot}10^3$ *В*. Величини електричної напруги недостатньо для активного проходження процесу поляризації в діелектрику (ситалі). Максимальна міцність досягається при $U_{зв.п.} = 5{\cdot}10^2$ *В* ($j_{зв.п.}$ = 4 mA·мм$^{-2}$). Зниження міцності при подальшому збільшенні напруги пов'язане з активізацією іонізаційних процесів у зазорі біля катода (про це свідчать сліди мікророзрядів на катоді) і появою поверхневих струмів, які приводять до стікання заряду з подвійного електричного шару. Іонізаційні процеси та поверхневі струми здатні активно впливати на утворення зварного з'єднання.

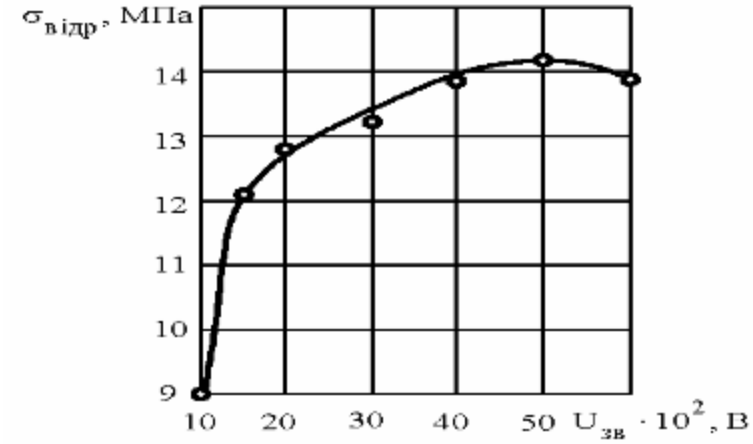


Рис. 8. Вплив величини електричної напруги зварювання на міцність з'єднання ситал-ситал при використанні проміжного прошарку алюмінію

Використання зовнішніх стискаючих зусиль дозволяє підвищити міцність вузлів. Вплив зусилля стиснення найбільш очевидний при $P_{зв.пит.}$ більше 2 МПа (рисунок 9), що пов'язано зі зменшенням зазору в площині зварювання і, як наслідок, зниженням у ньому інтенсивності процесів іонізації. Збільшення $P_{зв.пит.}$ більше 10 МПа викликає накопичення механічних напружень у ситалі в зоні зварювання ($\sigma_{зал}$) і помітне зниження міцності. Про це свідчить поява дзеркального злому при руйнуванні зварених вузлів у ході механічних випробувань.

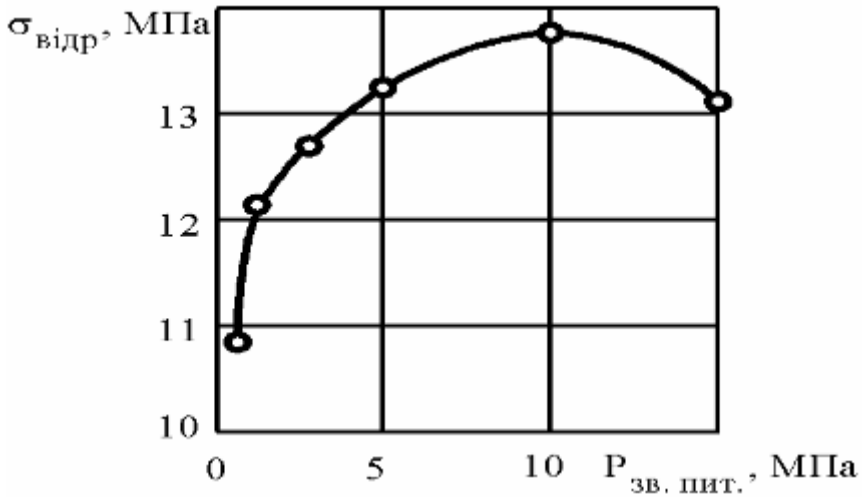


Рис.9. Вплив зусилля стиснення на міцність з'єднання ситал-ситал при використанні проміжного прошарку алюмінію

У цілому ж отримання вакуум-щільних вузлів ситал-ситал з використанням напиленого прошарку алюмінію при $T_{зв}$ = 473 *К* з використанням ЗЕП забезпечується

при: $P_{зв.пит.}$ = 5 – 10 МПа; $U_{зв.п.}$ = (4 – 6)·10^3 *В* ($j_{зв.п.}$ = (3 – 5)·10^{-3} mA·мм$^{-2}$); $\tau_{зв}$ = 30 – 40 хв. Використання цих режимів дає змогу забезпечити міцність з'єднань у межах 13,5 – 14,5 МПа.

При отриманні з'єднань ситал-кварцове скло однією з проблем є подача електричного потенціалу на матеріали, що зварюються, так, щоб забезпечити протікання поляризаційних процесів у ситалі. Ця проблема може бути вирішена, наприклад, шляхом створення струмопровідного каналу на поверхні кварцового скла за рахунок напилення на нього доріжки алюмінію, коли кварцове скло практично виключене з процесу зварювання.

Рекомендовані параметри режиму зварювання для отримання з'єднань вузлів СО-115 М - алюміній - СО-115 М та СО-115 М - алюміній - КВ-1 при температурі 473 *К* наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Рекомендовані параметри режиму зварювання

Параметри режиму зварювання	Види з'єднань: СО-115 М - алюміній - СО-115 М СО-115 М - алюміній - КВ-1
$T_{зв}$, К	473 ± 5
$P_{зв.\ пит.}$, МПа	5
$\tau_{зв}$, хв	30
$j_{зв.\ п.}$, mA·мм$^{-2}$	3·10^{-3}

Висновки

- Процес зварювання в електричних полях є перспективним способом отримання вакуум-щільних з'єднань матеріалів з різкою різницею фізико-хімічних властивостей і дозволяє вирішувати складні технічні задачі.
- Визначені оптимальні технологічні параметри отримання зварних з'єднань вузлів газорозрядних приладів (СО–115 М - алюміній - СО–115 М та СО–115 М - алюміній - КВ–1) зварюванням в електричному полі постійної напруги шляхом дослідження їх впливу на якість з'єднання. Оптимальні параметри режимів зварювання:
  - для вузлів катоду та аноду: $T_{зв}$ = 673 – 693 *К*, $P_{пит.}$= 20 – 22,5 МПа, $\tau_{зв}$ = 10 хв.
  - для вузлів дзеркал: $T_{зв}$ = 473 ± 5 *К*; $P_{зв.\ пит.}$ = 5 МПа; $\tau_{зв}$ = 30 хв; $j_{зв.\ п.}$ = 3·10^{-3} mA·мм$^{-2}$
- Встановлено зв'язок міграційної поляризації, що реалізується в діелектрику під час зварювання, з міцністю зварного з'єднання.

Список використаних джерел

1. Хоменко Н.Н. Получение неразъемных соединений кремния с металлами / Хоменко Н.Н. – Чернигов: ВСНТО, 1986. – 67 с.
2. Пат. 3. 256. 598 (США) Diffusions Bonding / J.R. Kramer; опубл. 21.06.66; НКИ 29-484.
3. Пат. 3. 417. 459 (США). Bonding electrically Conductive metals to insulators / D. J. Pomerantz, G. Wallis; опубл. 09.12.68.
4. А.с. 899305 (СССР). Способ сварки давлением / Н.Ф. Казаков, В.П. Антонов, В.А. Казаков. – Заявл. 26.05.80. № 2929935/25–27; опубл. в Б.И., 1982, № 3; МКИ^3 В2320/14.
5. А.с. 450668 (СССР). Способ диффузионной сварки металлов в вакууме / А.Я. Агольцев, Н.В. Лебедев, В.В. Горбанский. – Заявл. 17.03.72. № 1760594/25–27; опубл. в Б.И., 1974, № 43; МКИ В23К19/00.
6. А.с. 1276467 (СССР). Способ диффузионной сварки материалов/ С.Э. Шлифер, В.П. Антонов, В.А. Казаков и др. – Заявл. 28.06.85. № 3918292/25–27; опубл. в Б.И., 1986, № 46; МКИ В23К20/14.

7. Варенцов В.А. Вакуумные покрытия – основа создания отпайных приборов массового потребления / Варенцов В.А., Коржавый А.П., Шаповал В.З. // Электронная техника. Сер. Материалы. – 1983. – Вып. 2 (184). – С. 45-48.

8. Хоменко Н.Н. Использование свойств стекла в процессе соединения его с кремнием во внешнем электрическом поле / Хоменко Н.Н. // Электронная техника. Сер. Материалы. – 1982. – Вып. 2 (163). – С. 61-64.

9. Варенцов В.А. К вопросу электроадгезионного соединения некоторых материалов электронной техники / Варенцов В.А., Приходченко В.А. [и др.] // Электронная техника. Сер. Материалы. – 1983. – Вып. 10 (183). – С. 57-59.

10. Приходченко В.А. Электроадгезионные соединения диэлектриков с малыми температурными коэффициентами расширения / Приходченко В.А., Таиров В.Н., Хомылев А.Ф. // Известия Ленинградского ордена Ленина электротехнического ин-та им. В.И.Ульянова (Ленина). – Л., 1982. – Вып. 302. – С. 90-93.

11. Белкин М.И. Факторы, влияющие на образование электроадгезионного контакта в системе стекло – металл / Белкин М.И., Приходченко В.А., Таиров В.Н., Хомылев А.Ф. // Изв. ЛЭТИ. – Л., 1980. – Вып. 263. – С. 132-136.

РОЗДІЛ IV. МЕХАНОХІМІЯ

УДК 620.197.3

О.І. Сиза, д-р техн. наук
О.М. Савченко, канд. техн. наук
Ю.В. Квашук, аспірант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРОТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ У КИСЛОТНИХ РОБОЧИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Запропоновано екологічно безпечний інгібітор корозії сталей (ГС-1) на основі насіння гірчиці для захисту обладнання харчової промисловості. Максимальні захисні властивості спостерігаються при застосуванні інгібітора (30 мл/л) у розчинах хлоридної, винної, лимонної кислот: ступінь захисту Z = 89,2 – 97,5 %. Інгібітор корозії ГС-1 має високий ступінь захисту, є технологічним, дешевим, відповідає санітарно-гігієнічним нормам, не порушує технологічний процес і не створює загрозу забруднення навколишнього середовища.

Постановка проблеми

Науково-технічний прогрес харчових галузей здійснюється за рахунок удосконалення й інтенсифікації технологічних процесів, використанням підвищених температур і тисків, значних швидкостей потоків продукції, змін pH середовищ у широкому діапазоні. Відповідно зростає корозійно-ерозійний вплив агресивних середовищ і механічних навантажень на конструкційні матеріали і покриття, що призводить до передчасного виходу з ладу машин і обладнання.

У харчових виробництвах використовуються кислі, нейтральні і лужні середовища [1-3]. Значною агресивністю володіють середовища оборотного водопостачання виробничих підприємств [4]. В охолоджувальних водах накопичуються солі, органічні речовини, живі мікроорганізми, і циркуляційні води стають корозійно-агресивним електролітом. У системах водовідведення і водопостачання осаджуються важкорозчинні сполуки, відбувається обростання стінок, що призводить не тільки до інтенсифікації корозійних процесів, але і погіршується теплопередача, підвищується опір середовищу, що рухається, у зв’язку зі зменшенням вільного перетину труб.

Корозійна активність харчових середовищ підвищується при введенні в них в якості технологічних добавок: лимонної, винної, яблучної й інших кислот для надання напоям повноти смаку; молочної кислоти – для підкислювання заторів у варильних цехах пивоварних заводів; сірчаної – для підкиснення заторів у спиртовому виробництві; аскорбінової – для стабілізації пива в якості оксиданта; ортофосфорної – у солодких напоях; сорбінової, бензойної, мурашиної та інших органічних кислот – для підвищення біологічної стійкості безалкогольних напоїв. Найбільш агресивно впливають на технологічні апарати кислотні дезінфікуючі розчини [3].

Прокородовані метали змінюють свій мікрорельєф, збільшуючи невиробничі втрати цінної продукції, а також трудові витрати на очищення, мийку і дезінфекцію машин, апаратів, агрегатів, трубопроводів. Крім того, частки зруйнованого металу можуть потрапляти в продукцію, погіршуючи її смакові якості і санітарно-гігієнічні характеристики. Сучасні харчові продукти повинні відповідати вимогам чинного законодавства щодо гранично допустимих концентрацій токсичних елементів, особливо металів [5-7]. Тому перед харчовими і переробними галузями промисловості поставлені задачі підвищення надійності, довговічності машин і устаткування, зниження їх матеріалоємності.

Важливим резервом підвищення ефективності виробництва харчових галузей є розробка і впровадження протикорозійного інгібування, що дозволить істотно підвищити довговічність і надійність машин і агрегатів, систем апаратів і комунікацій, технологіч-

ного і допоміжного обладнання в умовах експлуатації. Сучасні інгібітори корозії досить ефективні, але більшість з них екологічно небезпечні: натрію нітрит, хромати, біхромати та ін. Використання їх у харчовій промисловості недопустиме. Існує потреба розробки інгібіторів корозії для харчової промисловості, а саме екологічно безпечних композицій на основі продуктів біологічного походження. Так, дослідження інгібуючого ефекту відходів пивоварного виробництва показали, що при введенні в них оптимальних добавок NaOH і стабілізуючих мікродобавок можна одержати інгібітори корозії для устаткування і трубопроводів систем охолодження технологічних цехів харчових підприємств. У США використовують пентанову кислоту для захисту металевої тари, у якій зберігають імбирне пиво й оцет. Аргінін оцтовокислий (1 %) застосовують для запобігання корозії сталевих контейнерів з харчовими продуктами [1].

Мета роботи

Розробка та дослідження дії інгібуючих добавок на основі рослинної сировини, які дозволять забезпечити високий протикорозійний захист в агресивних харчових середовищах, зменшити забруднення металами продуктів харчування, будуть відповідати сучасним санітарно-гігієнічним і екологічним вимогам.

Об'єкти і методи дослідження

В якості інгібуючої добавки досліджували протикорозійну активність речовин із зерен гірчиці (інгібітор ГС-1). Перспективність вибору гірчиці пов'язана, по-перше, з доступністю сировинної бази, по-друге, з наявністю сульфуру, оксигену і нітрогену в складі діючих речовин насіння. Сполуки, що містять сульфур- та нітрогенвмістні сполуки зарекомендували себе ефективними інгібіторами кислотної корозії [1].

Моделювання харчових середовищ проводилося відповідно до вимог санітарно-токсикологічних досліджень матеріалів. Для досліджень використано 1н кислі робочі середовища, що застосовуються у харчових виробництвах (лимонна кислота, винна, оцтова, щавлева) та 0,1н та 1н HC1 як дезінфікуючий розчин.

Корозійні випробування проводили на зразках сталі 20 електрохімічним (потенціостат П-5827) методом при 293 К. Вагові дослідження проводили на зразках із Ст 3 у вигляді прямокутних пластинок розміром 50,3×22,3×3,2 мм. Поверхню зразків послідовно шліфували на дрібнозернистому папері марок Р 240 – Р 1200, промивали в проточній воді і знежирювали. Після експозиції поверхню зразків звільняли від продуктів корозії, промивали проточною водою, висушували, знежирювали і зважували.

Для оптимізації кількості інгібітора ГС-1 дослідження проводили при концентрації 10; 20; 30 мл/л. Інгібітор ГС-1 – прозора рідина жовтого забарвлення, з вмістом активної речовини 10 мг/мл. Перевагою інгібітора ГС-1 є проста технологія його виробництва й екологічна безпека.

Швидкість корозії оцінювали за формулою:

$$K_m = (m_1 - m_2)/ S\cdot\tau, \qquad (1)$$

де: K_m – швидкість корозії, г/(м^2·год); m_1 – маса зразка до випробування, г ; m_2 – маса зразка після випробування, г ; S – площа поверхні зразка, м^2 ; τ – тривалість дослідження, години.

Ефективність захисної дії інгібітора корозії оцінювали за ступенем захисту Z_m:

$$Z_m = [(K_m - K'_m) / K_m]\cdot 100, \%, \qquad (2)$$

де K_m, K'_m – швидкість корозії за втратою маси металу без інгібітора та з інгібітором, відповідно, г/(м^2·год).

Результати дослідження

Оптимальна концентрація інгібітора є важливим параметром, що визначає ефективність захисту. Інгібітор необхідно вводити в агресивні середовища в кількості, достат-

ній для покриття поверхні металу мономолекулярним шаром. Результати електрохімічних досліджень впливу різних концентрацій інгібітора на корозійну стійкість сталі 20 в кислотних середовищах при температурах 293 К наведені на рис. 1 та в табл. 1.

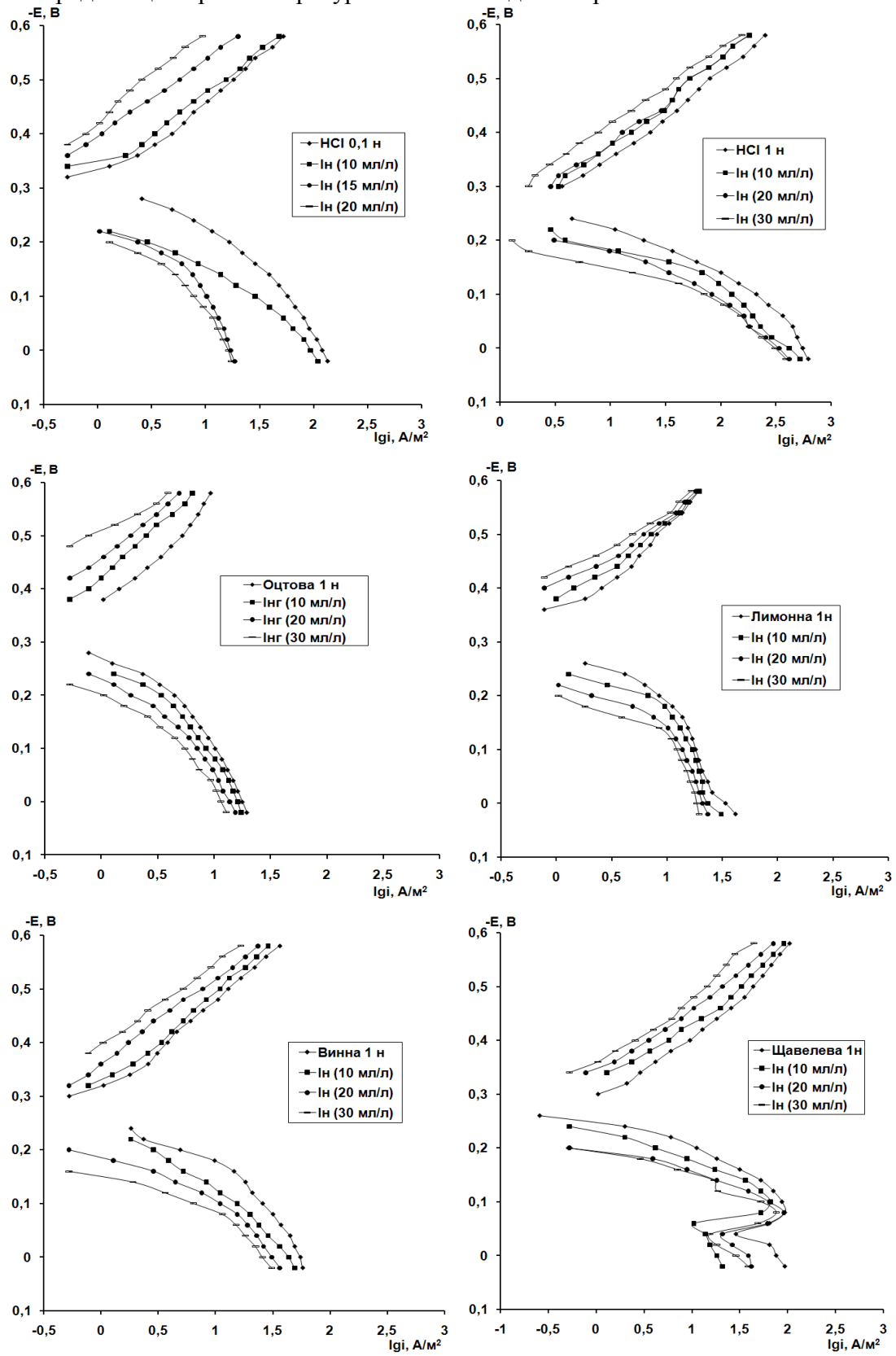


Рис. 1. Поляризаційні катодні й анодні криві сталі 20 у кислотних середовищах

Таблиця 1

Електрохімічні параметри процесу корозії сталі 20 та протикорозійна ефективність інгібітора ГС-1 у розчинах кислот

Ін, мл/л	i_a	γ_a	$Z_{a,\%}$	$i_к$	$\gamma_к$	$Z_{к,\%}$	i_c	γ_c	$Z_{c,\%}$
Хлоридна (0,1н)	38,9			15,49			2,45		
10	13,8	2,820	64,52	5,230	2,96	66,24	0,58	4,22	76,33
20	7,59	5,130	80,49	2,590	5,25	80,96	0,49	5,00	80,00
30	4,90	7,940	87,40	1,660	9,33	89,28	0,39	6,28	84,08
Хлоридна (1 н)	33,88			23,44			2,88		
10	11,75	2,880	65,32	20,89	1,12	10,88	1,95	1,48	32,29
20	9,770	3,470	71,16	20,89	1,12	33,92	1,66	1,73	42,36
30	3,020	11,22	91,09	15,49	1,51	57,30	0,56	5,14	80,56
Оцтова (1н)	5,250			4,170			1,23		
10	4,370	1,200	16,76	2,090	2	49,88	0,71	1,73	42,28
20	2,880	1,820	45,14	1,660	2,51	60,19	0,40	3,08	67,48
30	1,550	3,390	70,48	1,020	4,09	75,54	0,20	6,15	83,74
Лимонна (1 н)	11,22			6,170			1,26		
10	9,120	1,230	18,72	5,010	1,23	18,80	1,02	1,24	19,05
20	4,790	2,340	57,31	3,980	1,55	35,49	0,43	2,93	65,87
30	1,740	6,450	84,49	2,950	2,09	52,19	0,25	5,04	80,16
Винна (1 н)	17,78			7,760			1,38		
10	7,760	2,290	56,36	6,170	1,26	20,49	0,91	1,53	34,78
20	5,250	3,390	70,47	5,250	1,48	32,35	0,65	2,12	52,90
30	3,310	5,370	81,38	2,570	3,02	66,88	0,17	8,12	87,68
Щавлева (1н)	18,2			26,92			1,45		
10	8,910	2,040	51,04	15,49	1,74	42,46	0,65	2,23	55,17
20	3,890	4,680	78,63	10,47	2,57	61,11	0,26	5,58	82,07
30	2,340	7,780	87,14	7,760	3,47	71,17	0,17	8,53	88,28

Збільшення концентрації інгібуючої добавки з 10 до 30 мл/л сприяє зростанню захисних властивостей, γ_c збільшується у 1,7-3,2 рази, Z_c зростає у 1,1-4,5 рази (табл. 1). При додаванні інгібітора в корозійне середовище відбувається переважно гальмування анодного розчинення металу: $\gamma_a/\gamma_к$ = 1,8; 2,24; 3,1; 4,7 для 1 н розчинів винної, щавлевої, лимонної та 0,1н хлоридної кислот відповідно. В розчині оцтової кислоти дещо активізується гальмування катодного процесу відновлення деполяризатора. Щавлева кислота пасивує поверхню сталі. При інгібуванні 1н розчину щавлевої кислоти спостерігається більш інтенсивне зменшення струму початку пасивації і повної пасивації металу в анодній області при φ_a = -0,1В і -0,05В.

Максимальні захисні властивості за даними вагових досліджень спостерігаються на сталі 20 при введенні в 1н розчин хлоридної, винної та лимонної кислот 30 мл/л інгібітора: Z_m = 89,2 – 97,5 % (табл. 2, рис. 2).

Таблиця 2

Результати гравіметричних досліджень протикорозійної активності інгібітора в 1н розчинах кислот на Ст 3 протягом 24 годин ($C_{Ін}$ = 30 мл/л)

Кислоти	**хлоридна**		**винна**		**лимонна**		**оцтова**		**щавлева**	
	–	**Ін**	**–**	**Ін**	**–**	**Ін**	**–**	**Ін**	**–**	**Ін**
Δm, г	0,21	0,005	0,048	0,0035	0,047	0,005	0,013	0,004	0,025	0,012
Кт, г/(м^2·год)	3,89	0,100	0,864	0,0640	0,864	0,093	0,240	0,078	0,449	0,218
Zm, %	–	97,50	–	92,700	–	89,20	–	67,50	–	51,65

Зразки в інгібованих розчинах мали на поверхні міцні, рівномірні, матові плівки насиченого сірого кольору. В неінгібованих розчинах даних кислот швидкість корозійного процесу в 14; 9,4 та 7,7 рази вища, на поверхні зразків утворювались пухкі, сірі про-

дукти корозії з прогалинами. Швидкість корозії в розчині щавелевої та оцтової кислот дещо менша, ступінь інгібуючого захисту незначний і сягає 48,45 % і 64,5 %.

Ефективність протикорозійного захисту суттєво не змінюється з подальшим підвищенням кількості інгібітора до 40 мл/л: в 1 н розчині хлоридної кислоти *Zm* = 97,8 % (рис. 2).

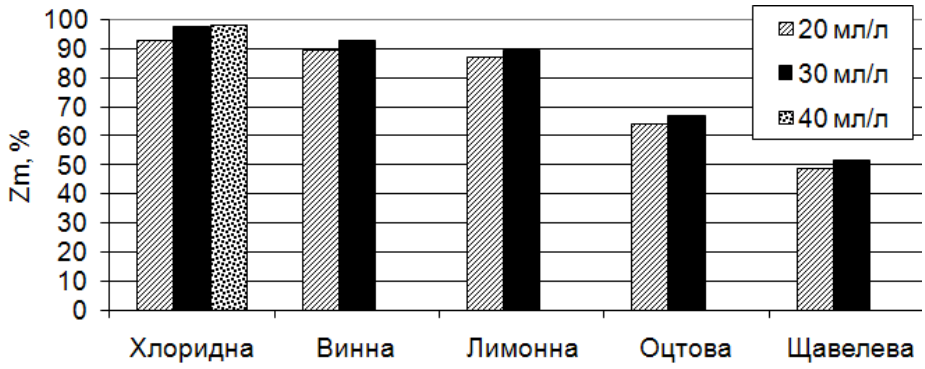


Рис. 2. Ефективність протикорозійного захисту інгібітора ГС-1 в 1н розчинах кислот на Ст 3 протягом 24 годин при 293 К

Даний інгібітор відноситься до органічних сполук, дія яких значною мірою обумовлена тим, що вони адсорбуються на поверхні металу й утворюють плівку, що ізолює цю поверхню від агресивного впливу середовища. Базуючись на знаннях про хімічну будову основних груп речовин, що входять до складу гірчиці, можна прогнозувати механізм дії інгібітора ГС-1. Так, діючою речовиною насіння гірчиці сарептської і чорної є глікозид синігрин (аллілглюкозинолат), а білої – синальбін [8], вміст яких у сарептській – 1,17-2,89 %, білій та чорній гірчиці становить відповідно 2,3-2,8 % та 11-14 %. Синігрин під впливом ферменту мірозину (також знаходиться в насінні гірчиці) і теплої води (вода при температурі 60-80°С інактивує фермент) розщеплюється на глюкозу, калій гідрогенсульфат і аллілізотіоцианат, названий аллілгірчичною ефірною олією:

$$C_3H_5-N=\overset{\overset{\displaystyle OSO_3K}{|}}{C}-S-C_6H_{11}O_5+H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6+C_3H_5-N=C=S+KHSO_4 \qquad (3)$$

Синігрин Аллілізотіоцианат

Насіння гірчиці, крім гірчичної жирної та ефірної олії, містить сліди сірковуглецю і диметилсульфіду, білкові речовини (до 26 %), стероїди (бета-синостерин, компестерин, 21-метиленхолестерин, брассикастерин, холестерин), сапоніни.

Взаємодія інгібітора з поверхнею металу може відбуватися за реакційними центрами, на яких сконцентрована найбільша електронна густина: нітрогені, сульфурі синігрину та ізотіоцианату. Комплексні сполуки, що утворюються, хелатного типу з двома координаційними зв'язками сульфуру і нітрогену як з атомами ферума, так і оксидами ферума, можуть створювати умови для формування пасивного стану поверхні сталі. Синігрин гірчиці є фактично плоскою молекулою. Авторами показано [9], що проста конфігурація молекул при їхній адсорбції на поверхні металу дозволяє одержати більш щільне упакування, через яку дифузія кисню ускладнена більше ніж через адсорбційний шар складних молекул.

Висновки

Запропоновано екологічно безпечний, нетоксичний інгібітор корозії маловуглецевих сталей (ГС-1) на основі насіння гірчиці для захисту обладнання харчової промисловості в кислотних середовищах. Виявлено залежність протикорозійної активності інгі-

бітора від його концентрації. Максимальні захисні властивості спостерігаються при застосуванні інгібітора в кількості 30 мл/л в розчинах хлоридної, винної, лимонної кислот: ступінь захисту Zm = 89,2 – 97,5 %. Інгібітор корозії є технологічним, дешевим, при впровадженні не вимагає додаткових капітальних витрат, відповідає санітарно-гігієнічним нормам і не створює загрозу забруднення навколишнього середовища, що дозволяє вважати його перспективним для захисту систем, контактуючих з продуктами харчування.

Список використаних джерел

1. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии / Розенфельд И.Л. – М.: Химия, 1977. – 352 с.
2. Radnai Ferens. Toth lakabne Iljna. Ilona Tavvezetek belso Korroziovedelme // Korroz. figy/ – 1981. Vol. 21. – № 5. – P. 111-115.
3. Тищенко Г.П. Корозія і захист від корозії в харчовій промисловості / Тищенко Г.П., Бурмістр М.В. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2002. – 461 с.
4. Алексеев Л.С. Основные критерии для оценки коррозионной агрессивности природных пресных вод / Алексеев Л.С., Беличенко Ю. П. // Энергетик. – 1978. – № 5. – С. 23-24.
5. СанПиН 5061-89 Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов.
6. СанПиН 42-123-4089-86 Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах.
7. Про безпечність та якість харчових продуктів: Закон України від 23.12.1997 р № 771/97-ВР // Відомості Верховної Ради України. – 1198. – № 19. – Ст. 98.
8. Гаммерман А.Ф. Курс фармакогнозии / Гаммерман А.Ф. – Л.: Медгиз, 1960. – 639 с.
9. Розенфельд И.Л. Ингибиторы атмосферной коррозии / Розенфельд И.Л., Персианцева В.П. – М.: Наука, 1985. – 278 с.

УДК 620.197.3

З.М. Ільницький, канд. техн. наук

НВК "Галичина", м. Дрогобич, Україна

З.В. Слободян, канд. техн. наук
Л.А. Маглатюк, канд. техн. наук
Р.Б. Купович, провідний інженер

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, Україна

БІКАРБОНАТ-КАРБОНАТНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ІНГІБОВАНИХ ДВОФАЗНИХ СИСТЕМАХ НАФТА-ВОДА

Визначено, що відклади, зняті з нижнього фрагмента труби, що перекачує пластові води, містять карбонати, силікати з невеликою кількістю силанових груп і зв'язаної води та суміш аліфатичних вуглеводнів (C_{14}–C_{16}), аліфатичні аміни та нітросполуки. Кінетика бікарбонат-карбонатного перетворення підкоряється закономірностям необоротної реакції другого порядку, що не змінюється в присутності фосфоровмісних інгібіторів. Ці інгібітори, в т.ч. КОРСОЛ–2 та РЕНА-Нафтохім-8, знижують швидкість бікарбонат-карбонатного перетворення, зменшують кількість карбонатних відкладів та одночасно гальмують швидкість корозії.

Вступ

Як відомо, пластові води містять залишки нафти і тому їх можна розглядати як двофазні системи з емульгованою нафтою різної дисперсності [1].

Швидкість корозії в таких системах залежить від загальної мінералізації водної фази, концентрації кисню, сірководню, діоксиду вуглецю. Корозія сталі в присутності діоксиду вуглецю часто супроводжується інтенсивними карбонатними відкладеннями, які доповнюються осадженням компонентів нафтової складової.

Формування карбонатно-оксидних плівок – багатостадійний процес: за pH<7 утворюються відкладення із слабими захисними властивостями, за pH>7 – відклади мають кращі захисні властивості. Однак у більшості випадків вони не захищають метал від локальної корозії. Найчастіше захист від корозії та регулювання осадження захисних плівок здійснюють шляхом застосування інгібіторів комплексної дії [2].

Метою даної роботи було вивчення кінетики бікарбонат-карбонатних перетворень у пластових водах та впливу інгібіторів корозії на цей процес.

Результати та обговорення

Нами були відібрані зразки відкладів, сформованих по нижній твірній труб, що перекачують пластові води. Аналітичними методами та ІЧ–спектроскопією [3] встановлено наступне. ІЧ–спектр зразка (рис.1), який був приготований методом диспергування проби в оптично прозорому для інфрачервоної області спектру матеріалі (KBr), свідчить про присутність у досліджуваній речовині функціональних груп -Si-O-Si- та -Si-OH (3700 $см^{-1}$). Тобто аналізована проба ідентифікується як силікати, що містять у своєму складі певну кількість силанольних груп та зв'язаної води (широка смуга 3700 – 3000 $см^{-1}$). Однак більш докладна ідентифікація зразка ускладнена тим, що у значній частині ІЧ-спектру силікати є непрозорі. Крім того, у зв'язку з дифракцією світлового променя на грубодисперсних частинках даної проби, які важко піддаються подрібненню, спостерігається підвищений фон шум/сигнал.

Кислотно-лужним титруванням в осаді визначені карбонат-іони. В цілому дану пробу зразка можна вважати як таку, що в основному складається із суміші піску та карбонату кальцію.

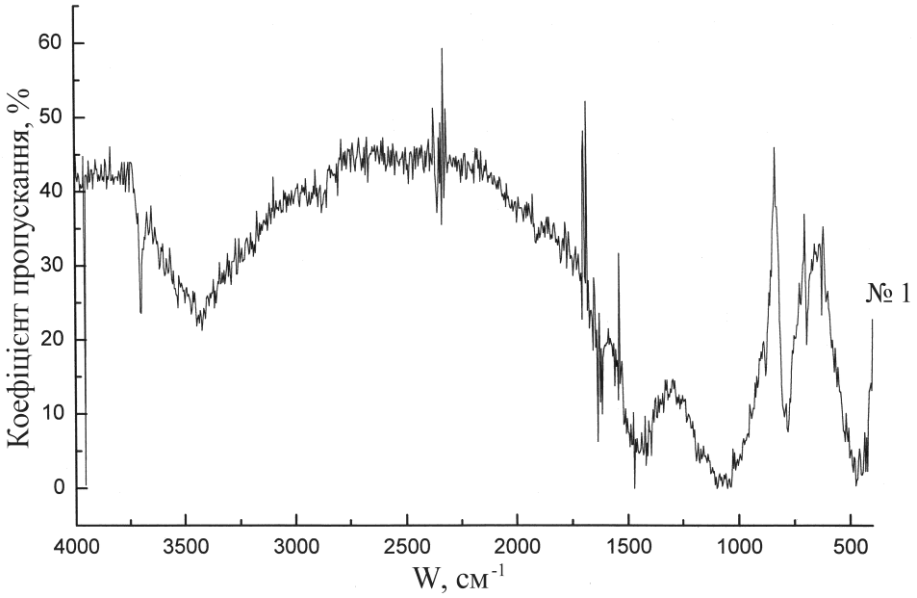


Рис. 1. ІЧ-спектр неорганічних відкладів з нижнього фрагмента труби

ІЧ–спектри зразків органічних відкладів приведені на рис. 2. Відзначимо, що ці спектри відбивають лише склад тих компонентів, які вдалося розчинити у CCl_4. Як видно з рисунка, смуги поглинання функціональних груп усіх трьох зразків практично повністю співпадають.

Область 3000-2800 см$^{-1}$. Спектр поглинання в цій області зумовлений валентними коливаннями груп С-Н. Проявляється у вигляді складної смуги з піком при 2962 см$^{-1}$, що відповідає коливанням метильної групи (антисиметричні коливання).

Піки при 2926 та 2853 см$^{-1}$ відносять до валентних коливань метиленової групи ($\nu_{\alpha s}$ та ν_s). Інтенсивність цих смуг залежить від числа метиленових та метильних груп у молекулі вуглеводню. Характер співвідношення інтенсивностей смуг поглинання при 2926 та 2853 см$^{-1}$ дозволяє стверджувати наявність у зразках № 2, 3, 4 аліфатичних вуглеводнів з кількістю атомів вуглецю C_{14}-C_{16}.

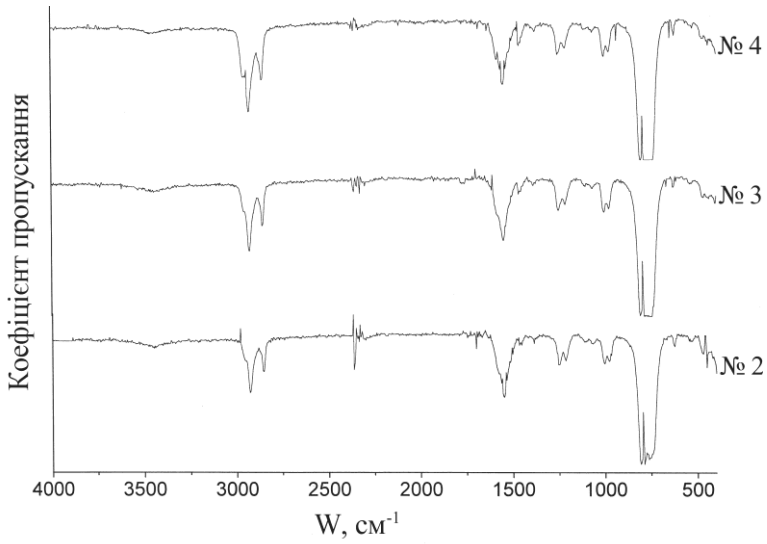


Рис. 2. ІЧ–спектри зразків органічних відкладів з нижнього фрагмента труби

Це підтверджується і наступними смугами поглинання в інших областях спектра: 1460 см$^{-1}$ – слабка смуга, що відповідає антисиметричному деформаційному коливанню

метильних груп CH_3 (δ_{as}). Симетричні коливання (δ_s) проявляються при 1380 $см^{-1}$. Область 1467 $см^{-1}$ – смуга поглинання метиленової групи та 1460 $см^{-1}$ – смуга поглинання метильної групи. Вони накладаються одна на одну і в спектрах, які дають розгалужені вуглеводні, майже не розрізняються.

Область 790-720 $см^{-1}$ – маятникові коливання груп ($-CH_2-$). В цьому випадку перекриваються із смугами поглинання розчинника CCl_4 (820-730 $см^{-1}$).

Область 1255-1210 $см^{-1}$ – смуги поглинання третбутильних груп у молекулах вуглеводнів.

Область 1650-1480 $см^{-1}$ (широка смуга) може свідчити про наявність у складі зразків № 2, 3, 4 нітросполук, нітроамінів, аліфатичних амінів.

Область 3500-3300 $см^{-1}$ (широка смуга невеликої інтенсивності) характеризує присутність асоційованої аміногрупи (валентні коливання N-H групи).

Область 1650-1500 $см^{-1}$ – смуги поглинання визначаються деформаційними коливаннями аміногрупи. Інтенсивна смуга асиметричних плоских деформаційних коливань зумовлена аміногрупою первинних амінів.

Область 1360-1000 $см^{-1}$ характеризує участь зв'язків C-N в скелетних коливаннях молекул.

Область 1280-1190 $см^{-1}$ – характерні смуги поглинання для аліфатичних амінів.

Таким чином, спектрально доступні складові зразків №№ 2, 3, 4 містять суміш аліфатичних вуглеводнів нормальної та розгалуженої будови з числом атомів вуглецю C_{14}-C_{16}, невеликої кількості аліфатичних амінів та нітросполук.

Вивчення складу нерозчинних компонентів зразків вимагає розробки спеціальних методик.

Перетворення бікарбонату кальцію в карбонат при гідродинамічному збудженні гетерофазної системи та визначення кількості відкладів карбонату кальцію проводили в установці [4] з інтенсивним перемішуванням рідкої фази турбінною мішалкою, виконаною за принципом електровідцентрового насоса ЕЦН 5- 130 – 650.

Досліджено вплив оксіетилидендифосфонової кислоти (ОЕДФ), гексаметафосфату, триполіфосфату, пірофосфорної кислоти, пірофосфату та інгібіторів КОРСОЛ–2 [5] і РЕНА-Нафтохім-8 на бікарбонат-карбонатні перетворення та корозію трубної сталі у пластовій воді (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив фосфоровмісних сполук на кінетичні характеристики процесу перетворення $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3$

Сполука	Концентрація, ммоль/л	$\frac{k_{еф.інг}}{k_{еф}}$	$\frac{mCaCO_{3інг}}{mCaCO_3}$	$\frac{\tau_{інг}}{\tau}$
ОЕДФ	0,5	0,070	0,076	2,6
Гексаметафосфат натрію	0,5	0,096	0,095	2,5
Пірофосфорна кислота	0,5	0,108	0,260	2,3
Пірофосфат натрію	0,1	0,150	0,180	2,1
Триполіфосфат натрію	0,1	0,080	0,060	2,8
КОРСОЛ-2	0,1 г/л	0,082	0,065	2,5
РЕНА-Нафтохім-8	0,1 г/л	0,102	0,190	2,0

∗Примітка:

$k_{еф.}$, $k_{еф.інг.}$ – константи швидкості перетворення $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3$;

$CaCO_3$, $CaCO_{3\ інг}$ – кількість відкладів; τ, $\tau_{інг}$ – час початку спадання вмісту Ca^{2+} в розчині.

Вихідна концентрація $Ca(HCO_3)_2$ = 0,095-0,1 М; швидкість обертання мішалки 2920 об/хв.

Встановлено, що кінетика перетворення бікарбонату кальцію в карбонат підкоряється закономірностям необоротної реакції другого порядку. Присутність інгібіторів ($5\cdot10^{-4}...10^{-3}$ М) не впливає на порядок реакції (рис. 3). Показано, що ОЕДФ, вибрана як еталон, за таких концентрацій в 13 разів зменшує кількість карбонатних відкладів. Швидкість перетворення $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3$ при цьому знижується в 14 разів.

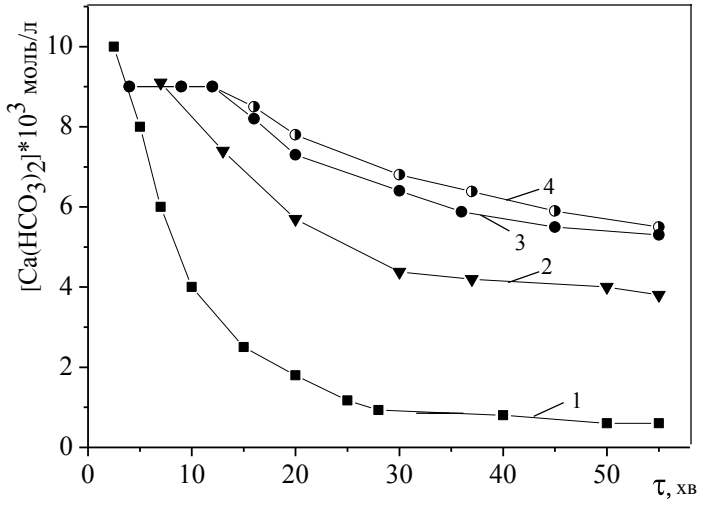


Рис. 3. Кінетичні криві перетворення $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3$: 1 – без інгібіторів; 2 – 0,1 г/л РЕНА-Нафтохім-8; 3 – $5{,}0\cdot10^{-4}$ М триполіфосфат натрію; 4 – 0,1 г/л КОРСОЛ-2. Температура випробувань t = 65°С.

Початок виведення іонів Ca^{2+} з розчину збільшується в 2,5 рази порівняно з неінгібованим середовищем. Ефективність триполіфосфату, гексаметафосфату та КОРСОЛ-2 знаходиться на рівні ОЕДФ. Однак при цьому спостерігається нерівномірне осадження органічної фази у вигляді острівків, що створює небезпеку посилення локальної корозії. Інгібітор РЕНА – Нафтохім-8 швидкість перетворення $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3$ знижує лише у 8 разів, однак його складові сприяють рівномірному розподілу осаджених парафінистих складових нафти. Порівняльна характеристика інгібіторів в умовах солевідкладення приведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика інгібіторів КОРСОЛ-2 та РЕНА-Нафтохім-8 в умовах солевідкладення $[Ca(HCO_3)_2]_0$ = 1,52 г/л. Температура випробувань t = 65°С. Швидкість обертання мішалки 2920 об/хв

Інгібітор	Концентрація, г/л	Кількість $CaCO_3$, г	Ступінь захисту від солевідкладень Z, %
-	-	0,28	-
КОРСОЛ-2	0,150	0,008-0,010	96-97
РЕНА-Нафтохім-8	0,50	0,034	85

В динамічних умовах інгібітор КОРСОЛ-2 за концентрації 0,15 г/л зменшує кількість карбонатних солевідкладень на 96%, а інгібітор РЕНА-Нафтохім-8 за рекомендованої концентрації 0,05 г/л – на 85%.

Вплив модифікацій КОРСОЛу та РЕНА-Нафтохім-8 на швидкість корозії трубної сталі у пластовій воді кількох родовищ (табл.3) є достатньо помітним.

Найбільше гальмування корозійного процесу спостерігається в присутності інгібітора КОРСОЛ –2 за концентрації 0,15 г/л. Інгібітор РЕНА- НАФТОХІМ –8 за концентра-

ції 0,05 г/л теж достатньо ефективно знижує швидкість корозії. Слід відзначити, що хоча води перерахованих родовищ мають приблизно однакове pH, їх корозійна активність і відповідно ефективність інгібіторного захисту помітно відрізняються.

Таблиця 3

Вплив інгібіторів на швидкість корозії трубної сталі у пластових водах. Концентрація інгібітора 0,15 г/л. Температура випробувань t = 65°С, перемішування

Родовище	pH	Швидкість корозії, $K_m \cdot 10^5$, г/см^2·год			
		-	КОРСОЛ-1	КОРСОЛ-2	РЕНА-Нафтохім-8
Скороходівське	5,32	5,75	0,95	0,80	0,89
Бугруватівське	5,35	5,13	0,48	0,35	0,51
Рибальське	5,18	2,52	1,02	0,75	0,91
Козіївське	5,55	2,73	0,42	0,21	0,48

Таким чином, захист внутрішніх поверхонь труби від корозії в пластових водах та регулювання осадження захисної плівки можливе шляхом застосування інгібіторів, які в своєму складі містять сполуки, що сприяють диспергуванню парафінистих складових нафтової фази.

Висновки

1. Визначено склад неорганічної та органічної складових відкладів, знятих з нижнього фрагмента труб, що перекачують пластові води: а) суміш карбонатів та силікатів з певною кількістю силанових груп і зв'язаної води; б) суміш аліфатичних вуглеводнів нормальної та розгалуженої будови (C_{14}–C_{16}), аліфатичних амінів та нітросполук.
2. Встановлено, що кінетика перетворення бікарбонату кальцію в карбонат підкоряється закономірностям необоротної реакції другого порядку, який не змінюється в присутності інгібіторів – фосфоровмісних сполук.
3. Показано, що досліджені інгібітори знижують швидкість бікарбонат-карбонатного перетворення у 8 – 14 разів та одночасно гальмують швидкість корозії трубної сталі у пластових водах.

Список використаних джерел

1. Саакиян Л.С. Защита нефтегазопромышленного оборудования от коррозии / Саакиян Л.С., Ефремов А.П. – М.: Недра, 1982. – 227с.
2. Каримов Р.С. Защита нефтепромышленного оборудования ПО "Удмуртнефть" от коррозии / Каримов Р.С., Жовнирчук В.М., Бабей Ю.И. – Львов, 1985. – 62с. – (Препринт. / ФМИ АН УССР; № 80).
3. Булатов М.И. Практическое руководство по фотоколориметрическим и спектрофотометрическим методам анализа / Булатов М.И., Калинкин И.П. – Л.: Химия, 1968. – 382с.
4. Михайловский В.Я. Пути воздействия ингибиторов на процесс превращения бикарбоната кальция в карбонат / Михайловский В.Я., Иванов А.М., Червинский К.А. // Журнал прикл. химии. – 1980. – № 3. – С.481-484.
5. Патент UA 20906A, МПК^7 C23F11/08. Інгібітор корозії та солевідкладення / З.В. Слободян, Д.М. Завербний, В.М. Жовнірчук, М.М. Берьозкін, В.О. Коровкін, Л.А. Маглатюк (Україна). – № 96041312; заявл. 04.04.96; опубл. 27.02.98, Бюл. № 1. – 7 с.

УДК 620.197

Е.Э. Чигиринец, д-р техн. наук
Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина

Г.Ю. Гальченко, канд. техн. наук
В.И. Воробьева, студентка
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

С.Ю. Липатов, канд. хим. наук
Киевский национальный университет технологий и дизайна, г. Киев, Украина

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕТУЧИХ ИНГИБИТОРОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Изучена эффективность разработанных композиций летучего ингибитора коррозии на основе растительного сырья. Показано, что они превосходят по защитным свойствам известный летучий ингибитор коррозии нитрит дициклогексиламина. Исследовано влияние добавки солей жирных кислот на эффективность защитного действия композиций летучих ингибиторов коррозии на основе растительного сырья. Показано, что данная добавка способствует снижению упругости насыщенных паров ингибирующей композиции на основе растительного сырья. С увеличением концентрации солей жирных кислот расширяется срок защитного действия композиции летучего ингибитора, а также в 2-3 раза повышается эффективность антикоррозионной защиты.

Введение

Одним из наиболее технологичных и эффективных методов противокоррозионной защиты металлических изделий является использование летучих ингибиторов коррозии (ЛИК), которые, в отличие от традиционных ингибиторов, при температуре окружающей среды, с достаточно высокой скоростью самопроизвольно адсорбируясь из парогазовой фазы на поверхности металла, предотвращают протекание коррозионных процессов. С учетом повышенных экологических и экономических требований к летучим ингибиторам авторами установлено, что перспективным сырьем для их создания могут быть соединения растительного происхождения [1]. Однако данные составы летучих ингибиторов, разработанные на основе изопропанольных экстрактов растительного сырья, обеспечивают эффективную защиту в условиях периодической конденсации влаги в течение 20 суток, то есть на относительно короткий период хранения или транспортировки металла. В то же время зачастую требуется обеспечение более длительной антикоррозионной защиты от атмосферной коррозии сроком до 30-60 суток.

Одной из важнейших характеристик, определяющих длительность защитного действия, является упругость насыщенных паров летучих ингибиторов [2; 3]. При этом наиболее надежная защита металлоизделий обеспечивается ингибиторами с оптимальной упругостью насыщенных паров. Связано это с тем, что легколетучий ингибитор обеспечивает быстрое достижение необходимой концентрации паров, однако, в негерметичной емкости расход ингибиторов будет очень высок, а его защитное действие непродолжительно. При использовании малолетучего ингибитора могут создаться такие условия, при которых коррозия наступит раньше, чем пары ингибитора достигнут поверхности металла с последующей адсорбцией.

Поэтому эффективным оказывается совместное использование более легколетучих и менее легколетучих веществ, обеспечивающих пролонгированное антикоррозионное действие за счет образуемой на поверхности металла защитной пленки на более длительный срок.

Цель исследований

Разработка составов летучих ингибиторов со сроком защитного действия до 60 суток. Изучение влияния солей жирных кислот на механизм защитного действия в условиях атмосферой коррозии композиций летучих ингибиторов на основе растительного сырья.

Методика эксперимента

В качестве объектов исследований служили триэтиламин (ТЭА), бензотриазол (БТА), композиции летучего ингибитора на основе хмеля сорта «Ароматический» (ЛИК 1) и жмыха рапса (ЛИК 2). Для сравнения исследовали известный летучий ингибитор коррозии нитрит дициклогексиламина (НДА).

В качестве малолетучего компонента в композиции летучих ингибиторов исследовали соль смеси жирных кислот (СЖК), которую вводили в базовый состав в концентрации 0,25; 0,85 и 1,45 % мас.

Антикоррозионное действие ЛИК оценивали в условиях периодической конденсации влаги. Перед испытаниями плоские образцы зачищали наждачной бумагой различной зернистости, обезжиривали ацетоном и выдерживали 3 суток в герметично закрытом сосуде над бюксом с жидким ингибирующим веществом. После чего металлические образцы размещали в герметичный эксикатор с дистиллированной водой и емкостью с ингибитором. Для обеспечения коррозионных процессов эксикатор размещали в термокамеру, в которой поддерживали режим периодической конденсации влаги (1 цикл в течение 8 часов при температуре 40° С и 16 часов – при температуре 25° С). Длительность испытаний составила 60 суток.

По второй методике исследуемые ЛИК применяли в виде ингибитированной бумаги. Введение ингибитора в бумагу производили ее пропиткой. Образцы упаковывали в ингибитированную бумагу, а затем помещали в полиэтиленовый чехол и 3 суток выдерживали в комнатных условиях. По истечении этого времени для проведения ускоренных коррозионных испытаний образцы помещали в климатическую камеру с температурой окружающей среды 40°С и относительной влажностью 100%. Испытания проводили в течение 60 суток (1 цикл 8 ч при температуре 40°С и 16 ч при температуре 25°С).

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований представлены в таблице 1. Анализ результатов показывает, что коэффициент торможения скорости коррозии для индивидуальных компонентов составляет не более 14,59 раз. Композиции ЛИК на основе растительного сырья обладают более высокими защитными свойствами. При их применении скорость атмосферной коррозии тормозится более, чем в 15…17 раз. Тогда как введение добавки СЖК в состав разработанной композиции летучего ингибитора на основе растительного экстракта способствует увеличению срока его защитного действия в условиях периодической конденсации влаги и обеспечивает более стабильную защиту как в начальный период испытаний, так и при длительном использовании.

Так, при использовании ЛИК на основе растительного сырья без дополнительного введения СЖК первые небольшие коррозионные поражения на образцах появлялись после 1 месяца испытаний, в то время как образцы с ингибитором, содержащим добавку с оптимальным соотношением компонентов ингибирующей композиции, не прокорродировали ни на начальном этапе, ни через 2 месяца испытаний.

Следует отметить, что эффективность защитного действия исследуемого летучего ингибитора при дополнительном введении СЖК зависит от количества добавки. Так, при содержании СЖК в ингибирующей композиции в количестве 0,25 или 0,85 % мас. первые небольшие коррозионные поражения появились после 1,5 месяцев испытаний, в то время как на образце с ингибитором, содержащим 1,45 % мас., даже по истечении 2 месяцев следы коррозии не зафиксированы. А коэффициент торможения атмосферной коррозии для ЛИК с максимальным содержанием СЖК достигает 82…124 раза.

При использовании в качестве ЛИК триэтиламина уже после 20 суток испытаний на образцах появились следы коррозии, а через 1,5 месяца испытаний это привело к значительным коррозионным поражениям (γ достигает 7). Ингибитор БТА также проявля-

ет слабые ингибирующие свойства по отношению к предлагаемым композициям и практически не предотвращает образование коррозионных поражений на образцах (γ достигает 2,42). На образцах, обработанных ингибитором НДА, первые незначительные коррозионные поражения появились после 45 дней испытаний.

Таблица 1

Скорость коррозии Стали 20 (периодическая конденсация влаги, 40°С) в присутствии летучих ингибиторов коррозии

Ингибитор		СЖК, % мас.	Уровень коррозионного поражения поверхности металла				K_m^- (2 месяца, г/(м^2 час)	Z, %	γ
			Время испытаний, месяцев						
			0,5	1,0	1,5	2,0			
ЛИК 1 (на основе экстракта хмеля «Ароматический»)		–	++	+	+	+	17,40	94,95	17,49
ЛИК 2 (на основе экстракта жмыха рапса)		–	++	+	+	+	19,86	94,14	15,32
Триэтиламин (ТЭА)		–	+	+	+–	+–	42,95	85,80	7,08
Бензотриазол (БТА)		–	+–	+–	–	–	125,71	58,69	2,42
Нитрит дициклогексиламина (НДА)		–	++	++	++	+	20,86	93,15	14,59
ЛИК 1 (экстракт хмеля)	ЛИК1-1	0,25	++	++	+	+	12,13	96,68	25,09
	ЛИК1-2	0,85	++	++	+	+	8,09	97,41	37,62
	ЛИК1-3	1,45	++	++	++	++	3,68	98,90	82,70
ЛИК 2 (экстракт жмыха рапса)	ЛИК2-1	0,25	++	++	+	+	12,50	96,56	24,35
	ЛИК2-2	0,85	++	++	+	+	10,02	97,14	30,38
	ЛИК2-3	1,45	++	++	++	++	2,45	99,20	124,23
Без ингибитора		–	+–	+–	–	–	304,36	–	–

Примечание: «++» – коррозия отсутствует, «+» – слабая защита металла, «+–» – небольшие коррозионные поражения, «–» – отсутствие защитного действия.

Результаты испытаний по методике 2 представлены на рисунке 1. На стальных образцах, упакованных в бумагу, не содержащую ингибитора, уже через 18 суток экспозиции в климатической камере с относительной влажностью атмосферы 100% были видны точки ржавчины, занимающие до 8 % поверхности металла. Их число и площадь со временем увеличивалась. К концу эксперимента поверхность образцов была на 20…25% покрыта продуктами атмосферной коррозии. Образцы, упакованные в бумагу, содержащую НДА, корродировали значительно медленнее, и только через 30 суток ис-

пытаний теряли блеск, а к концу эксперимента (60 суток) на них появлялись незначительные коррозионные пятна.

Бумага, содержащая ЛИК на основе растительного сырья без дополнительного введения СЖК, обеспечивает стабильную защиту в течение 32 суток, однако со временем образцы теряют металлический блеск, и к концу испытаний на них отмечены некоторые следы коррозии. Добавление СЖК в состав ЛИК в концентрации 0,25 или 0,85% мас. способствует повышению защитного действия, однако не обеспечивает полной защиты. Бумага, содержащая разработанный ЛИК с добавкой СЖК 1,45 % мас., обеспечивает достаточно длительную противокоррозионную защиту. Так, стальные образцы после 2 месяцев ускоренных коррозионных испытаний только незначительно потеряли первоначальный блеск.

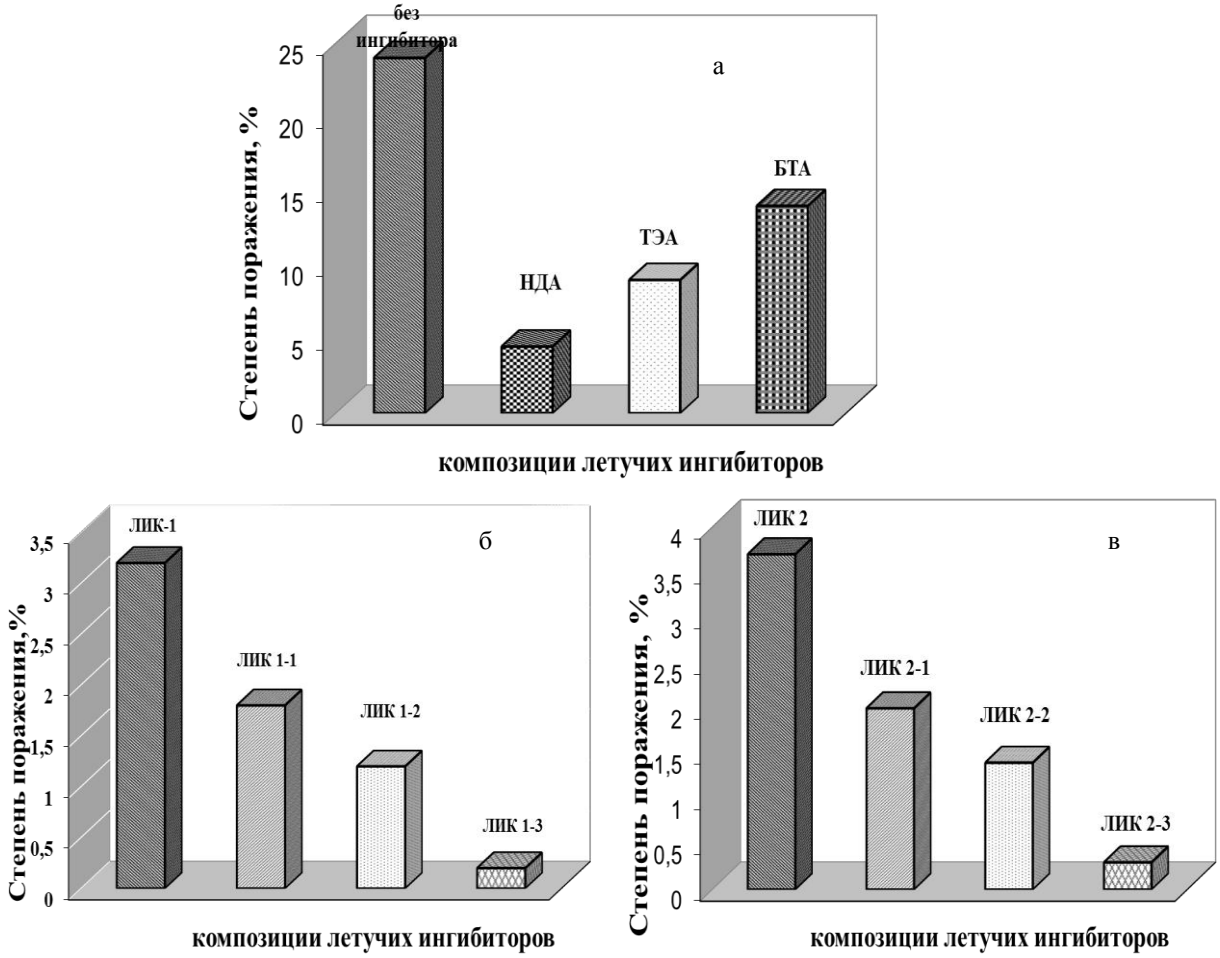


Рис. 1. Степень поражения образцов при испытаниях летучих ингибиторов коррозии в виде ингибитированной бумаги: а – индивидуальных компонентов; композиций летучего ингибитора с добавками СЖК; б – на основе хмеля (ЛИК 1); в – на основе жмыха рапса (ЛИК 2)

Одной из немаловажных характеристик ингибиторов атмосферной коррозии является их летучесть, поэтому в работе определена упругость насыщенных паров разработанных композиций ЛИК. Результаты измерений представлены в таблице 2. Так, среди индивидуальных веществ максимальная упругость насыщенного пара наблюдается у триэтиламина и соответствует 63,6 мм рт.ст. Для него же установлена и низкая антикоррозионная эффективность. Несколько ниже значения этого показателя у БТА (47,87 мм рт.ст.) и НДА (42,4 мм рт.ст.). Композиции летучего ингибитора на основе растительного сырья (ЛИК 1 и ЛИК 2) несколько более летучи (57,2 и 58,5 мм рт. ст.). Введение СЖК в количестве от 0,25 до 1,45 %мас., снижает давление насыщенного па-

ра в композициях на основе экстракта хмеля «Ароматический» и жмыха рапса от 48,5 до 29,8 и от 49,9 до 30,8 мм рт. ст., соответственно.

Однако следует отметить, что в целом значения упругости насыщенных паров композиции с добавками СЖК соизмеримы с этим показателем для БТА и ТЭА, являющихся низкоэффективными добавками. Следовательно, дополнительное введение СЖК в состав летучего ингибитора не только снижает упругость насыщенного пара композиции ингибитора, что способствует более медленному его испарению, но и значительно увеличивает эффективность защитного действия, вероятно, за счет адсорбции на поверхности металла молекул солей и усиления защитных свойств адсорбционного слоя.

Таблица 2

Давление насыщенных паров исследуемых ЛИК

Исследуемый состав		Содержание СЖК, % масс.	Упругость насыщенных паров, мм рт. ст.
ЛИК 1		–	57,2
ЛИК 2		–	58,5
ТЭА		–	63,6
БТА		–	47,8
НДА		–	42,4
ЛИК 1 (на основе экстракта хмеля «Ароматический»)	ЛИК1-1	0,25	48,5
	ЛИК1-2	0,85	36,1
	ЛИК1-3	1,45	29,8
ЛИК 2 (на основе экстракта жмыха рапса)	ЛИК2-1	0,25	49,9
	ЛИК2-2	0,85	36,9
	ЛИК2-3	1,45	30,8

Выводы

Таким образом, исследованиями установлено, что для получения более высокоэффективной композиции ЛИК на основе растительного сырья необходимо введение в нее компонента, уменьшающего летучесть композиции в целом.

Показано, что эффективной добавкой, снижающей упругость насыщенных паров ингибирующей композиции на основе растительного сырья, являются соли жирных кислот. При их оптимальном введении не только снижается упругость насыщенных паров композиции летучего ингибитора, но и в 2-3 раза повышается гарантированный срок антикоррозионной защиты металла на период его хранения и транспортировки как в условиях конденсации влаги, так и в виде ингибитированной бумаги.

Последующие исследования следует направить на изучение механизма адсорбции солей жирных кислот из парогазовой фазы и их влияния на структуру защитной адсорбционной пленки.

Список использованных источников

1. Чигиринець О.Е. Дослідження протикорозійної ефективності рослинних екстрактів / О.Е Чигиринець, В.І. Воробйова // Наукові вісті «КПІ». – 2010. – № 6. – С. 152-156.

2. Розенфельд И.Л. Ингибиторы атмосферной коррозии / И.Л Розенфельд, В.П. Персианцева. – Москва: Наука, 1985. – 177 с.

3. Андреев Н.Н. О прогнозировании давления паров летучих ингибиторов коррозии / Н.Н. Андреев, Ю.И. Кузнецов // Защита металлов. – 1996. - № 2. – С. 163–169.

УДК 687.053.73(088.8)

Б.В. Орловський, д-р техн. наук
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСТПРОЦЕСНОЇ МАШИНИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З КАПРОНОВИХ МОНОНИТОК

Наведені результати кінематичного і динамічного аналізу механізму прецизійного дискретного переміщення двох капронових монониток у формі сплюснених спіралей під час їх пришивання до двох текстильних стрічок на швейній машині. Замість традиційного рушія у вигляді зубчастої рейки, яка переміщується по еліпсоподібній траєкторії у вертикальній площині, використано і досліджено рушій у вигляді позивних коліс кулісного (мальтійського) механізму, які рухаються разом з матеріалом у стартостопному режимі тільки у горизонтальній площині. Відсутність супутнього горизонтальному переміщенню вертикального переміщення матеріалу покращує якість виконання технологічної операції пришивання до текстильних стрічок біспіральних монониток з поліаміду-66 при поточному методі виготовлення пластмасових застібок-блискавок на двоголкових машинах ланцюгового стібка. Заміна механізму вертикального і горизонтального переміщення матеріалу механізмом одного горизонтального переміщення матеріалу покращує якість виконання технологічної операції пришивання біспіральних монониток з поліамду-66 до текстильних стрічок при поточному методі виготовлення пластмасових застібок-блискавок на двоголкових машинах ланцюгового стібка.

Вступ

Світовий об’єм виробництва застібки-блискавки (надалі «застібки») різних конструкцій складає більше 4 млрд метрів на рік, з яких біля 50% належить фірмі YKK(Японія). На Україні крупним заводом з виробництва застібки є Баришевський завод «Блискавка». Класифікація способів виготовлення застібок наведена на рис.1.

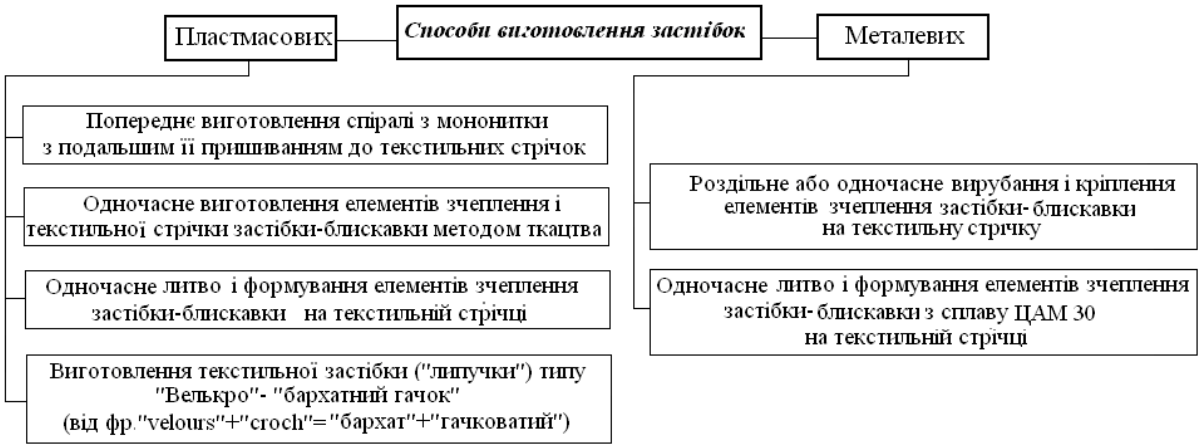


Рис.1. Класифікація способів виготовлення безперервних застібок

Методи та результати

Кінематична схема стартостопного механізму переміщення біспіральної застібки-блискавки з монониток під час її пришивання на швейній машині та розрахункова 3-масова динамічна модель наведені на рис.2. Конструктивною особливістю позивних коліс (стартостопного рушія) є те, що форма зубців їх торцевої поверхні є відображенням форми бокової поверхні спіралей з монониток і тому при роботі машини утворюється незвичайна механіко-технологічна кінематична пара у вигляді «зубчасте колесо (металеве) – рейкова передача (неметалева)». Стартостопний режим переміщення об’єктів зшивання потрібний за циклограмою роботи машини для їх зупинення при знаходженні голок у матеріалі текстильних стрічок. На засадах кінематичного зв’язку кута φ_3 повороту хрес-

та з кутом φ_2 повороту кривошипу: $tg\varphi_3 = \dfrac{\lambda \cdot \sin\varphi_2}{1-\lambda\cdot\cos\varphi_2}$ [1] отриманий наступний кінематичний зв'язок між кутовими швидкостями $\dot{\varphi}_3$ і $\dot{\varphi}_2$ цих ланок:

$$\dot{\varphi}_3 = \frac{\lambda(\cos\varphi_2 - \lambda)}{\lambda^2 - 2\lambda\cdot\cos\varphi_2 + 1}\cdot\dot{\varphi}_2 \quad , \tag{1}$$

де $\lambda = \sin\dfrac{\pi}{N_P} = \dfrac{R}{L}$ – кінематична характеристика мальтійського механізму (ММ), тут

R і L – довжина кривошипу і відстань між елементами стояка;

N_P – кількість пазів хреста (веденої ланки ММ).

Приведені моменти інерції для динамічної моделі на рис.2 б розраховані через моменти інерції окремих ланок (табл.1) для механізму на рис.2 а.

Таблиця 1

Параметри ланок динамічної моделі

Ланка механізму	*Довжина* $l,\ м\cdot10^{-3}$	*Радіус R,* $м\cdot10^{-3}$	$\dfrac{I}{\rho},\ м^5\cdot10^{-12}$	$I^*, кг\cdot м^2\cdot10^{-5}$
Кривошип для 6-пазового хреста	10	9	2118,0	$I_2 = 2\cdot10^{-5}$
Вал кривошипу	70	4	63,53	
Шестерня конічна, 2 шт	19	9	376,30	
Хрест 6-пазовий	6	18	1105,0	$I_3^* = 1{,}42\cdot10^{-5}$
Вал хреста	158	4	90,88	
Упорні втулки валу хреста	16	8,5	124,7	
Червяк	20	10,5	490,8	
Червячне колесо	15	11	8,0*	
Вали позивних коліс	239	3	0,62*	
Шестерня циліндрична, 2	5	16	23,56*	
Колесо позивне, 2 in/	2,5	13	4,58*	
* $\rho = 8{,}8\cdot10^3\ кг/м^3$, для інших ланок $\rho = 7{,}8\cdot10^3\ кг/м^3$				

На кінематичній схемі (рис.2) і в математичній моделі (3) прийняті наступні позначення:

I_1^* – приведений до головного валу момент інерції механізмів голки, ниткопритягувача і човника;

I_2 – момент інерції кривошипу;

I_3^* – приведений момент інерції ведених ланок ММ;

$m = 4\cdot10^{-3}\ кг$ – приведена маса ділянки застібки-блискавки, яка переміщується відносно голок швейної машини;

$k = 1{,}67\cdot10^{-4}\dfrac{Н}{м}$ – приведена жорсткість ділянки застібки-блискавки, яка переміщується відносно голок;

$c_{12} = 770\ \dfrac{Н\cdot м}{рад}$ – крутильна жорсткість демпфера;

M – момент рушійних сил;

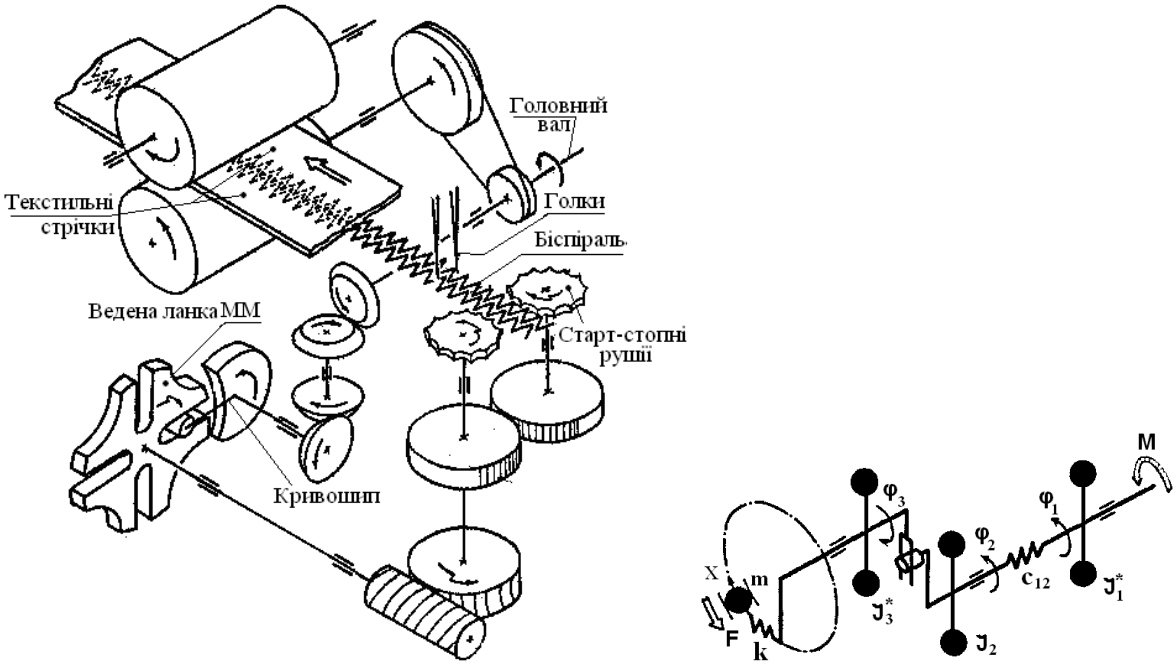
F – зовнішні сили, які прикладені до застібки-блискавки;

φ_1 – кут повороту головного валу;

φ_2 – кут повороту валу кривошипу;

φ_3 – кут повороту валу хреста;

x – лінійна координата положення застібки.



а б

Рис.2. Кінематична схема стартостопного механізму переміщення біспіральної застібки-блискавки з капронової мононитки при її пришиванні на швейній машині (а) і його 3-масова динамічна модель (б)

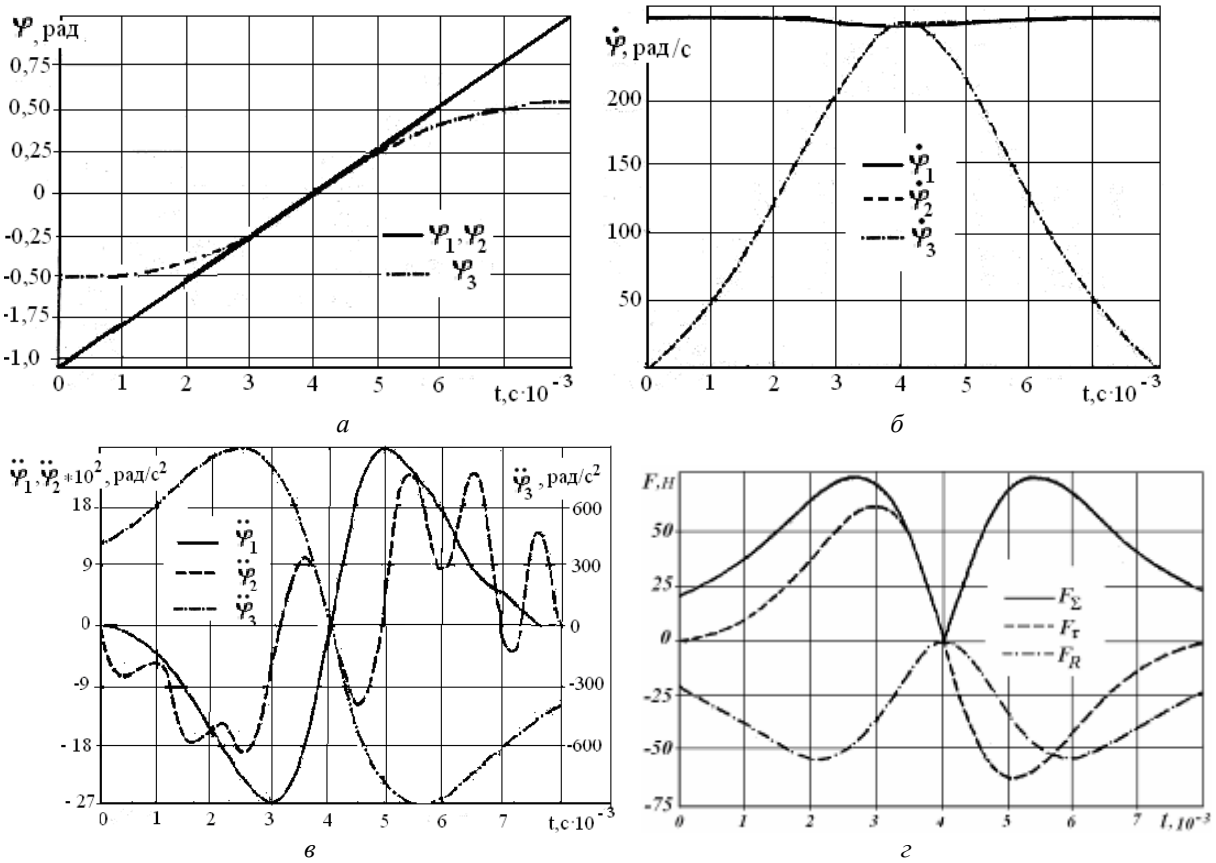
Визначаємо кінематичну енергію механіко-технологічної системи на рис.2 для узагальненого рівняння Лагранжа вигляду $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T_1}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T_i}{\partial q_i} = Q_1$, $i = 1,...3$ [2]:

$$T = T_1 + T_2 + T_X \,, \tag{2}$$

де $T_1 = \frac{1}{2} \cdot I_1^* \cdot \dot{\varphi}_1^2$ – кінетична енергія приведеного до головного валу моменту інерції I_1^* на рис.1 б у відповідності до рис.3 а;

$T_2 = \frac{1}{2} \left(I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2 + I_3^* \cdot \dot{\varphi}_3^2 \right)$ – кінетична енергія мальтійського механізму;

$T_X = \frac{1}{2} m \cdot \dot{x}^2$ – кінетична енергія ділянки застібки-блискавки, яка переміщується під голкою.



а – графіки $\varphi(t)$ переміщення; б – графіки $\dot{\varphi}(t)$ швидкостей; в – графіки $\ddot{\varphi}(t)$ прискорень; г – графіки $F(t)$ навантажень.

Рис.3. Результати чисельного рішення динамічної моделі (3) механізму переміщення біспіральної застібки-блискавки з капронової мононитки при її пришиванні на швейній машині

Оминаючи подальший формалізм Лагранжа, після визначення похідних за трьома узагальненими координатами φ_1, φ_2 і x від складових (1) кінетичної енергії, за трьома узагальненими швидкостями $\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2$ і $\dot{x}$ та похідними за часом $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1}\right)$, $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2}\right)$ і $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right)$ та узагальнених сил $Q = Q_1 + Q_2 + Q_X$, отримуємо наступну систему з трьох диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\begin{cases} I_1^* \cdot \ddot{\varphi}_1 = M - c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2); \\ \left\{ I_2 + I_3^* \left[\frac{\lambda(\cos\varphi_2 - \lambda)}{\lambda^2 - 2\lambda\cos\varphi_2 + 1} \right]^2 \right\} \cdot \ddot{\varphi}_2 + I_3^* \frac{\lambda^2(\lambda^2 - 1)\sin\varphi_2(\cos\varphi_2 - \lambda)}{(\lambda^2 - 2\lambda\cos\varphi_2 + 1)^3} \cdot \dot{\varphi}_2^2 = -c_{12}(\varphi_2 - \varphi_1) - \\ - k \cdot \left[k_{3X} \left(\frac{\pi}{N_P} + arctg \frac{\lambda \sin\varphi_2}{1 - \lambda\cos\varphi_2} \right) - x \right] \cdot \frac{\lambda \cdot (\cos\varphi_2 - \lambda)}{\lambda^2 - 2\lambda\cos\varphi_2 + 1} k_{3X}; \\ m\ddot{x} = -k \left[x - k_{3X} \left(\frac{\pi}{N_P} + arctg \frac{\lambda \sin\varphi_2}{1 - \lambda\cos\varphi_2} \right) \right] - (F_1 - F_2)\, sign(\dot{x}) + F_{рол}, \end{cases} \quad (3)$$

де $k_{3X} = \frac{l_c \cdot 10^{-3}}{2\pi} \cdot N_P = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-3}}{6{,}28} \cdot 6 = 17{,}19$ – передавальне відношення зчеплення стартостопних рушіїв (позивних коліс) з ділянкою біспіралі, яка переміщується, а саме між

кутовою координатою φ_3 повороту позивного колеса і лінійним переміщенням x спіралі ($l_c = 1{,}8$ *мм* – крок переміщення біспіралі для проколювання голкою між елементами застібки з мононитки);

F_1, F_2 і $F_{рол}$ – сили тертя і зусилля протягування застібки роликами, що встановлені за голками;

$$sign(\dot{x}) = \begin{cases} 1, & якщо\ \dot{x} \succ 0 \\ 0, & якщо\ \dot{x} = 0 \\ -1, & якщо\ \dot{x} \prec 0 \end{cases}$$ функція знаку сил F_1 і F_2 сухого тертя

текстильних стрічок по сталевій голковій пластині залежно від їх швидкості.

Для рішення системи (3) нелінійних диференціальних рівнянь 2-го порядку чисельним методом на ЕОМ ця система була перетворена в систему 6-ти диференціальних рівнянь першого порядку і доповнена нульовими початковими умовами, які відповідають моменту часу $t = 0$ входу пальця кривошипу в паз хреста.

Враховуючи громіздкість правих частин перетвореної системи (3) для численного інтегрування перевага була надана багатокроковому методу прогнозу-корекції [5].

Результати рішення математичної моделі і результати силових розрахунків наведені на рис.3 у вигляді графіків (рис.3 а, б, в) функцій $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $\varphi_3(t)$, $\dot{\varphi}_1(t)$, $\dot{\varphi}_2(t)$, $\dot{\varphi}_3(t)$, $\ddot{\varphi}_1(t)$, $\ddot{\varphi}_2(t)$, $\ddot{\varphi}_3(t)$. На рис.3 г наведені залежності: $F_R(t)$ – радіальна сила, яка діє між пазом хреста і пальцем кривошипу в напрямку вздовж радіуса кривошипу (позитивний напрям – до центру кривошипу); $F_\tau(t)$ – тангенціальна сила; $F_\Sigma(t) = \sqrt{F_R^2 + F_\tau^2}$ – сумарна сила, направлена по нормалі до поверхні паза.

Працездатність механізму була доведена результатами використання залежності $F_\Sigma(t)$ для оцінки форми і величини відносного зносу пальця кривошипу і паза веденої ланки ММ. Отримані результати були використані і впроваджені при створенні машини для виготовлення пластмасових біспіральних застібок на Баришевському заводі «Блискавка».

Висновки

Математична модель (3) і результати її рішення (рис.3) розкривають закономірності кінематики і динаміки у механіко-технологічній системі «стартостопний механізм – капронова біспіраль з поліаміду-66 – текстильні стрічки».

Використання функціонально адекватних стартостопних механізмів з реверсивною електромагнітною муфтою для з'єднання з головним валом є альтернативним рішенням застосування цільових механізмів з індивідуальним кроковим електроприводом для створення сучасних технологічних машин з мікропроцесорним керуванням.

Список використаних джерел

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

2. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики / Бухгольц Н.Н. – М.: Наука, 1972. – 325 с.

3. Орловский Б.В. Устройство для соединения элементов застежки-молнии с лентой-носителем на швейной машине: а.с. №896113 SU / Орловский Б.В., Дзюба В.И., Музичишин В.Н. – опубл., Бюл. №1, 1982.

4. Пищиков В.О. Проектування швейних машин / Пищиков В.О., Орловський Б.В. – К.: Видавничо-поліграфічний дім «Формат», 2007. – 320 с.

5. Форсайт Дж. Машинные методы математических вычислений / Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. – М.: Мир, 1980. – 272 с.

УДК 620.179:534.6

С.Ф. Филоненко, д-р техн. наук
А.П. Космач, аспирант

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ ПРИ ТРЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований сигналов акустической эмиссии, зарегистрированных при трении поверхностей образцов из композиционного материала. Показано, что с возрастанием осевой нагрузки на пару трения происходит возрастание среднего уровня результирующего сигнала акустической эмиссии, а также его дисперсии и стандартного отклонения. Определено, что такое возрастание анализируемых параметров сигнала акустической эмиссии происходит по нелинейному закону.

Постановка проблемы

Техническая диагностика трибосистем охватывает широкий круг вопросов, связанных как с теоретическими, так и с экспериментальными исследованиями. В основе проводимых исследований лежат методы, которые позволяют регистрировать и обрабатывать различную физическую информацию. Однако наибольший интерес представляют методы, обладающие высокой чувствительностью к процессам, протекающим в структуре материалов при действии различных факторов. Например, таких как механические нагрузки, температура, а также поля различной природы. Одним из таких методов является метод акустической эмиссии (АЭ).

Регистрируемое акустическое излучение, которое порождается внутренними процессами в материалах на субмикро-, микро- и макроуровнях, делает метод АЭ востребованным в диагностике технических систем. При этом, проблема интерпретации и идентификации АЭ информации, например, при трении, усложняется наличием ряда влияющих факторов – нагрузка на пару трения, скорость вращения, температура, состав смазки, физико-механические свойства используемых материалов. Кроме того, важное значение имеет и специфика строения материалов – материалы с традиционной структурой, композиционных материалы, материалы с покрытиями и другие. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования АЭ при трении представляют значительный интерес. В первую очередь, это относится к сопоставлению теоретических и экспериментальных результатов. Такое сопоставление позволяет получать взаимосвязанные закономерности изменения акустического излучения в процессе трения при действии различных факторов, что являются основой повышения достоверности разрабатываемых методов АЭ контроля и диагностики узлов трения.

Анализ последних исследований и публикаций

В настоящее время в узлах трения используется широкий спектр материалов, которые подбираются исходя из назначения и условий работы трибосистем. АЭ излучение, регистрируемое при исследовании трибосистем, обусловлено процессами, которые развиваются в зоне поверхностей контактного взаимодействия. Результаты теоретических исследований АЭ при трении поверхностных слоев материалов с традиционной структурой рассмотрены в работах ученых [1–3]. В основе построения модели результирующего сигнала АЭ, формируемого при трении поверхностей из таких материалов, положены модели импульсных сигналов АЭ, возникающих при разрушении вторичных структур I и II типа [4]. Математическое описание результирующего сигнала АЭ позволило провести его моделирование при действии различных факторов – скорости вращения поверхностей трения, внешней (осевой) приложенной нагрузки, объема материала, вступившего в пластическую деформацию. При этом были определены основные

закономерности изменения параметров результирующего сигнала АЭ на стадиях нормального и катастрофического изнашивания. Было также показано, что при увеличении величины осевой нагрузки, приложенной к паре трения, происходит возрастание среднего уровня результирующего сигнала АЭ и величины ее разброса. В тоже время, возрастание скорости вращения поверхностей фрикционного контакта приводит только к сжатию результирующего сигнала АЭ во времени без изменения среднего уровня амплитуды и величины ее разброса. При преобладающем механизме разрушения поверхностных слоев возрастание эксплуатационной нагрузки не влияет на характер изменения результирующего сигнала АЭ. Однако с увеличением скорости вращения происходит возрастание среднего уровня результирующего сигнала АЭ и уменьшение величины ее разброса.

Модель результирующего сигнала АЭ, формируемого при трении поверхностей из композиционных материалов, рассмотрена в работе Филоненко С.Ф. [5]. В основе построения модели результирующего сигнала АЭ использована модель импульсного сигнала, формируемого при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы [6–8]. Для описания модели использована концепция разрушения FBM (fibre bundle model) [9 –11] и кинетические закономерности разрушения [12; 13]. Выражение для результирующего сигнала АЭ, формируемого при разрушении поверхности композиционного материала, представлено в виде

$$U_p(t) = \sum_j U_j(t_j), \qquad (1)$$

где j – порядковый номер j-ой разрушаемой площадки контактного взаимодействия; $U_j(t_j)$ – j-ый импульсный сигнал АЭ, формируемый на j-ой площадке контактного взаимодействия.

Согласно модели, результирующий сигнал АЭ при трении поверхностей композиционного материала представляет собой сумму импульсных сигналов, формируемых при разрушении элементарных площадок, состоящих из заданного количества элементов. При этом импульсный сигнал, описывается выражением вида [7]

$$\begin{aligned} U(t) = U_0\, \upsilon_0 [\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})] \times \\ \times e^{r[\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})]} \times \\ \times e^{-\upsilon_0 \int_{t_0}^{t} e^{r[\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})]} dt} \end{aligned}, \qquad (2)$$

где N_0 – исходное количество элементов на площадке контактного взаимодействия; υ_0, r – постоянные, зависящие от физико-механических характеристик композиционного материала; α – скорость нагружения материала; t, t_0 – соответственно, текущее время и время начала разрушения элементов; g – коэффициент, зависящий от геометрических размеров элементов; $U_0 = N_0 \beta \delta_S$ – максимально возможное смещение при мгновенном разрушении элементов на площадке контактного взаимодействия; β – коэффициент пропорциональности; δ_S – параметр, численное значение которого определяется формой одиночного импульса возмущения при разрушении одного элемента (имеет размерность времени).

Согласно модели результирующего сигнала АЭ, формируемого при износе поверхностей из композиционного материала, в работе Филоненко С.Ф. [5] проведено исследование закономерностей изменения его параметров при изменении скорости вращения пары трения. Показано, что при трении композиционного материала формируется непрерывный сигнал АЭ изрезанной формы с некоторым средним уровнем амплитуды и величи-

ной ее разброса. При постоянной эксплуатационной нагрузке и постоянной площади разрушения возрастание скорости вращения пары трения приводит к возрастанию среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ и величины ее разброса. Если площадь разрушения элементов композиционного материала охватывает часть площадки контактного взаимодействия, то при изменении ее места положения происходит возрастание среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ, а также величины ее разброса. При уменьшении количества разрушаемых элементов происходит уменьшение среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ и уменьшение величины ее разброса. При этом сигнал АЭ также имеет изрезанную форму. Показано, что такие закономерности изменения параметров результирующего сигнала АЭ и изрезанность их формы обусловлены условиями перекрытия импульсных сигналов АЭ.

Экспериментальные исследования сигналов АЭ при трении поверхностей из композиционных материалов рассмотрены в работах ученых [14]. Результаты исследований показали, что регистрируемые результирующие сигналы АЭ имеют сильно изрезанную форму при различных скоростях вращения пары трения. При этом введение усреднения, ведущее к сглаживанию результирующего сигнала АЭ, приводит к потере вклада составляющих процессов, протекающих в поверхностных слоях материалов, в результирующий сигнал АЭ. Был определен интервал времени усреднения, при котором необходимо проводить обработку регистрируемой информации. Также показано, что с возрастанием скорости вращения пары трения происходит возрастание как среднего уровня результирующих сигналов АЭ (медианы в распределении), так и величин их дисперсии и стандартного отклонения.

В отличие от амплитудных параметров регистрируемых сигналов АЭ, значения которых изменяются по линейным законам [14], зависимости изменения медиан усредненной и суммарной энергий, их дисперсий и стандартного отклонения при одинаковых условиях испытаний описываются степенными функциями.

Задачи исследования

В работе будут рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований результирующих сигналов АЭ, формируемых при трении и износе поверхностей с покрытием из композиционного материала. Будет показано, что результирующие сигналы АЭ являются непрерывными сигналами изрезанной формы с некоторым средним уровнем амплитуды и определенной величиной ее разброса. Будет проведена статистическая обработка регистрируемых сигналов АЭ. Также будет показано, что при постоянной скорости вращения образцов увеличение осевой нагрузки на пару трения приводит к возрастанию среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ, увеличению величины ее дисперсии и стандартного отклонения. При этом возрастание анализируемых параметров происходит по нелинейному закону.

Методика исследований

Для проведения теоретических исследований влияния внешней осевой нагрузки на сигналы АЭ, формируемые при трении поверхностей из композиционных материалов, проведем их моделирование, используя выражение (1). При этом значения параметров, входящих в выражение (1), будут приняты в соответствии с результатами моделирования, рассмотренными в работах Филоненко С.Ф., Космач А.П., Косицкой Т.Н. [7; 8].

Для экспериментальных исследований сигналов АЭ при трении были изготовлены образцы из алюминиевого сплава Д16 с твердосплавным покрытием ВК6 и стали 30ХГСА. Образцы представляли собой детали типа втулка. Поверхность контактного взаимодействия образцов охватывала все их торцевые площади (коэффициент перекрытия K_P=1). Выбор материалов изготовленных образцов был обусловлен их широким использованием в трансмиссиях автомобилей и тормозных системах.

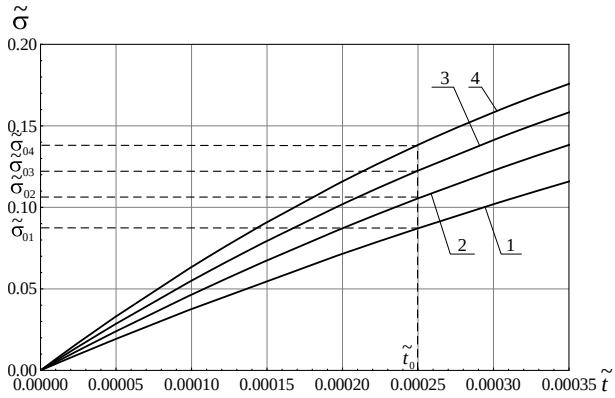
Испытания образцов на износ осуществляли с использованием конструктивной схемы взаимодействия “диск-диск” (рис.1) на модернизированной испытательной машине СМТ-1, в соответствии с методикой, описанной вышеуказанными авторами [14]. Осевая нагрузка *P* на пару трения изменялась в диапазоне величин от 300 Н до 750 Н с приращением по 150 Н. Один из образцов пары трения был подвижным, а другой образец вращадся с заданной скоростью. При проведении экспериментов скорость вращения подвижного образца была постоянной и составляла n=600 мин$^{-1}$. В качестве смазывающей среды использовалось масло типа М10Г2К [15], расход которого составлял 1,2 л/час.

Рис. 1. Схема взаимодействия образцов при испытании на износ

В процессе испытаний образцов осуществлялась регистрация сигналов АЭ. Их обработка и анализ проводились с использованием специального программного математического обеспечения. Обработка АЭ информации осуществлялась с усреднением. Выбор значения времени усреднения основывался на анализе ранее полученных экспериментальных данных [14]. Время усреднения составляло t_u=15 мс.

Результаты исследований

Моделирование результирующего сигнала АЭ при возрастании осевой нагрузки на узел трения будем проводить при следующих условиях. Предположим, что имеется узел трения из композиционного материала, площадка контактного взаимодействия которого ограничена некоторой площадью *S*. Поверхность сопряжения такого узла состоит из выступов или элементов, количество которых равно N_0. Элементы (наполнитель композиционного материала) имеют одинаковые размеры, физико-механические характеристики и равномерно распределены по площади контактного взаимодействия. Их разрушение, согласно модели FBM (fiber bundle model), происходит при достижении некоторого порогового напряжения разрушения σ_0 [7].



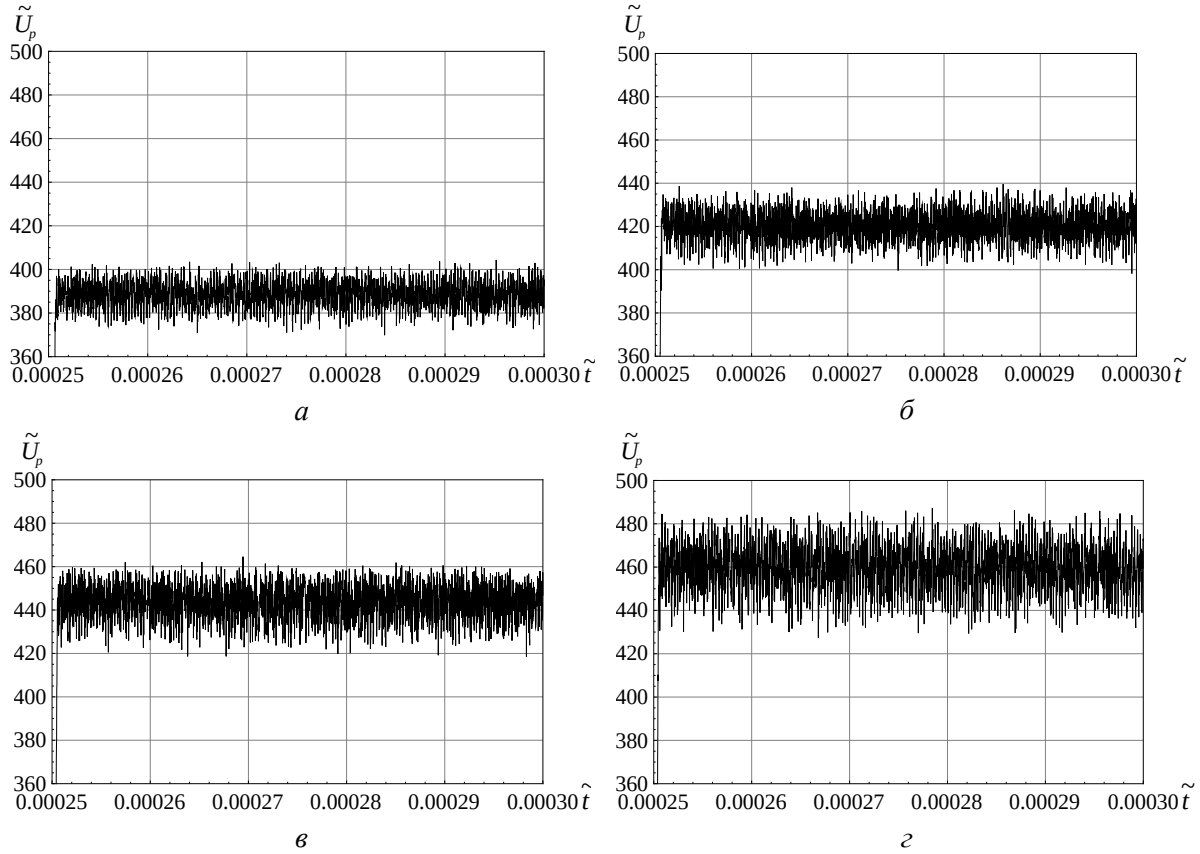
Значения α: 1 - α =400; 2 - α =500; 3 - α =600; 4- α =700. Значения $\tilde{\sigma}_0$: 1 – $\tilde{\sigma}_{01}$ =0,087154; 2 – $\tilde{\sigma}_{02}$ =0,105508; 3 – $\tilde{\sigma}_{03}$ =0,122562; 4 – $\tilde{\sigma}_{04}$ =0,138335. υ_0 =100000, r=10000, g=0,1. Время начала разрушения $\tilde{t}_0$ =0,00025

Рис. 2. Зависимости изменения напряжений в относительных единицах во времени при деформировании композиционного материала поперечной силой

Будем считать, что к поверхностям контактного взаимодействия последовательно прикладывается возрастающая осевая нагрузка. Согласно существующим представлениям [16], возрастание осевой нагрузки, приложенной к узлу трения, приводит к возрастанию поперечной силы, необходимой для перемещения поверхности контактного взаимодействия и, как следствие, к возрастанию порогового напряжения разрушения элементов σ_0 в площадках контакта. Их значения соответственно равны σ_{01}, σ_{02}, σ_{03}, σ_{04} (рис.2). Будем считать, что время начала разрушения элементов для всех возрастающих значений осевой нагрузки при постоянной скорости вращения узла тре-

ния остается неизменяемым и равным t_0. Тогда при постоянстве времени начала разрушения t_0 достижение возрастающего уровня порогового напряжения разрушения σ_0 будет происходить за счет начальной скорости изменения напряжения. При постоянной скорости вращения узла трения это обеспечивается за счет увеличения мощности, передаваемой узлу трения. Согласно сказанному, на рис.2 показаны графики изменения напряжений на элементах композиционного материала во времени в относительных единицах для скоростей α изменения напряжений, которые находились в диапазоне величин от 400 до 700. При построении графиков α приведены к безразмерным величинам, а время нормировано на время ввода нагрузки. Величины α и t_0 для рис. 2 составляли: 1 - α=400, $\tilde{\sigma}_{01}$=0,087154; 2 – α=500, $\tilde{\sigma}_{02}$=0,105508; 3 – α=600, $\tilde{\sigma}_{03}$=0,122562; 4– α=700, $\tilde{\sigma}_{04}$=0,138335.

Результаты моделирования результирующего сигнала АЭ, согласно (1), показаны на рис. 3 в относительных единицах. При построении сигналов АЭ все параметры, которые входят в выражение (2), приведены к безразмерным величинам, а время представлено в нормированных единицах.



Значения α : а – 400; б – 500; в – 600; г – 700. Значения $\tilde{\sigma}_0$: а – 0,087154; б – 0,105508; в – 0,122562; г – 0,138335. υ_0 =100000, r=10000, g=0,1, Δt_i =3·10^{-7}. Время начала разрушения $\tilde{t}_0$ =0,00025. Вариация $\Delta\tilde{t}_i$ на величину δ в диапазоне значений от 0 до 2·10^{-8}

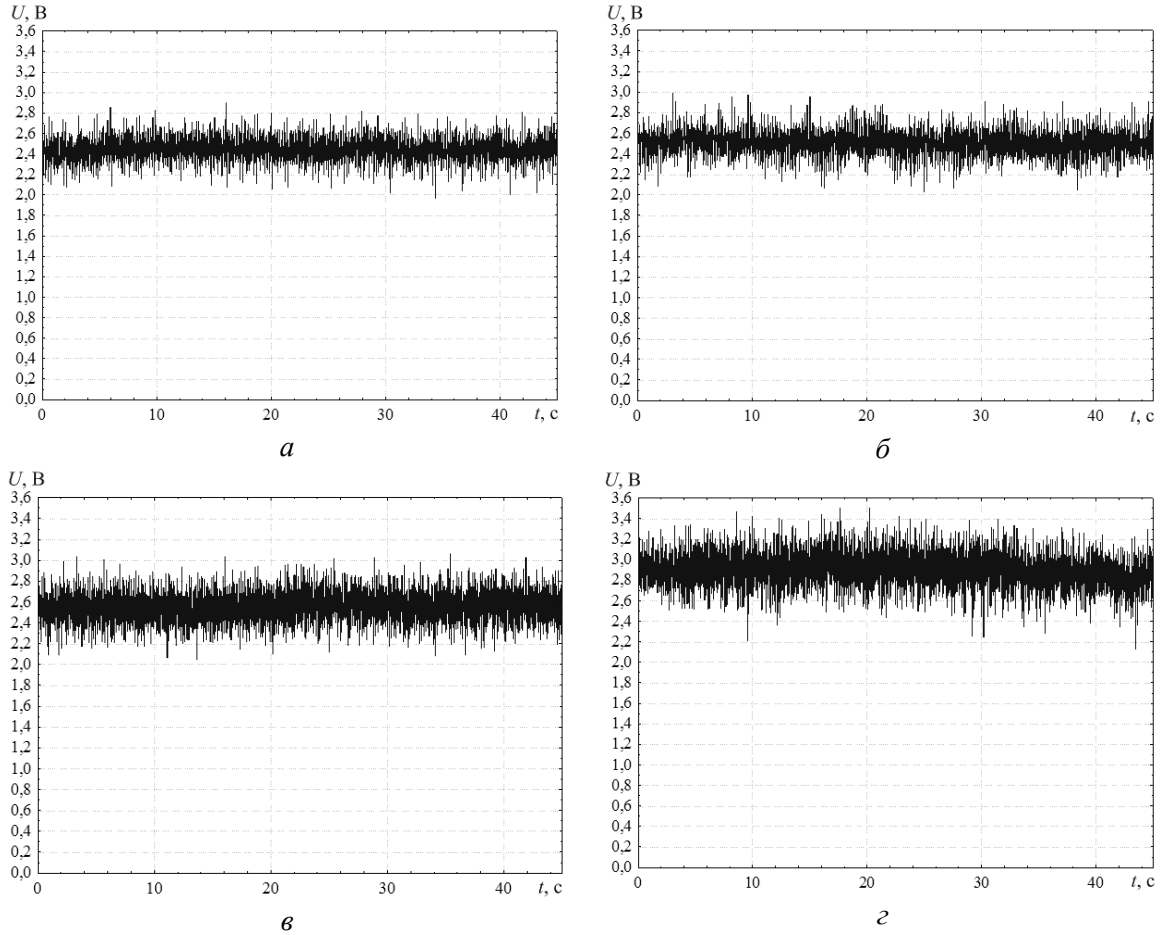
Рис. 3. Результирующие сигналы АЭ во времени, согласно (1), в относительных единицах при изменении локальной скорости достижения порогового напряжения разрушения

Моделирование сигналов АЭ (рис. 3) проводили при условии, что площадки контактного взаимодействия и, соответственно, количество разрушаемых элементов остаются постоянными величинами. При этом площадки могут располагаться произвольным образом в общей площади контакта *S*, что будет влиять на изменение времени появления последую-

щего сигнала АЭ. При моделировании параметры υ_0, r и g, которые входят в выражение (2), были приняты равными: υ_0 =100000; r=10000; g=0,1. Промежутки времени $\Delta\tilde{t}_i$ между сменами площадок были приняты равными $\Delta t_i = 3\cdot 10^{-7}$. Время появления последующего сигнала АЭ задавалось в виде $\tilde{t}_{0j} = \tilde{t}_0 + j\cdot\Delta\tilde{t}_i + \delta$. Значение δ изменялось в диапазоне величин от 0 до $2\cdot 10^{-8}$. При этом величина δ задавалась произвольным образом.

Результаты проведенных исследований (рис.3) показали, что для заданных условий моделирования результирующий сигнал АЭ представляет собой непрерывный сигнал изрезанной формы с некоторым средним уровнем амплитуды и величиной ее разброса. При увеличении значений α происходит возрастание среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ и величины ее разброса. Такие закономерности изменения параметров сигналов АЭ обусловлены тем, что при заданных условиях моделирования постепенное возрастание начальной скорости достижения пороговых напряжений разрушения элементов приводит к возрастанию амплитуд импульсных сигналов АЭ и их сжатию во времени. При этом изменяются условия перекрытия импульсных сигналов [5] что, в свою очередь, приводит к увеличению среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ и величины ее разброса.

Результаты экспериментальных исследований сигналов АЭ показаны на рис.4. При проведении экспериментов регистрация сигналов АЭ осуществлялась на стадии нормального изнашивания образцов (рис.1) после окончания этапа приработки пары трения. Полученные результаты (рис.4) показали, что при заданных значениях скорости вращения



Значения P: а – 300 Н; б – 450 Н; в – 600 Н; г – 750 Н. Время усреднения t_u =15 мс

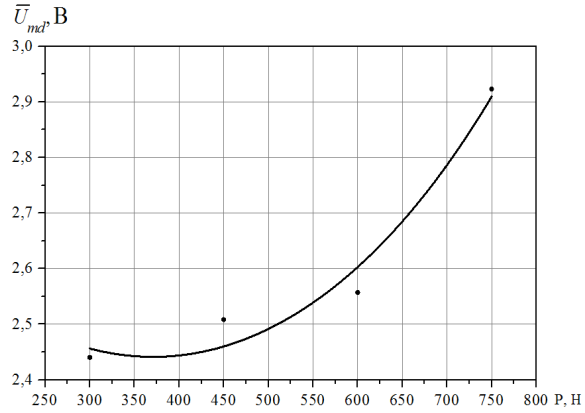
Рис. 4. Результирующие сигналы акустической эмиссии во времени, зарегистрированные при испытаниях на износ исследуемой пары трения, при разных значениях осевой нагрузки P

и осевой нагрузки на пару трения регистрируемый результирующий сигнал АЭ представляет собой непрерывный сигнал изрезанной формы с некоторым средним уровнем амплитуды и величиной ее разброса. При этом с увеличением осевой нагрузки на пару трения на стадии нормального изнашивания наблюдается возрастание среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ и величины ее разброса.

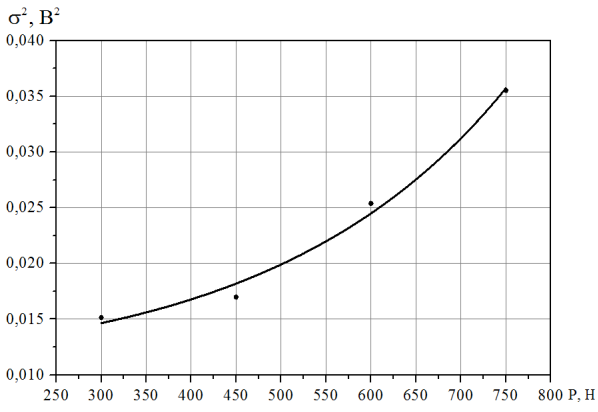
Статистическая обработка данных показала, что для всех исследуемых осевых нагрузок при времени усреднения t_u=15 мс для вероятности 0,95 распределения усредненных амплитуд сигналов АЭ с заданными интервалами усреднения описываются нормальным законом. Длина выборки регистрируемых сигналов для проведения анализа была неизменной. Количество интервалов анализа на длине выборки составляло порядка 3000. По результатам анализа были определены значения медиан $\overline{U}_{md}$ (среднего уровня амплитуды результирующих сигналов АЭ) в распределении, а также их дисперсий σ^2 и стандартного отклонения ε.

Результаты анализа показали, что при осевой нагрузке на пару трения 300 Н средний уровень амплитуды результирующего сигнала АЭ равен $\overline{U}_{md3}$=2,44 В, а дисперсия и стандартное отклонение, соответственно, равны: σ^2 = 0,015144 В^2 и ε = 0,12306 В. Увеличение осевой нагрузки на пару трения в 1,5 раза (до 450 Н) приводит к увеличению $\overline{U}_{md}$ в 1,028 раза ($\overline{U}_{md4}$=2,50832 В). При этом дисперсия увеличивается в 1,12 раза, а стандартное отклонение в 1,058 раза. При увеличении осевой нагрузки на пару трения в 2 раза (до 600 Н) происходит возрастание $\overline{U}_{md}$ в 1,048 раза ($\overline{U}_{md6}$=2,55712 В), а дисперсии и стандартного отклонения, соответственно, в 1,67 раза и 1,29 раза. Дальнейшее увеличение осевой нагрузки до 750 Н, т.е. в 2,5 раза, приводит к возрастанию $\overline{U}_{md}$ в 1,198 раза ($\overline{U}_{md7}$=2,92312 В). При этом дисперсия и стандартное отклонение увеличиваются, соответственно, в 2,34 раза и 1,53 раза.

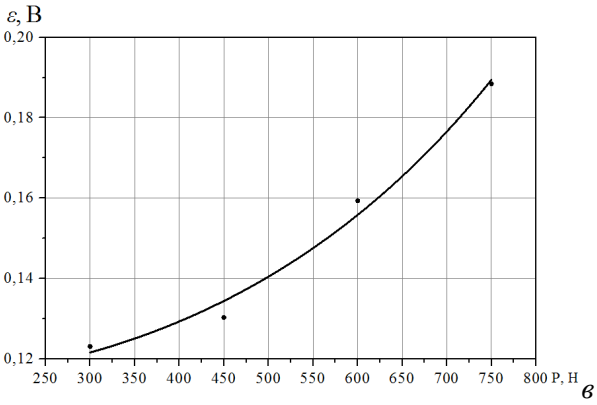
На рис. 5 приведены результаты обработки параметров результирующих сигналов



а



б



в

Рис. 5. Графики изменения среднего уровня амплитуд (медиан) $\overline{U}_{md}$ (а), их дисперсии σ^2 (б) и стандартного отклонения ε (в) результирующих сигналов акустической эмиссии от осевой нагрузки P

АЭ, показанных на рис. 4, в зависимости от осевой нагрузки на пару трения. Из рис. 5 видно, что с возрастанием осевой нагрузки на пару трения при заданных условиях испытаний происходит увеличение среднего уровня амплитуд результирующих сигналов АЭ, их дисперсии и стандартного отклонения.

Аппроксимация полученных данных (рис. 5) показала, что зависимости изменения среднего уровня амплитуд сигналов АЭ, их дисперсии и стандартного отклонения хорошо описываются степенной функцией вида

$$L = e^{aP^2+bP+c}, \qquad (3)$$

где L – анализируемый параметр; a, b и с – коэффициенты аппроксимирующего выражения; P – осевая нагрузка на пару трения.

Коэффициенты аппроксимирующего выражения (3) для исследуемых параметров АЭ равны: для изменения средних амплитуд – a= 1,22033·10^{-6}, b=-9,04937·10^{-4}, c=1,06025; для зменения дисперсии средних амплитуд – a= 1,78524·10^{-6}, b=1,07924·10^{-4}, c=-4,41696; для изменения стандартного отклонения средних амплитуд – a=1,05572·10^{-6}, b= -1,22422·10^{-4}, c= -2,16571.

При этом вероятности p описания полученных закономерностей для изменения среднего уровня амплитуд, их дисперсии и стандартного отклонения, соответственно, составляют: p=0,89554; p= 0,97024; p= 0,96366.

Выводы

Результаты моделирования результирующих сигналов АЭ показали, что при трении образцов из композиционных материалов формируется непрерывный сигнал АЭ с некоторым средним уровнем амплитуды и величиной ее разброса. Сигнал АЭ имеет изрезанную форму. Показано, что при постоянной скорости смены площадок контактного взаимодействия и постоянном количестве разрушаемых элементов композиционного материала в площадке контакта увеличение осевой нагрузки приводит к возрастанию среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ и величины ее разброса. Такие закономерности изменения параметров результирующего сигнала АЭ обусловлены изменением условий перекрытия импульсных сигналов, формируемых при разрушении площадок контактного взаимодействия.

Проведены исследования результирующих сигналов АЭ, регистрируемых при трении поверхностей сопряженных элементов с покрытием из композиционного материала ВК-6. Исследования проводились при различных значениях эксплуатационных нагрузок. Полученные результаты показали, что регистрируемые результирующие сигналы АЭ для всех эксплуатационных нагрузок имеют сильно изрезанную форму. Они представляют собой непрерывный сигнал с некоторым средним уровнем амплитуды и величины ее разброса.

Статистическая обработка данных показала, что при выбранном интервале анализа на заданной длине выборки распределения среднего уровня амплитуд регистрируемых сигналов АЭ описываются нормальным законом. Определено, что с возрастанием осевой нагрузки на пару трения происходит возрастание как среднего уровня амплитуд результирующих сигналов АЭ (медиан в распределении), так и величин их дисперсий и стандартного отклонения. Показано, что зависимости изменения среднего уровня амплитуд результирующих сигналов АЭ, их дисперсии и стандартные отклонения с высокой вероятностью описываются нелинейными возрастающими функциями. Рассматриваемые параметры могут использоваться в качестве информативных параметров при контроле процессов трения. В то же время, интерес представляют исследования энергетических параметров сигналов АЭ при изменении осевой нагрузки на пару трения.

Список использованных источников

1. Filonenko S.F. Modelling of acoustic emission signals at friction of materials' surface layers / S.F. Filonenko, V.M. Stadnychenko, A.P. Stahova // Aviation. – 2008. – v.12. – №3. –P.87-94.

2. Филоненко С.Ф. Моделирование сигналов акустической эмиссии при изменении объема материала, вступившего в пластическую деформацію/ С.Ф. Филоненко, А.П. Стахова, В.Г. Кравченко//Технологические системы. – 2008. – № 1(41). – С.22-27.

3. Filonenko S.F. Modeling of the acoustic emission signals for the case of material's surface layers distraction in the process of friction / S.F. Filonenko, A.P. Stakhova, T.N. Kositskaya // Вісник НАУ. – 2008. – №2. – С.24-28.

4. Бабак В.П. Моделі сигналів акустичної емісії при руйнуванні поверхневих шарів пар тертя / В.П. Бабак, С.Ф. Филоненко, В.М. Стадниченко, А.П. Стахова // Проблеми тертя та зношування. – 2007. – Вип.47. – С. 1-8.

5. Філоненко С.Ф. Модель сигналу аустичної емісії при терті поверхонь композиційних матеріалів /С.Ф. Філоненко, Т.М. Косицька, О.П. Космач // Наукоємні технології. – 2010. – № 6. – С.79-86.

6. Філоненко С.Ф. Акустична емісія при навантаженні композиційних матеріалів / С.Ф. Філоненко, В.М. Каліта, О.П. Космач //Вісник НАУ. – 2010. – № 1. – С.133-142.

7. Филоненко С.Ф. Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы / С.Ф. Филоненко, В.М. Калита, А.П. Космач, Т.Н. Косицкая // Технологические системы. – 2010. – № 2 (51). – С.45-53.

8. Філоненко С.Ф. Моделювання сигналів акустичної емісії при руйнуванні композиційних матеріалів під дією поперечної сили / С.Ф. Філоненко, О.П. Космач, Т.М. Косицька // Вісник НАУ. – 2010. – №2. – С.85-93.

9. Shcherbakov R. On modeling of geophysical problems: A dissertation for degree of doctor of philosophy / Robert Shcherbakov.– Cornell university, 2002.–209 p.

10. Raischel F. Simple beam model for the shear failure of interfaces/F. Raischel, F. Kun, H. J. Herrmann // Phys. Rev.E. – 2005. – vol.72. – №4.-P.11.

11. Raischel F. Local load sharing fiber bundles with a lower cutoff of strength disorder/ F. Raischel, F. Kun, H. J. Herrmann// Phys. Rev. E. – 2006. – vol.74(2). – №3. – P.4.

12. Маламедов И.М. Физические основы надежности / Маламедов И.М. – Л.: Энергия, 1970. – 152 с.

13. Ибатуллин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев / И.Д. Ибатуллин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 с.

14. Филоненко С.Ф. Обработка сигналов акустической эмиссии при трении поверхностей из композиционных материалов /С.Ф. Филоненко, А.П. Космач, Т.Н. Косицкая // Технологические системы. – 2010. – № 2 (51). – С.45-53.

15. ГОСТ 8581-78. Масла моторные для автотракторных дизелей. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 6 с.

16. Маркеев А.П. Теоретическая механика /А. П. Маркеев. – М.: ЧеРо, 1999. – 572 с.

УДК 677.05

О.О. Акимов, канд. техн. наук
А.О. Анисенко, магістрант
А.Г. Горобець, студент
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРУЖНОСТІ КРІПЛЕННЯ УКОЧУВАЛЬНОГО РОЛИКА НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМОТУВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ БП-340

Приведено результати дослідження впливу пружності кріплення укочувального ролика на динамічні характеристики намотувального механізму машини БП-340. Одержані залежності параметрів механізму від товщини тіла намотування та жорсткості пружного кріплення укочувального ролика.

Вступ

Основними динамічними характеристиками намотувального механізму є критичні швидкості бобінотримача та динамічна складова сили притискування до нього укочуючого ролика. Перспективним напрямком управління динамічними характеристиками є оптимальний вибір пружних характеристик елементів машин, що запобігає збільшенню величини динамічної складової сили притискування.

Аналіз публікацій

Визначенню інерційних параметрів бобінотримачів та їх критичних швидкостей присвячені роботи деяких учених [1; 2]. Визначення динамічних параметрів намотувальних механізмів знайшло відображення в роботі Корітисського Я.І. [1], але механізми даного виду там не були розглянуті.

Мета роботи

Визначити вплив виду кріплення укочуючого ролика на динамічну складову сили притискування за весь час напрацювання пакування.

Методи і результати досліджень

Розрахункова схема механізму намотування наведена на рис. 1.

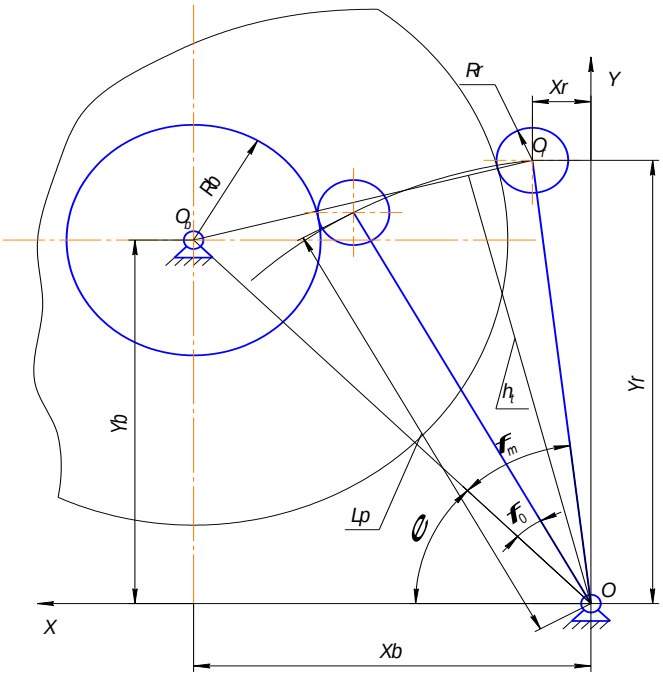


Рис. 1. Схема механізму намотування

Залежність кута повороту важеля бобінотримача від товщини тіла намотування t визначиться з геометричних міркувань і записується таким чином:

$$\varphi_m = \arccos\left\{\frac{1}{2L_p \cdot L_b}\left[L_p^2 + L_b^2 - (\frac{D_b}{2} + t + \frac{D_r}{2})^2\right]\right\}, \quad (1)$$

де L_b – відстань від осі важеля до осі бобінотримача;

D_b – діаметр бобіни;

D_r – діаметр укочувального ролика;

φ_0 – кут між важелем і лінією OO_b у початковий момент часу;

φ_m – кут між важелем і лінією OO_b у будь-який момент часу;

L_p – довжина важеля укочувального ролика.

Плече сили притискування укочувального ролика h_t визначимо як відстань від осі O (O, O) до прямої O_rO_b (полярна відстань):

$$h_t = \frac{Y_r \cdot X_b - X_r \cdot Y_b}{\sqrt{(Y_b - Y_r)^2 + (X_b - X_r)^2}}. \quad (2)$$

Плече сили притискування залежить від товщини тіла намотування наступним чином:

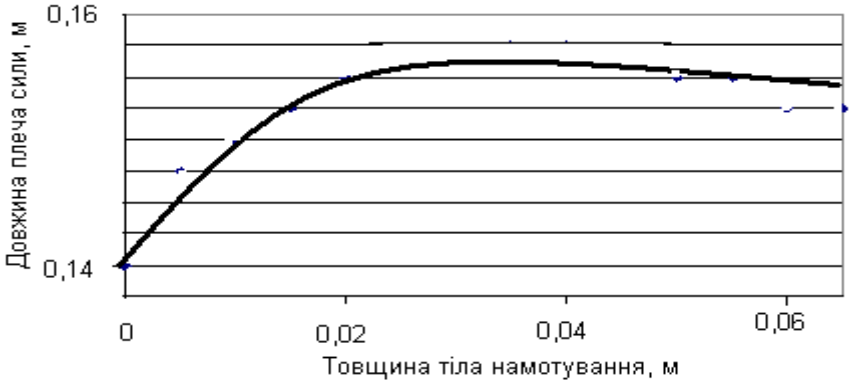


Рис. 2. Залежність довжини плеча сили від товщини тіла намотування

Зважаючи на збільшення маси пакування, що веде до зміни гравітаційного моменту притискування ролика до бобінотримача, перемінність довжини плеча, в подальшому будемо розглядати механізм як систему з постійними параметрами, які змінюються з часом дискретно, а за аргумент приймемо товщину тіла намотування.

Динамічна модель намотувального механізму з пружним кріпленням укочувального ролика зображена на рис. 3.

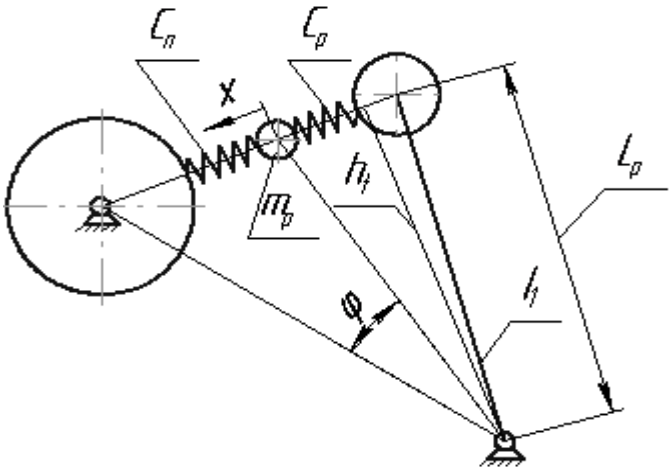


Рис. 3. Динамічна модель механізму з пружним кріпленням укочувального ролика

Кінетична енергія системи визначиться з виразу:

$$T = \frac{1}{2} I_1 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_p x^2 , \qquad (3)$$

де m_p – маса укочувального ролика;

I_1 – момент інерції важеля, $I_1 = I - m_p \cdot L_p{}^2$;

Потенційна енергія визначиться з виразу:

$$\Pi = \frac{1}{2} C_n x^2 + \frac{1}{2} C_p (x - h_t \varphi)^2 \ . \qquad (4)$$

На лінії контакту тіла намотування з укочувальним роликом система отримує кінематичне збудження:

$$x = e_1 \sin \omega_1 t + e_2 \sin(\omega_x t + \alpha_1) , \qquad (5)$$

де e_1, e_2 – ексцентриситети бобіни і укочувального ролика;

$\omega_x = i_x \cdot \omega_1$ – кутова швидкість укочувального ролика;

ω_1 – кутова швидкість обертання бобінотримача;

$i_x = \dfrac{D_r}{D_b}$ – передаточне відношення між бобіною і роликом;

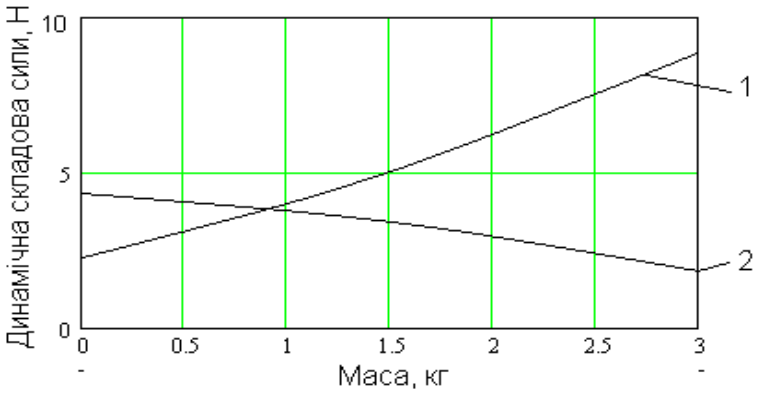
D_r, D_b – діаметри укочувального ролика і бобіни;

Аналогічно [1], використовуючи вираз кінетичної та потенціальної енергій, за допомогою рівняння Лагранжа другого роду з врахуванням рівняння (5), одержимо систему диференціальних рівнянь другого порядку, що описують вимушені коливання ролика:

$$\begin{cases} m_p \ddot{x} + (C_p + C_n) x - C_p h_t \varphi = C_n \cdot (e_1 \sin \omega_1 t + e_2 \sin(\omega_x t + \alpha_1)), \\ I_1 \ddot{\varphi} - C_p h_t x + C_p h_t^2 \varphi = 0. \end{cases} \qquad (6)$$

Інтегрування системи диференційних рівнянь здійснюється в системі Mathcad за допомогою оператора *Y=Rkadapt(y,t0,t1,N,D),* що реалізує метод Рунге-Кутта з перемінним кроком інтегрування. Динамічна складова сили притискування визначається аналогічно [1]. Значення параметрів механізму, використаних у системі (6), визначалися з технічного регламенту технологічного процесу.

Залежність *СКЗ* (середньоквдратичного значення) динамічної складової сили притискування при пружному та жорсткому кріпленні ролика приведена на рис. 4

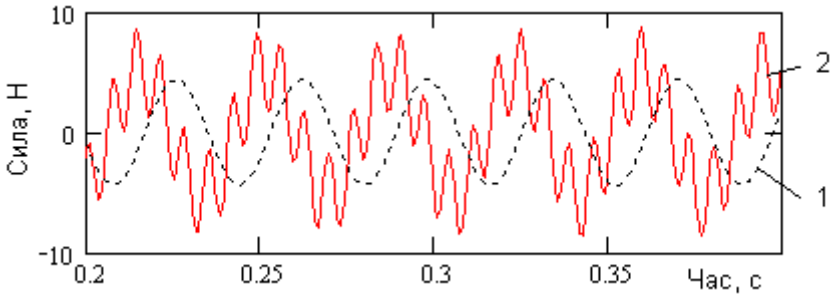


1 – жорстке кріплення ролика; 2 – пружне кріплення ролика (Ср=5х10^4 Н/м)
Рис. 4. Залежність динамічної сили притискування від виду кріплення ролика

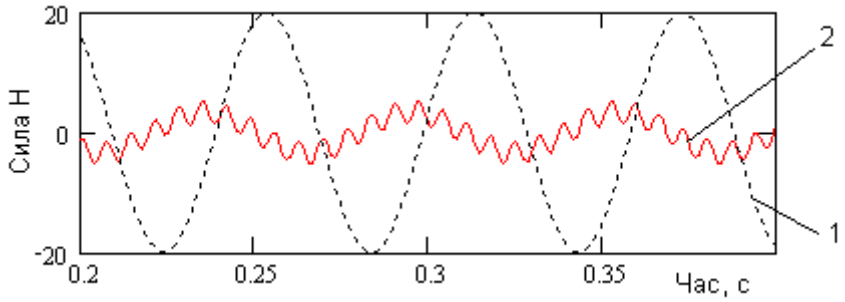
В якості пружних елементів були використанні гумові циліндричні шарніри з розмірами: зовнішній діаметр 0.015 м, внутрішній діаметр 0.005 м, довжина 0.015 м.

З рис. 4 видно, що пружне кріплення ролика для напрацьованого пакування знижує величину динамічної складової сили притискування майже в чотири рази, але на початку процесу намотування спостерігається збільшення динамічної складової на короткому відрізку часу майже в 2 рази.

На рис. 5 наведені характерні часові залежності сили притискування для різних періодів напрацювання пакування.



а) Початок напрацювання пакування



б) Маса пакування 3 кг
1 - жорстке кріплення ролика; 2 – пружне кріплення ролика
Рис. 5. Часові характеристики динамічної складової сили притискування

На рис. 5 спостерігається значна ефективність використання пружного кріплення ролика, особливо на заключному етапі напрацювання пакування.

Висновки

Одержана математична модель вимушених коливань укочувального ролика при його пружному кріпленні.

Проведені дослідження впливу пружного кріплення на динамічну складову сили притискування.

Пружне кріплення ролика для напрацьованого пакування знижує величину динамічної складової сили притискування майже в чотири рази, але на початку процесу намотування спостерігається збільшення динамічної складової на короткому відрізку часу майже в 2 рази.

Список використаних джерел

1. Коритысский Я. И. Динамика упругих систем текстильных машин / Коритысский Я. И. – М: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. – 272 с.

2. Фаворин М. В. Моменты инерции тел: справочник / под ред. М. М. Гернета. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 511 с.

УДК 66.061.4 (088.8):678.675:677.021.12

Е.К. Платонов, канд. тех. наук
Черниговский институт МАУП, г. Чернигов, Украина
Ю. Д. Шумный, начальник отдела,
ОАО «Химтекстильмаш», г. Чернигов, Украина

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОЛИКАПРОАМИДА К ФОРМОВАНИЮ

Основным направлением развития оборудования для непрерывной полимеризации поликапроамида является повышение его технико-экономических показателей при реконструкции химических производств предприятий синтетических волокон стран СНГ путем модернизации и переоснащения существующего оборудования. Эта цель достигается путем повышения экономичности, надежности при улучшении равномерности пребывания материала в корпусе аппарата. Установка непрерывного каскадного полиамидирования с форполимеризатором, испарителем-смесителем УКП ИСТ, использующая системы обогрева и корпуса с рубашками правой и левой частей АНП-5,5, обеспечивает повышение качества полимера перед формованием.

Введение

Качество волокна находится в прямой зависимости от качества полимера, из которого его получают. Поэтому процесс подготовки полимера к формованию волокна имеет первостепенное значение. Немаловажную роль при этом уделяют процессам полимеризации, экстракции и сушки поликапроамида и, как следствие этого, их аппаратурному оформлению.

Организация нового производства требует больших капиталовложений, которых у предприятий химических волокон, после прошедшего экономического спада, в настоящее время нет.

Постановка задачи

В современных условиях главный упор предприятия Украины и стран СНГ делают на модернизацию и переоснащение существующего оборудования непрерывной полимеризации, экстракции и сушки поликапроамида, чтобы полимер, подаваемый на формование, соответствовал современным требованиям технологии, т.е. являлся равномерным по степени полимеризации и, как следствие этого, по вязкости, содержанию низкомолекулярных соединений (НМС) и влагосодержанию [1].

Основными тенденциями в развитии этого оборудования являются [2]:

- обеспечение переработки различных видов полимерных материалов;
- повышение производительности оборудования;
- повышение экономичности оборудования;
- обеспечение возможности получения высоковязкого полимера;
- улучшение равномерности пребывания материала в аппарате;
- «смягчение» технологического режима, повышение точности поддержания технологических параметров;
- разработка алгоритмов управления системой автоматического регулирования с максимальным использованием ЭВМ;
- повышение надежности и долговечности работы оборудования.

Эти тенденции подробно описаны авторами [3].

Существующее в производстве оборудование морально и физически устарело и не может обеспечить современные требования технологии к полимеру, получаемому на этом оборудовании.

В настоящее время на производстве используется оборудование, приведенное в таблице 1.

Таблица 1

Оборудование, используемое в производстве

Тип оборудования	**Марка оборудования**
по полимеризации	АНП-5,5; АНП-7,5; АНП-10; АНП-12; ЛКП-20
по экстракции	Периодический экстрактор с загрузкой 4 тонны НЭ-6; НЭ-20; НЭ-28; НЭ-20М; НЭ-40
по сушке	«Холланд-Мартен», ВБС-500; ВБС-3750, ПС-0,6; ПС-1; ПС-4; НС-6,0; НС-7,5; НС-20; НС-28; НС-40

Рассмотрим оборудование по полимеризации: аппараты непрерывной полимеризации АНП-5,5; АНП-7,5; АНП-10; АНП-12; ЛКП-20.

У первых трех вышеперечисленных аппаратов неравномерность пребывания материала в корпусе аппарата достигает 50 %, у ЛКП-20 этот показатель колеблется в пределах 20-25 %. Однако при этом – очень высокая удельная металлоемкость и энергоемкость, которая не идет ни в какое сравнение с прямоточными аппаратами с испарителем-смесителем, у которого мощность привода составляет 1,5 кВт при трехкратном перемешивании вместо трех приводов якорных мешалок по 30 кВт каждый у ЛКП-20.

Обеспечить вышеперечисленные показатели равномерности по степени полимеризации это оборудование не в состоянии. Предприятия химических волокон стран СНГ не хотят отказываться от старого существующего оборудования (АНП-5,5; АНП-10, табл.1).

Результаты анализа и предложения

Наше предложение состоит в использовании корпусов и рубашек обогрева аппарата АНП-5,5, разделив левую и правую части на отдельные корпуса аппаратов с новой начинкой, т.е. с теплообменником обогрева в левой части и охлаждения в правой части, а также с использованием специальных вставок, обеспечивающих равномерное движение расплава в прямоточном полимеризационном аппарате шахтного типа.

Например, в установке трехстадийного непрерывного полиамидирования УТНП ИСТ-21, блок-схема которой представлена на рис.1.

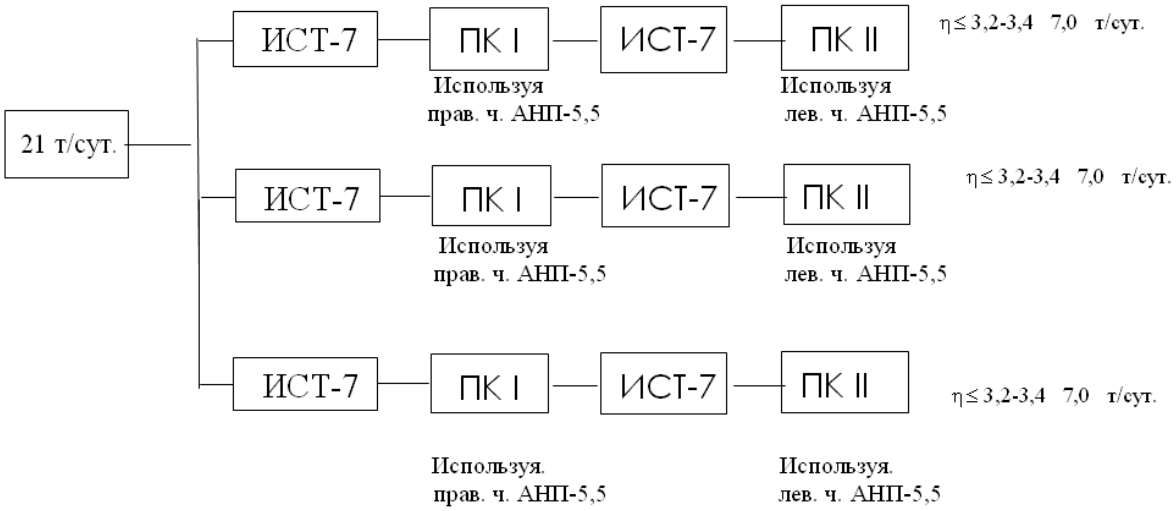


Рис. 1. Блок-схема установки трехстадийного непрерывного полиамидирования УТНП ИСТ-21

При ведении процесса в форполимеризаторе под давлением производительность одной трубы АНП-5,5 увеличивается с 4,8…4,9 т/сут до 7,0…7,1 т/сут для расплава кордного и технического ассортимента (литьевая вязкость 3,2…3,4 ед.) и до 8,0 т/сут для текстильного ассортимента (литьевая вязкость 2,3…2,6 ед.) [4].

Во всех современных схемах полиамидирования первая ступень (форполимеризация) проводится под давлением, т.к. известно, что если подавать большее количество

воды как активатора процесса, то процесс идет быстрее, но затем скорость реакции уменьшается и воду нужно удалять. Процесс становится многостадийным (2-х, 3-х, 4-х) в зависимости от желаемой вязкости [5]. Если же воды добавить ровно столько, сколько нужно для химического процесса (т.е. классическое полиамидирование), то время полиамидирования увеличится в 2 – 3 раза. Если давать воды в 2 раза больше, чем в последнем случае, то тогда можно обойтись 2-мя ступенями: первая – под давлением, вторая – с развитой поверхностью для удаления воды и охлаждения полимера.

Наиболее предпочтительна, на наш взгляд, 3-х стадийная схема. Для шелкового ассортимента можно отводить расплав после второй ступени, а для кордного – при необходимой вязкости 3,2 – 3,4 ед. по серной кислоте после 3-й ступени.

При приготовлении реакционной смеси существует два подхода. В одном случае все добавки, т.е. капролактама, уксусной или адипиновой кислоты, воды – то ли деминерализованной, то ли в виде сокового конденсата, то ли в виде 80% раствора капролактама, смешиваются в отдельной емкости с 24-х-часовым запасом непрерывной работы с применением ЭВМ, а затем насосами закачиваются в форполимеризатор.

Во втором случае устанавливаются поршневые насосы 3-х или 4-х позиционные: в каждую позицию подается из отдельной емкости свой вышеперечисленный компонент в соотношении, заданном технологическим регламентом, и затем стоит статический смеситель, который все это смешивает в трубопроводе. В форполимери-заторе составляющие дополнительно перемешиваются за счет специальных устройств, обеспечивающих поршневой режим движения расплава.

Аналогичные устройства используются и в остальных ступенях аппарата, и этим достигается улучшение равномерности пребывания материала в аппарате.

Подвод тепла на первой стадии при предварительной полимеризации производится по-разному. У фирмы Aquafil это выносной теплообменник (или даже два) на входе в форполимеризатор, у фирмы Zimmer [6] это теплообменник, встроенный в сам форполимеризатор, у фирмы Inventa –Fischer – один выносной, второй встроенный в VK-колонну [7]. Общее, что у большинства фирм нет якорных мешалок (кроме фирмы Тейджин и в установке ЛКП-20), т.к. это не выгодно как экономически, так и технологически.

Неравномерность в последнем случае в 2 – 2,5 раза выше, чем в колоннах вертикальных аппаратов типа VK-колонны (по русски - труба НП), VK – это аббре-виатура немецкого «ein facht kontinuierlich», что переводится, как «simplified cou-tinuous» на английский и как «упрощенного непрерывного действия» на русский.

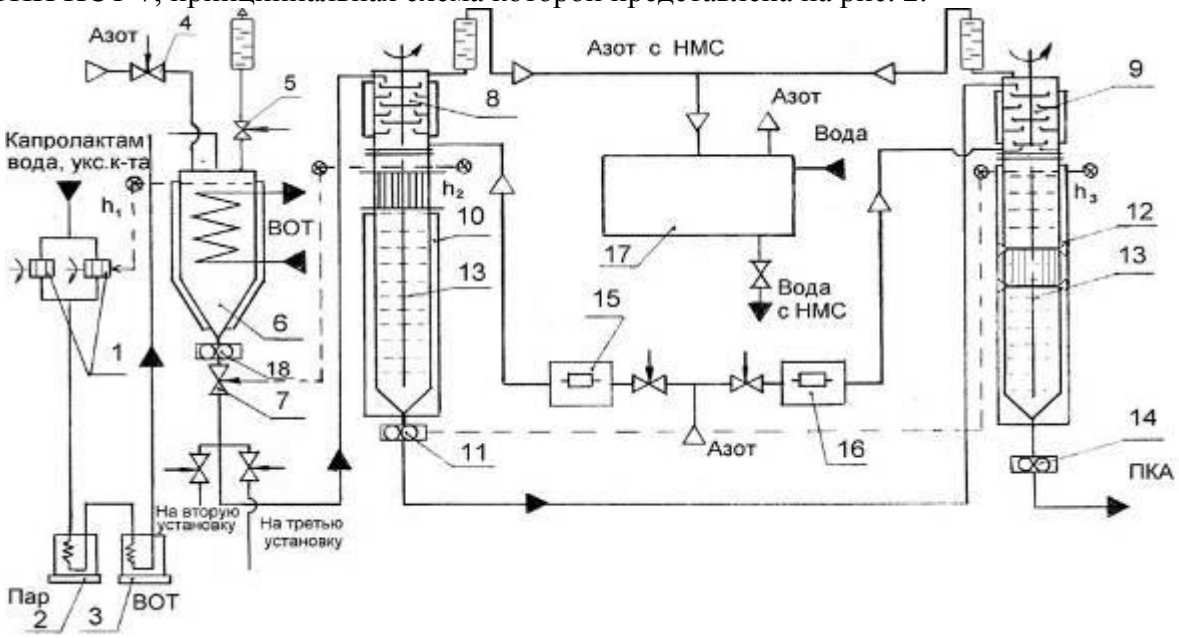
Модернизация аппаратов непрерывной полимеризации АНП-5,5 проводится с целью достижения физико-механических показателей полимера после реконструкции по относительной вязкости после литья:

- для кордной нити, не менее 3,0 ед. по серной кислоте;
- для текстильной нити 2,3…2,6 при среднеквадратичном отклонении литьевой вязкости, не более 0,02;
- содержание НМС, не более 10 %;
- путем ведения процесса на I стадии под давлением до 3,5 ати и применения испарителя-смесителя на II и III стадии, обеспечивающего повышение степени однородности полимера по молекулярной массе на 3…4 тысячи, применением прямоточных аппаратов шахтного типа с внутренними устройствами, обеспечивающими равномерность пребывания материала в корпусе аппарата.

Суть модернизации заключается в увеличении поверхности контакта струй расплава с парогазовой смесью при одновременном многократном перемешивании его путем увеличения количества неподвижных и подвижных перфорированных тарелок с бортами, объединенных в секции по три [8].

При этом ОАО «Химтекстильмаш» изготавливает только специальные узлы, испаритель-смеситель ИСТ-7, изготовление и перемонтаж оборудования предприятие химволокна выполняет собственными силами, т.е. при минимуме затрат достигается повышение качества полимера перед формованием.

Форполимеризатор производительностью 21 т/сут используется один на три установки трехстадийного непрерывного полиамидирования с испарителем-смесителем УТНП ИСТ-7, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.



1 – насос поршневой; 2, 3 – подогреватель; 6 – форполимеризатор; 4, 5, 7 – регулирующий клапан; 8, 9 – испаритель-смеситель ИСТ-7; 10 – труба левая АНП-5,5; 11- блок насосный; 12 – труба правая АНП-5,5; 13 – специальное устройство; 14, 18 – шестеренное выгрузное устройство; 15, 16 – нагреватель азота; 17 – система улавливания НМС

Рис. 2. Схема установки трехстадийного непрерывного полиамидирования с испарителем-смесителем УТНП ИСТ-7

Жидкий капролактам подается поршневыми насосами 1 через подогреватели 2, 3, обогреваемые паром и высокотемпературным органическим теплоносителем (ВОТ), в форполимеризатор 6, в котором смешивается с соответствующим количеством воды и уксусной кислоты.

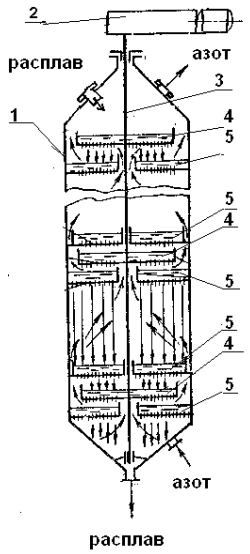
Процесс ведется при давлении 3,5 кгс/см^2. Уровень расплава измеряется и поддерживается с помощью уровнемера. Механическое перемешивание отсутствует, в форполимерзаторе имеется специальное устройство для перемешивания компонентов.

После форполимеризатора расплав с вязкостью 1,8-2,0 единиц по серной кислоте через испаритель-смеситель 8 (рис.3) подается в первый поликонденсатор ПК I прямоточного типа 10, имеющий специальные устройства 13 для равномерности движения расплава. Например, теплообменник с обтекателями, в котором по трубному пространству проходит расплав полимера, а по межтрубному – пары высокоорганического теплоносителя (ВОТ) или ВОТ в жидком виде. В верхнюю часть первого поликонденсатора ПК I подается предварительно подогретый в нагревателе 15 азот, удаляющий частично воду в системе 17.

Процесс поликонденсации в поликонденсаторе ПК I проходит практически без давления. Уровень расплава контролируется с помощью уровнемера.

Выгрузка расплава с вязкостью 2,3…2,6 ± 0,02 единиц по серной кислоте осуществляется шестеренным выгрузным насосом 11. Расплав подается в испаритель-смеситель

9 (рисунок 3), в котором установлены перфорированные тарелки с бортами, объединенные в секции по три. При этом каждая средняя тарелка всех секций укреплена на одной несущей детали, а пары внешних тарелок всех секций укреплены на другой несущей детали. Одной несущей деталью является корпус аппарата, а другой деталью является вал, установленный по оси корпуса и снабженный приводом вращения. В испарителе-смесителе происходит истекание расплава в виде струй при одновременном многократном перемешивании, в результате которого с помощью предварительно подогретого в нагревателе 15 азота происходит удаление воды и низкомолекулярных соединений в системе 17.



1-корпус; 2- привод; 3- вал; 4 - тарелка вращающаяся; 5 - тарелка неподвижная
Рис. 3. Испаритель-смеситель

Во втором поликонденсаторе ПК II 12, прямоточном аппарате, имеющем две зоны с паровым обогревом и последующие три с жидкостным обогревом ВОТ, процесс поликонденсации происходит практически без давления.

Для обеспечения равномерности пребывания расплава в аппарате служат специальные устройства 13, установленные в первой, второй и третьей зонах, повышающие степень однородности полимера по молекулярной массе.

Уровень расплава в поликонденсаторе ПК II контролируется с помощью уровнемера.

Выгрузка расплава вязкостью 3,2…3,4±0,02 единиц по серной кислоте и содержанием НМС не более 10 % осуществляется шестеренным вы грузным насосом 14.

Возможная производительность установок 7; 12; 18; 25 т/сут. Для текстильного ассортимента отбор расплава осуществляется после поликонденсатора ПК I, для кордного ассортимента – после поликонденсатора ПК II.

В процессе разработки возможно использование имеющегося на предприятии вспомогательного оборудования (насосов, подогревателей, обечаек корпусов аппаратов, например, в АНП-5,5, и др.) [9].

Выводы

Предложенное направление реконструкции химических производств предприятий синтетических волокон стран СНГ путем модернизации и переоснащения существующего оборудования для полимеризации поликапроамида является эффективным способом повышения его технико-экономических показателей.

Список использованных источников

1. Ступа М.В. Линия непрерывной полимеризации, экстракции и сушки гранулированного полимера / Ступа М.В., Платонов Е.К., Ступа В.И. // Тр. науч.-техн. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов» (12-16.06.2000 р.). – Щелкино, АР Крым, Харьков, 2000. – Ч.2. – С.423-427.

2. Платонов Е.К. Современные направления аппаратурного оформления процессов полимеризации, экстракции и сушки поликапроамида / Платонов Е.К., Ступа В.И., Ступа М.В. // Сб. докл. Междунар. научн.-практ. конф. «Техника для химволокон». – Чернигов, 2001. – Ч. 1. – С. 170-179.

3. Платонов Е.К. Современные тенденции и направления в создании оборудования непрерывной экстракции и сушки поликапроамида / Платонов Е.К., Ступа В.И., Ступа М.В., Тищенко В.Г. // Сб. науч.тр. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. СИЭТ8-00; Чернигов. – Киев: ФАДА ЛТД, 2000. – № 8. – С. 99-102.

4. Платонов Е.К. Эффективные направления реконструкции химических производств предприятий синтетических волокон стран СНГ / Платонов Е.К., Ступа В.И., Богославский А.А., Гора Р.Н. // Сб. докл. IV Международ. науч.-практ. конф. «Техника для химволокон». – Чернигов, 2005. – Ч. I. – С. 5-12.

5. Платонов Е. Перспективы развития машин и аппаратов непрерывной полимеризации, экстракции и сушки поликапроамида / Платонов Е., Ступа М., Ступа В. // Сб. науч. тр. IV Международ. науч. конф. «Перспективные задачи инженерной науки» (2 – 8.07.2003 г.). Выпуск 5 – GAUDEAMUS. – Игало, Черногория, 2003. – С. 196-201.

6. Reimer D. Zimmer AG. Polyamide 6 – Future Technologies and Efficient Plant Design. Полиамид 6 – будущие технологии и эффективная конструкция установки// Материалы конгресса «Полиамид-2002» (10 – 12. 06. 2002 г.). – Цюрих, Швейцария, 2002. – С.165-171.

7. Bergmann K. Inventa – Fischer AG. Polyamide 6 production technology and product development. Технология производства полиамида 6 и развитие продукта // Man Made Fiber Yeal Book. Chemical Fibers International, August 2002. - С. 9 – 12.

8. А.с 15813335 SU МКИ B 01 D 1/16 B 28 B 1/00. Испаритель-смеситель / В.А. Родионов, Е.К. Платонов. – Опубл. 30.07.90. Бюл. № 28.

9. Платонов Е.К. Эффективные направления реконструкции полимеризационного, экстракционного и сушильного оборудования предприятий химических волокон / Платонов Е.К., Ступа В.И. [и др.] // Хим. волокна. – 2006. – №5. – С. 57-61.

УДК 534.1:539.3

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

ЕФЕКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ В'ЯЗКОПРУЖНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ З МІЖФАЗНОЮ ТРІЩИНОЮ

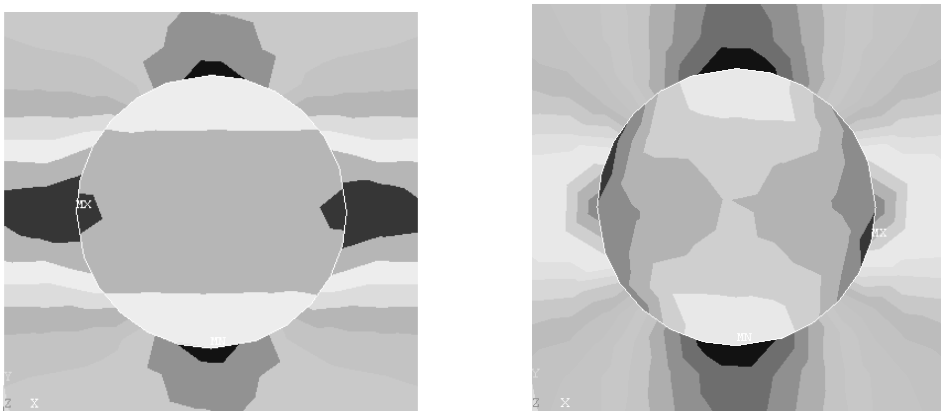
Досліджено ефективні характеристики полімерного однонаправленого волокнистого в'язкопружного композиційного матеріалу з наявністю симетричної тріщини в зоні контакту волокна і матриці за допомогою енергетичного методу.

Постановка проблеми

Зародження і розвиток недосконалої структури на межі розділу волокна і матриці у вигляді міжфазних тріщин обумовлені багатьма факторами, у тому числі з довготривалими циклічними навантаженнями конструкцій з композиційних матеріалів. Поява тріщин у таких матеріалах призводить до зміни фізико-механічних властивостей, зокрема, до погіршення характеристик міцності, оскільки достатній опір руйнуванню можливий при ідеальному контакті компонентів. Однак ідеального контакту при виготовленні композиційних матеріалів досягти майже неможливо, оскільки існує певний відсоток вірогідності того, що внаслідок істотних відмінностей між властивостями волокна і матриці, недосконалості структури у вигляді мікротріщин з'являються в міжфазній зоні вже після виготовлення матеріалу і на початковому етапі експлуатації. Ризик розвитку тріщин також пов'язаний з появою залишкових деформацій першого і другого роду внаслідок хімічних і термічних процесів у матриці і міжфазній зоні в процесі виготовлення і після затвердіння матеріалу. Особливо це стосується полімерних композитів, таких як боро- і склопластики, характеристики складових яких відрізняться на декілька порядків. У процесі експлуатації конструкцій з полімерних композиційних матеріалів невеликі тріщини збільшуються, що призводить до появи ділянок з відсутністю зв'язку між волокном і матрицею [1; 2]. В подальшому відбувається відшарування волокна від матриці і його часткове або повне проковзування. Міцність такого композиту зменшується, оскільки волокна вже не „працюють" разом з матрицею як цілісний матеріал, змінюються інші фізико-механічні характеристики [3].

Аналіз досліджень і публікацій

Визначення ефективних характеристик полімерних композиційних матеріалів з наявністю тріщин ускладнено наявністю в області, прилеглій до поверхні розділу фаз, полів з підвищеною інтенсивністю напружень (рис. 1) [1].



а) *б)*

Рис. 1. Напружений стан в однонаправленому склопластику при деформаціях поперечного розтягу (а) і поздовжнього зсуву (б)

Найбільш поширеними в техніці матеріалами, що широко використовуються в різноманітних конструкціях, є армовані волокнами однонаправлені полімерні композиційні матеріали. Найбільш перспективними вони виявляються для космічної техніки, де першочерговими вимогами є мала вага і високі характеристики міцності, жорсткості і розсіяння енергії. Велика кількість робіт щодо визначення пружних характеристик таких матеріалів пояснюється, зокрема, їх потенційно високою конструктивною ефективністю. Фізико-механічні властивості полімерних композиційних матеріалів суттєво залежать від масштабного фактору наповнювача, від орієнтації волокон, міцності контакту між матрицею і волокном, а також точністю визначення полів напружень і деформацій у матеріалі [4; 5].

Необхідна точність визначення параметрів напруженого стану досягається відповідністю масштабів його неоднорідності і відстані між точками дискретизації. Точні і наближені рішення, що враховують властивості складових і їх об'ємний вміст, структуру армування, орієнтацію тріщин і їх величину, для пружних сталих композиційних матеріалів знайдено у роботах Ванина Г.А.[1; 2].

Врахувати складні граничні умови, структурну неоднорідність і реальний розподіл напружень і деформацій у матеріалі можна за допомогою чисельних методів розрахунку. Запропонований у роботі Дубенець В.Г. [6] чисельний варіант методу енергетичної континуалізації, який базується на методі скінченних елементів, дозволяє з достатньою точністю визначати ефективні пружні і динамічні характеристики в'язкопружних композиційних матеріалів різної структури армування.

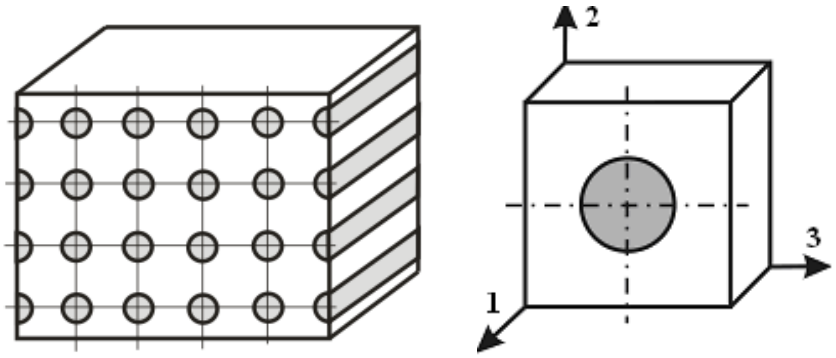
Мета статті

Метою роботи є дослідження ефективних пружних і динамічних характеристик в'язкопружних композиційних матеріалів з міжфазними тріщинами за допомогою чисельного варіанту методу енергетичної континуалізації [6].

Цей метод базується на прирівнюванні енергій деформацій композиційного матеріалу і умовного квазіоднорідного матеріалу за характерних граничних умов із застосуванням скінченно-елементних моделей матеріалів. Для опису неідеально-пружних властивостей використовуються фізичні залежності Больцмана-Вольтера, записані у частотному просторі за допомогою матриць комплексних модулів. Компоненти матриці комплексних модулів є функціями частоти коливань. Енергетичний метод дозволяє врахувати неоднорідний напружено-деформований стан матеріалу.

Виклад основного матеріалу

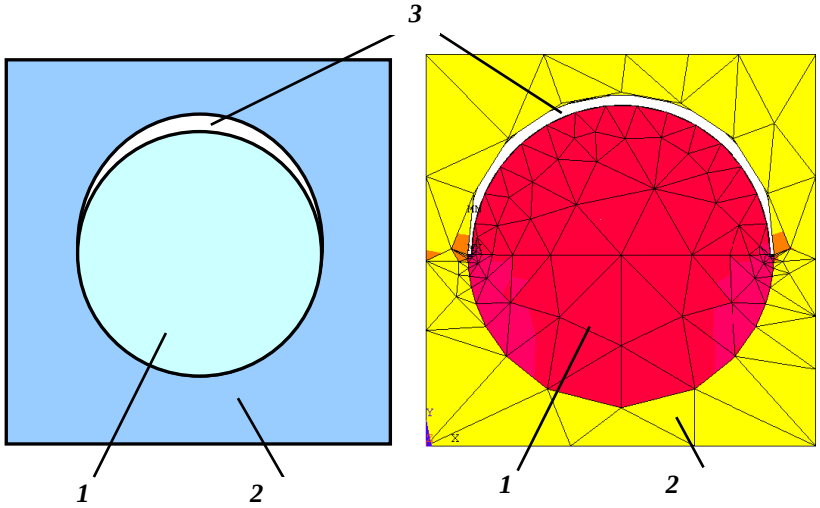
Розглянемо в'язкопружний однонаправлений волокнистий композиційний матеріал з тетрагональною схемою армування (рис. 2).



а) *б)*

Рис. 2. Структура (а) і представницький елемент об'єму (б) однонаправленого волокнистого композиційного матеріалу з тетрагональною схемою армування

Якщо адгезія між волокном і матрицею не є ідеальною, то на міжфазній границі виникає область з дефектами структури у вигляді тріщини. Така тріщина є зоною відшарування матриці від волокна, тобто локального руйнування матеріалу. Припустимо, що така тріщина є неперервною по довжині волокна й орієнтована симетрично відносно однієї з осей симетрії (вертикальної осі) матеріалу (рис. 3). Для побудови скінченно-елементної моделі матеріалу з тріщиною в роботі було використано програмний комплекс ANSYS/ED 8.0. Представницький елемент об'єму з розбиттям на скінченні елементи представлено на рис. 3 б.



а) *б)*

1 – волокно, 2 – матриця, 3 - тріщина

Рис. 3. Волокнистий однонаправлений композиційний матеріал з однією симетричною тріщиною: загальний вигляд (а) і представницький елемент об'єму з розбиттям на скінченні елементи (б)

Кут відкриття тріщини θ поступово збільшувався від 0° до 180° симетрично з двох боків відносно вертикальної осі симетрії. Кут $\theta = 0°$ відповідає матеріалу з ідеальною адгезією компонентів (однонаправлений волокнистий композиційний матеріал без тріщини), кут $\theta = 180°$ відповідає матеріалу з повним відшаруванням волокна від матриці.

Коефіцієнт армування (об'ємний вміст волокон) для композиційних матеріалів з тетрагональною структурою армування може змінюватись у діапазоні від 0 до 0,7854. В даній роботі розрахунки проводилися для волокнистого однонаправленого склопластику з коефіцієнтом армування 0,5. Характеристики складових матеріалу наведено у роботі Дубенець В.Г., Яковенко О.О. [6].

Результати розрахунків наведено у вигляді залежностей відповідних пружних і динамічних характеристик в'язкопружного полімерного волокнистого композиційного матеріалу від кута розкриття тріщини. На рис. 4 представлено залежність дійсної частини компонент матриці модулів C11, C12, C22, C33, C23, C44, C66 від кута розкриття тріщини; на рис. 5 – залежність декрементів коливань D1, D2, D3, D4, D5, D6 від кута розкриття тріщини; на рис. 6 – залежність поздовжнього модуля пружності E1 від кута розкриття тріщини; на рис. 7 – залежність поперечних модулів пружності E2 і E3 від кута розкриття тріщини; на рис. 8-9 – залежності відповідно поздовжнього G13 і поперечного G12 модулів зсуву волокнистого склопластику від кута розкриття тріщини.

Для перевірки одержаних за допомогою енергетичного методу результатів проводилося порівняння з рішеннями, описаними в роботах Ванина Г.А. [1; 2], для волокнистих матеріалів з симетричними тріщинами (рис.6-9).

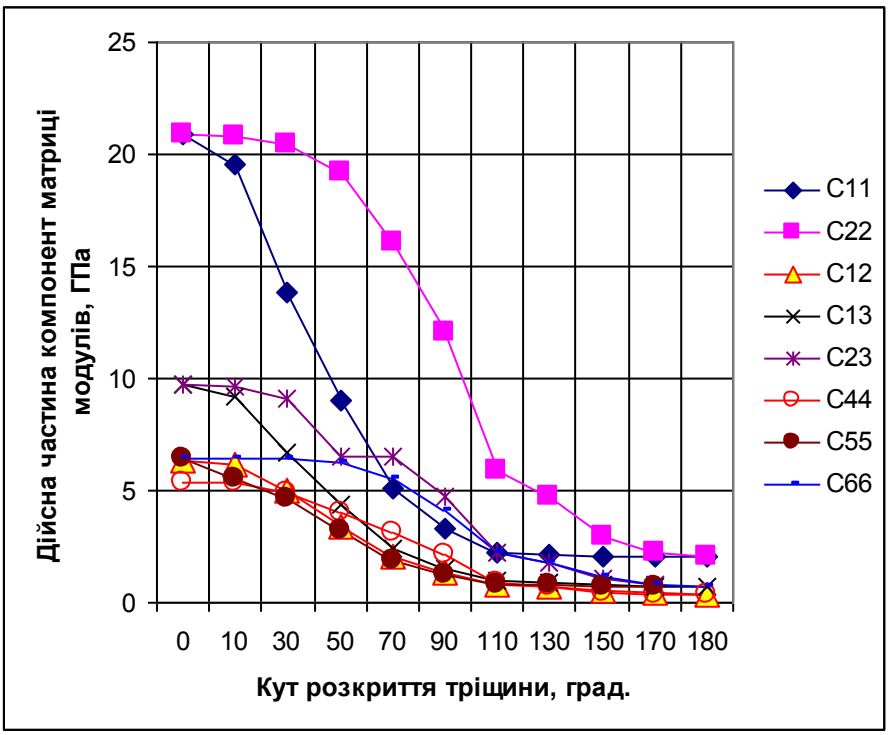


Рис. 4. Залежність дійсної частини компонент матриці модулів від кута розкриття тріщини для однонаправленого волокнистого склопластику

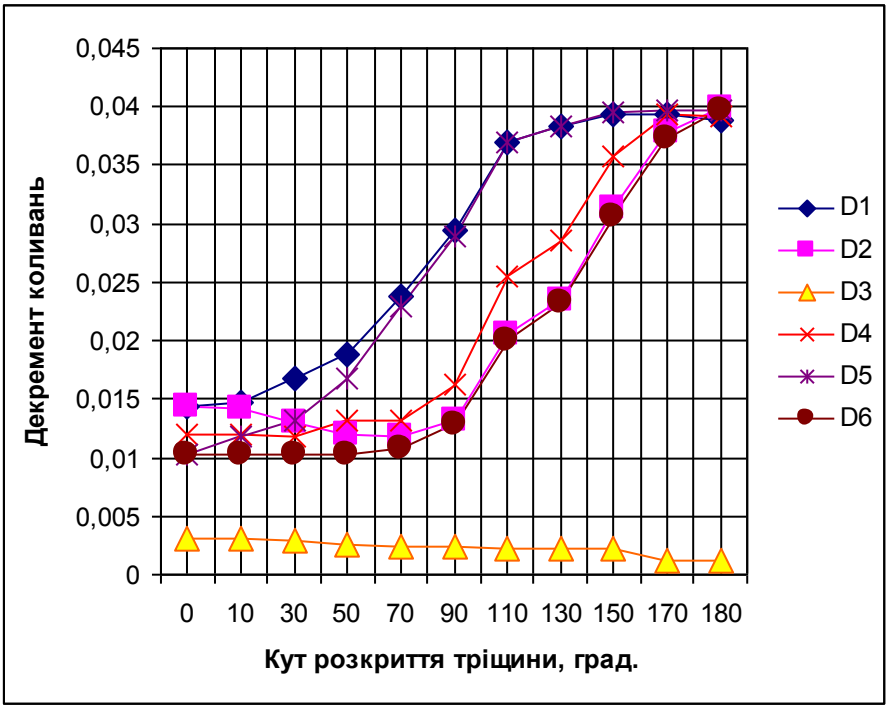


Рис. 5. Залежність декрементів коливань від кута розкриття тріщини для однонаправленого волокнистого склопластику

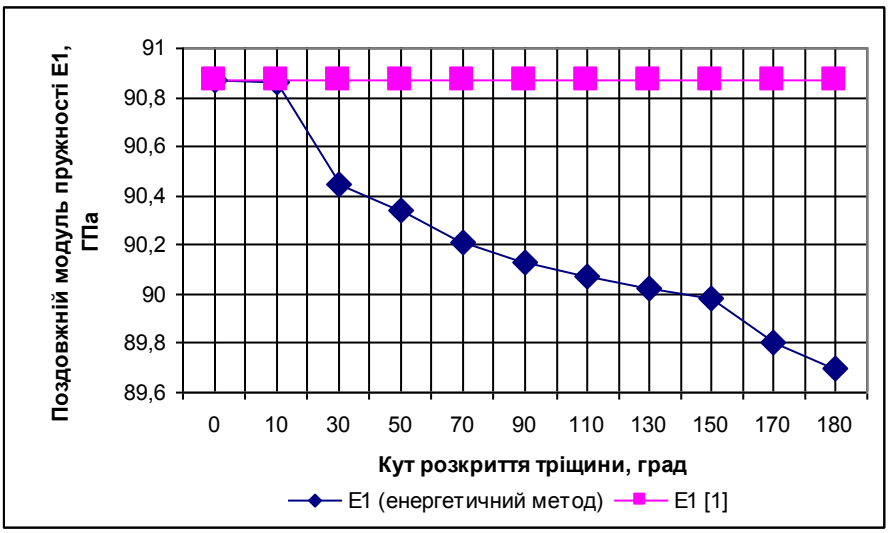


Рис. 6. Залежність поздовжнього модуля пружності від кута розкриття тріщини для однонаправленого волокнистого склопластику

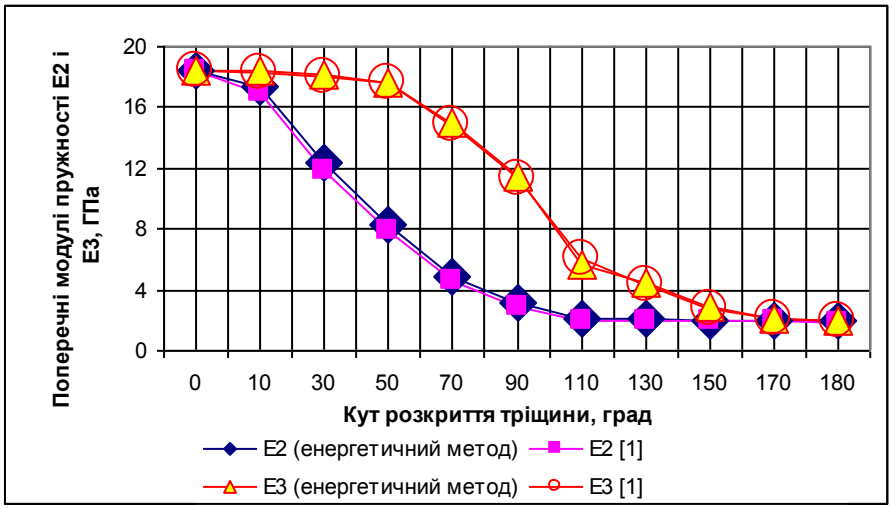


Рис. 7. Залежність поперечних модулів пружності від кута розкриття тріщини для однонаправленого волокнистого склопластику

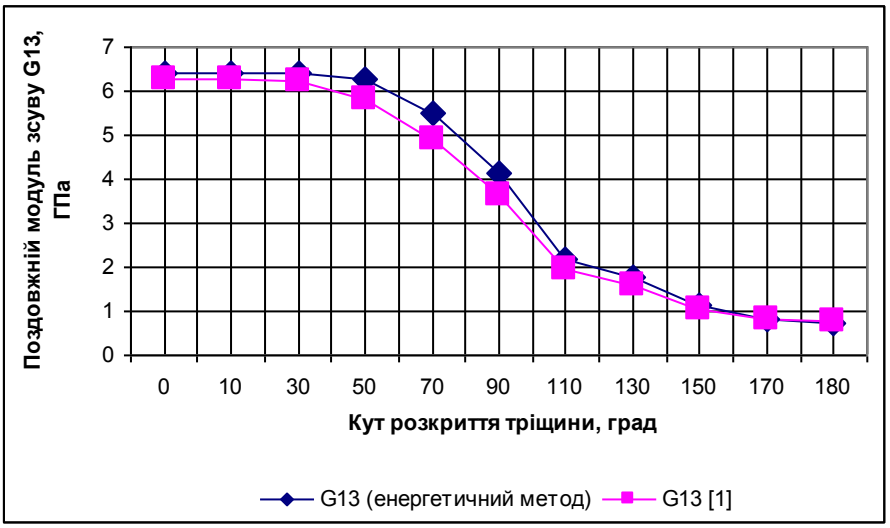


Рис. 8. Залежність поздовжнього модуля зсуву від кута розкриття тріщини для однонаправленого волокнистого склопластику

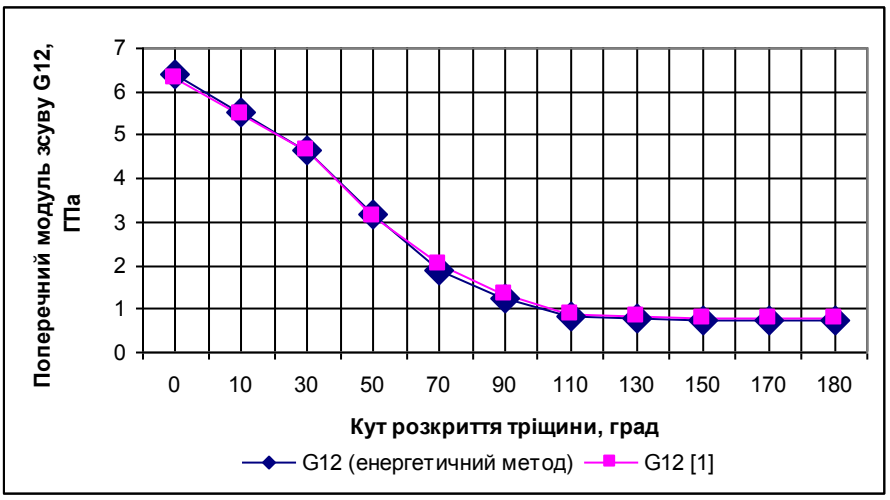


Рис. 9. Залежність поперечного модуля зсуву від кута розкриття тріщини для однонаправленого волокнистого склопластику

Як видно з наведених результатів, зі збільшенням величини тріщини значення компонент дійсної частини матриці модулів поступово зменшуються (рис. 4), а значення декрементів коливань, що досліджувалися, збільшуються (рис. 5), що призводить до збільшення рівня розсіяння енергії у матеріалі майже в 4 рази.

Значення поздовжнього модуля пружності при зміні кута розкриття тріщини за даними роботи [1] залишаються сталим, а за розрахунками енергетичним методом зменшуються (рис. 6). Однак при повному відшаруванні волокна від матриці значення поздовжнього модуля лише на 1,33% менше від значення для матеріалу з ідеальною адгезією, розраховані за енергетичним методом. Одержаний результат свідчить про те, що поява міжфазних тріщин майже не впливає на міцність матеріалу в поздовжньому напрямку. Однак це не є характерним для напрямку впоперек волокна, оскільки поперечні модулі пружності зі збільшенням кута розкриття тріщини зменшуються (рис. 7-8), і при повному відшаруванні волокна від матриці значення модулів зменшується в 9,2 разів у порівнянні з варіантом з ідеальною адгезією.

Значення поздовжнього і поперечного модулів зсуву при збільшенні тріщини зменшуються, і відсутність контакту між волокном і матрицею може привести до зменшення поздовжнього і поперечного модулів зсуву в 8,5 разів [7].

Висновки

Одержані результати свідчать про істотний вплив розмірів тріщин на ефективні динамічні характеристики в’язкопружних композиційних матеріалів, зокрема:

– збільшення кута розкриття тріщини призводить до збільшення рівня розсіяння енергії в композиційному матеріалі. При повному відшаруванні волокна від матриці рівень розсіяння енергії збільшується в 4 рази;
– відсутність контакту між волокном і матрицею в основному впливає на зміну поперечних характеристик армованого матеріалу. При повному відшаруванні волокна від матриці значення поперечних модулів пружності зменшуються в 9,2 разів у порівнянні з варіантом з ідеальною адгезією;
– значення модулів зсуву при відсутності контакту між волокном і матрицею зменшуються в 8,5 разів у порівнянні з матеріалом без тріщин;
– розраховані значення пружних характеристик за енергетичним методом майже не відрізняються від точних і наближених розв’язків робіт [1, 2], максимальне відхилення складає 1,7%.

Необхідно зазначити, що наведені результати стосуються представницького елементу об'єму композиційного матеріалу. При узагальненні результатів на весь об'єм композиційного матеріалу необхідно вводити в розрахунки показник, який характеризує відсоток волокон з тріщинами саме такої конфігурації.

Список використаних джерел

1. Ванин Г.А. Устойчивость оболочек из армированных материалов / Ванин Г.А. – К.: Наукова думка, 1978. – 212 с.

2. Ванин Г.А. Микромеханика композиционных материалов / Ванин Г.А. – К.: Наукова думка, 1985. – 304 с.

3. Фудзии Т. Механика разрушения композиционных материалов / Т. Фудзии, М. Дзако. – М.: Мир, 1982. – 232 с.

4. Забашта В.Ф. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения: справочник / В.Ф. Забашта, Г.А. Кривов, В.Г. Бондарь. – К.: Техніка, 1993. – 160 с.

5. Победря Б.Е. О точности эффективных характеристик в механике композитов / Победря Б.Е. // Механика композитных материалов. – 1990. – № 3. – С. 408–413.

6. Дубенець В.Г. Визначення ефективних характеристик в'язкопружних композиційних матеріалів, армованих волокнами / Дубенець В.Г., Яковенко О.О. // Проблемы прочности. – 2009. – № 4. – С. 124–132.

7. Титов В.А. Определение эффективных упругих характеристик композитов с несовершенным контактом компонентов / Титов В.А., Злочевская Н.К. // Вісник НТУУ „КПІ". Механіка. – 2005. – № 59. – С.276-279.

УДК 620.197:620.194:669.788

С.Д. Цибуля, канд. техн. наук
Н.П. Буяльська, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

В.Г. Старчак, д-р техн. наук
Г.М. Мачульський, канд. сільгосп. наук
Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів, Україна

КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ

На основі комплексного системного кореляційного аналізу «Електронна структура, термодинамічні параметри Ін – захисні, адсорбційні властивості» здійснено вибір оптимального синергіста в складі синергічної захисної композиції (СЗК) на вторинній сировині. При виборі оптимального інгібітора враховано: здатність складових до N-, O-, S-, C-протонування, депротонування, утворення карбаніонів; електронну структуру та термодинамічні параметри, в залежності від форм дії – молекулярної, катіонної, аніонної. Розроблена СЗК забезпечує комплексний захист сталі від загальної корозії, наводнювання та від основної причини техногенних аварій – корозійної втоми, корозійного розтріскування та водневої деградації, за рахунок модифікації поверхні металовиробів наномасштабними металохелатними плівками.

Вступ

Відомо, що корозійні процеси, особливо в кислих, лужних, H_2S-вмісних середовищах, супроводжуються наводнюванням, яке часто більш небезпечне, ніж, власне, корозія. Інтенсивність його залежить від багатьох факторів: структури сталі (зменшення поглинання водню в ряду – аустеніт, перліт, мартенсит, троостит; дрібнозерниста сталь поглинає водню більше ніж крупнозерниста). З маловуглецевої сталі водень десорбується (на 90%) протягом 7 діб (за одну добу – 50%). Десорбцію уповільнюють Ti, V, Cr, Zr, Nb. З підвищенням в сталі вмісту вуглецю, холодної деформації, мартенситної складової підсилюється воднева крихкість. У ланках, що збагачені воднем, формується пористість, тріщини. В деформованому фериті розчинність водню в 2…3 рази вище, ніж у недеформованому. Водень знижує температуру мартенситного перетворення, гальмує рухомість вакансій [1-4].

Водень, що потрапив до металу, змінює його адсорбційні властивості. Специфічна адсорбція Ін може частково виключити розряд H^+ та, таким чином, сприяти переносу електронів на ліганд (з утворенням π-дативних зв'язків). Протонування передує стадії переносу заряду. Протонована молекула Ін відновлюється легше, ніж непротонована. За правилом електронегативності (ЕН) Шиката та Тачі: із збільшенням ЕН замісників у молекулі та числа подвійних зв'язків спостерігається полегшення відновлення молекул Ін. Певну роль в електронному переносі грають полярні (індукційні), мезомерні та стеричні ефекти замісників. Металохелатування відбувається за умови: C_L (C_{H_xL}) більше C_M (C_L, C_{H_xL}, C_M – концентрації вільних, зв'язаних лігандів, катіонів металу) [5; 6].

Мета роботи – провести вибір ефективного, поліфукціонального Ін на основі комплексного системного кореляційного аналізу.

Методи дослідження

Дослідження проведено за комплексною системою оцінки ефективності захисту сталі 20, 45 та ін. в корозійно-наводнювальних середовищах із застосуванням гравіволюмометрії, електрохімічних методів (потенціостат П5827М), фізико-механічних випробувань (на малоциклову втому – ІП-2, корозійне розтріскування) [7-11]. За MNDO-PM3 здійснено розрахунок термодинамічних характеристик та електронної структури і визначено потенціальні найбільш активні адсорбційні центри (АЦ).

Результати експерименту та їх обговорення

Експериментальні дані представлено в табл. 1-3 та на рис. 1, 2.

Таблиця 1

Термодинамічні параметри та електронна структура Ін 1

Характе-ристики	Ін			
	Mol	Kat 1	Kat 2	An
ΔHf, кДж/моль	102,41	683,59	895,32	38,67
I, еВ	8,59	12,75	11,61	4,20
$-E_п$, еВ	3095,09	3104,40	3102,15	3080,42
$-E_{ел}$, еВ	22945,55	23435,17	23353,71	22954,85
μ, D	2,78	-	-	-
q, на:				
N_3	-.10761	.39507	-.05922	-.10767
N_1	.26137	.37190	.17340	.36066
S	.09270	.21121	.10692	.07360
O	-.31126	-.30120	-.14116	-.75638
Ph	-.57015	-.58648	-.60107	-.70859
		Kat 1 – протонування по N_3, Kat 2 – по O.		

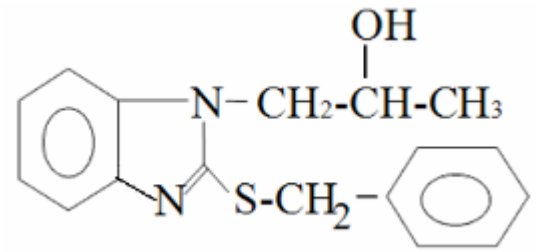


Рис. 1. Хімічна будова Ін 1

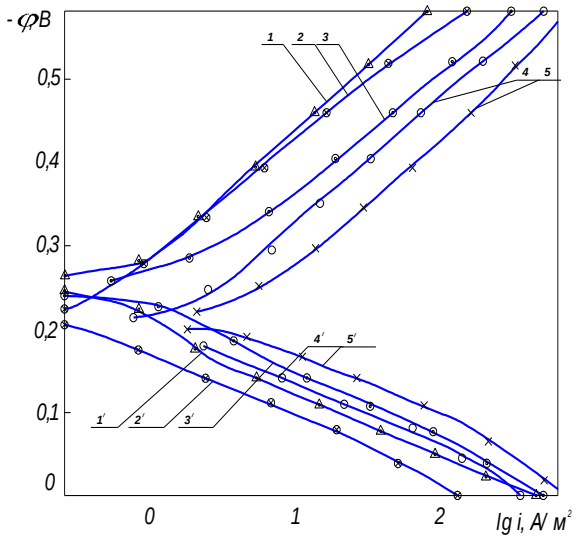


Рис. 2. Поляризаційні катодні (1–5) і анодні (1′–5′) криві на сталі 45 у 2М HCl: 1,1′ – Ін 1; 2,2′ – Ін 2; 3,3′ – К; 4,4′ – КУБ; 5,5′ – без Ін

Максимальну реакційну здатність Ін 1 по утворенню металохелатів підтверджено даними табл.1 та захисними інгібуючими ефектами (рис. 2, табл. 2, 3), що дало змогу розробити синергічну захисну композицію (СЗК) на вторинній сировині (відходи ЧП «Хімволокно» – К, РХП «Азот» – КУБ).

Таблиця 2

Кінетичні та термодинамічні параметри корозії сталі у 2М HCl

Ін	Густина струму, А/м^2			- φ_c, В	a_k, В	a_a, В	Rp, */ мОм·м^2	
	i_c	i_k	i_a				1	2
–	1,20	79,40	7,94	0,19	0,80	0,67	17,3	8,1
Ін 1	0,13	3,16	5,00	0,25	1,00	0,71	159,5	59,3
*/1 – сталь 20, 2 – сталь 45								

Таблиця 3

Захисні ефекти Ін 1 у 2М HCl

Сталь	γ_1	γ_2	γ_3	γ_c	γ_x	γ_Σ	Z, %	β,%
20	1,6	6,5	6,1	9,2	5,0	14,2	93,0	75,3
45	1,7	5,5	6,2	7,3	6,1	13,4	92,5	71,8

Протонування молекули Ін 1 по піридиновому азоту (N_3-атому) приводить до значного підвищення позитивного заряду на N_1-, N_3-атомах та атомі S, що сприяє утворенню π-дативних зв'язків, з переносом заряду на ліганд ($M \xrightarrow{e} L$), із зв'язуючими молекулярними орбіталями (МО). Цьому сприяє обмеженість утворення π-донорно-акцепторних зв'язків із розрихляючими МО, за рахунок значної величини потенціалу іонізації катіону (1) – 12,75 еВ. Індуктивний ефект алкільного замісника підвищує хемосорбційну властивість ендоатомів N та S. В результаті утворюються щільні екрануючі шари, що заважають перебігу електродних реакцій, у тому числі розряду іонів гідроксонію. Це підтверджується значним інгібуванням наводнювання (β=71,8…75,3%), а також парціальними інгібуючими ефектами $\gamma_2 > \gamma_3 > \gamma_1$, (сталь 20), та $\gamma_3 > \gamma_2 > \gamma_1$ (сталь 45). Це означає, що Ін 1 діє як активаційно-блокувальний. При протонуванні молекули Ін 1 по екзоатому О, можливість утворення π-дативних зв'язків менша за протонування по N_3-атому та вільної молекули Ін: позитивний заряд на N_1 знижується майже в 2 рази. Активізація Ін 1 здійснюється також за рахунок його дії як карбаніону при депротонуванні молекули. До того ж криві ЕКК (σ, Е-криві) підтверджують його дію як аніоноактивного Ін (Е(0) зміщується в негативний бік). Спостерігається активізація електронодонорних центрів – на атомі О (електронна густина зростає майже в 2,5 рази), досягає максимального значення електронна густина на нуклеофільному центрі – на Ph. Це сприяє утворенню π-донорно-акцепторних зв'язків. До того ж складний замісник –S–CH_2–C_6H_5 по атому C_2 обумовлює позитивний мезомерний ефект (+М), який збагачує електронну густину в орто- та пара-положеннях Ph-кільця, що підсилює π-донорно-акцепторну взаємодію ($L \xrightarrow{e} M$), якій сприяє низьке значення I (в 2 рази менше за I_{mol} та в 3 рази за I_{kat}). Це інтенсифікує утворення π-металохелатів за донорно-акцепторним механізмом. Разом з тим, електроноакцепторний центр (на N_1-атомі) має теж високу активність, близьку до протонованої молекули (1).

За результатами гравіволюмометрії, поляризаційними кривими, даними витривалості сталі в умовах циклічного та статичного навантаження (МЦКВ, МЦВВ, КР) встановлено оптимальні концентрації складових у СЗК: 10г/л К (КУБ)+1 ммоль/л Ін 1. Це відповідає співвідношенню C_L (C_{H_xL})=5…7 См. Активною складовою К, КУБ є амідні групи в складі ε-К, його олігомерів, де атоми С, N, О мають sp^2-гібридизацію і проявляють негативний індукційний та мезомерний ефекти (σ-константи Гамета $\sigma_м$ = 0,28, σ_n = 0,36, $\sigma_{\bar{n}}$ = 0,61). Це активізує протонування як по N-, О-, так і С-атомам. СЗК діє як Ін з блокувальною дією $\gamma_3 > \gamma_2 > \gamma_1 > \gamma_4$. Ефективність захисту сталі 20 у 2М HCl із СЗК складає (при ε=0,2%): Z=97,5 та β=75%. $\gamma_{сн}^N$=1,9; $K_{КР}$ (сталь 45, ε=0,4%) дорівнює 120, $\gamma_{син}$=1,5…3,5. Наявність стійкої металохелатної захисної плівки підтвер-

джено Оже-, ІЧ-спектрами (Jamp 10S, UR-10) та рентгеноспектральним аналізом (Superprobe 733 Jeol). Характерно, що розроблена СЗК має екологічні переваги: 4 клас небезпеки – малонебезпечні речовини, тоді як такі технічні Ін, як ХОСП-10, уротропін, МСДА, МДА мають 2 клас небезпеки – високонебезпечні речовини.

Висновки

Комплексний системний кореляційний аналіз «Електронна структура, термодинамічні параметри Ін – захисні, адсорбційні властивості» дає можливість здійснити вибір оптимального синергіста в складі СЗК на вторинній сировині, з активізацією його дії в молекулярній, катіонній, аніонній формах Ін, що забезпечує високу якість захисту сталі від корозії, наводнювання, малоциклової втоми, корозійного розтріскування.

Список використаних джерел

1. Сучасне матеріалознавство XXI сторіччя / відп. редактор акад. І.К. Походня. – К.: Наук. думка, 1998. – 658с.

2. Механіка руйнуваня матеріалів і міцність конструкцій / під ред. акад. В.В. Панасюка. – Львів: Каменяр, 1999. – Т.1 – 352 с., Т.2 – 346 с., Т.3 – 286с.

3. Шаповалов В.И. Флокены и контроль водорода в стали / Шаповалов В.И., Трофименко В.В. – М.: Металлургия, 1987. – 160с.

4. Похмурський В.І. Корозійно-механічне руйнування зварних конструкцій / Похмурський В.І., Мелехов Р.К., Круцан Г.М. – Київ: Наук. думка, 1995. – 262 с.

5. Organic electrochemistry. An Introduction and Guide / edited by M.Baizer. Corporate Research Depart. St. Louis Missouri. – New York: Marcel Dekker, 1973. – 732p.

6. Помогайло А.Д., Уфлянд Н.Е. Макромолекулярные металлохелаты / Помогайло А.Д., Уфлянд Н.Е. – М.: Химия, 1991. – 304с.

7. Старчак В.Г. Комплексная система контроля и оценки эффективности защиты сталей от коррозионно-механических разрушений в наводороживающих средах / Старчак В.Г. – Чернигов: ВСНТО, 1983. – 69с.

8. Старчак В.Г. Повышение стойкости стали в электрохимических процессах: автореф. дис. … докт. техн. наук: 05.17.14, 05.17.03 / Старчак В.Г.; КПИ. – Киев, 1988. – 37 с.

9. Наукові основи підвищення екологічної безпеки металоконструкцій модифікацією їх поверхні в протикорозійному захисті / В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська, С.Д. Цибуля та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. Спец. випуск. – 2004. – №4. – Т. 2. – С. 853-859.

10. Старчак В.Г. Роль гетероатомов в образовании металлохелатных наноструктур при поверхностной модификации материалов / Старчак В.Г., Алексеенко С.А., Буяльская Н.П. // Наноструктурное материаловедение. – 2008. – IV-XII. – С.70-84.

11. Старчак В.Г. Екологічна безпека конструкційних матеріалів / Старчак В.Г., Бондар О.І. – К.: ДЕІ, 2008. – 40с.

УДК 677.494.017.85

В.Г. Здановський, д-р техн. наук
Міжнародний науково-технічний університет, м. Київ, Україна

Н.М. Денисова, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ДОСВІДУ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕНОСТІ ПОВІТРЯ НА ЗДОРОВ'Я ФОРМУВАЛЬНИКІВ ПОЛІАМІДНОЇ ПРОДУКЦІЇ

На основі досліджень санітарно-гігієнічних умов праці виробництва поліамідних ниток запропоновано комплекс методів з охорони праці, що дозволяє знизити небезпеку підвищених концентрацій шкідливих речовин у повітрі формувальних дільниць.

Вступ

Розглядаючи з позицій охорони праці виробництво поліамідних ниток встановлено існування небезпеки підвищених концентрацій низькомолекулярних сполук у повітрі робочої зони апаратників формування.

Актуальність досліджень щодо виділень забруднюючих низькомолекулярних сполук (НМС) капролактаму та його олігомерів обумовлена підвищеними рівнями захворюваності органів дихання апаратників формування поліамідних ниток на фоні майже чотирьохкратного перевищення ГДК ($ГДК_{укр.}$=10 мг/м^3) [1].

Тому метою роботи є зниження шкідливого впливу капролактаму та зменшення рівня захворюваності працюючих на основі покращення санітарно-гігієнічних умов праці. Важливим завданням на цьому шляху є досягнення стандарту ЄС зі вмісту аерозолю КЛ у повітрі робочої зони, що становить 5 мг/м^3.

Методи досліджень

Для контролю параметрів повітряного середовища використана стандартна методика ДСН – 3.3.6.042-99. Контроль технологічних параметрів виробничого процесу та якісних характеристик ниток проводився за методиками ДСТУ ГОСТ 2263-2002. Зони ежекції та турбулентності в обдувній шахті досліджувалися за допомогою направленого потоку мильних бульбашок. Для експериментальних досліджень виділень НМС та їх розподілу в повітрі робочої зони розроблений точковий метод оцінки. Результати експериментів обраховувалися методами математичної статистики та системного аналізу (двофакторний дисперсійний аналіз впливу відстані та часу знаходження апаратників у забрудненій зоні, метод найменших квадратів для розробки математичних моделей виділень забруднюючих речовин та прогнозного керування потоком повітря, метод математичного лінійного програмування з пошуком мінімальних значень для знаходження безпечних мінімально забруднених зон). Використовувалися комп'ютерні програми Microsoft Excel, Calc із пакету Open Office та MathCad.

Аналіз та обговорення результатів експериментальних досліджень

Для оцінки впливу концентрації капролактаму в повітрі робочої зони дільниці формування на захворюваність органів дихання апаратників розроблено комплексний підхід до створення безпечних та здорових умов праці, що базується на результатах моніторингу забрудненості повітря робочої зони, завантаженості виробництва та захворюваності (рис.1).

Рис. 1. Динаміка захворюваності органів дихання апаратників формування, забрудненості повітря робочої зони та завантаженості виробництва

Обробка даних ВАТ „Чернігівське хімволокно” за 2003-2008 рр. показала, що захворюваність органів дихання працюючих прямо пропорційна концентрації капролактаму в повітрі ($C_{кл}$):

$$\zeta = a + b \cdot C_{кл}, \quad (1)$$

де ζ – питомий показник захворюваності (кількість захворювань органів дихання в перерахунку на 100 чоловік за рік);

a, b – постійні.

При чому a – визначає відносно постійну кількість хвороб органів дихання, що не залежать від виробничих умов, $b \cdot C_{кл}$ – критерій збільшення кількості захворювань, обумовлених дією підвищених концентрацій шкідливих речовин в повітрі, впливаючи на нього можна не тільки зменшити кількість захворювань органів дихання, але й отримати суттєвий економічний ефект.

З коефіцієнтом кореляції 0,85 представлена залежність має вигляд:

$$\zeta = 44{,}84 + 8{,}53 \cdot C_{кл}, \quad (2)$$

Таким чином, зменшення концентрації на 1,0 мг/м^3 зменшує кількість захворювань органів дихання працівників на 16 % від загальної кількості.

У результаті проведених досліджень виявлено, що зменшення виділень НМС з обдувних шахт є необхідною, але недостатньою умовою безпеки праці апаратників формування. Для повного рішення цього питання необхідне комплексне рішення, що включає до себе не тільки технологічний шлях зменшення небезпеки у джерелі виникнення забруднення, але й реконструкцію систем вентиляції (загальної та місцевої), скорочення часу робочої зміни, розташування пункту керування обладнанням у зонах з мінімальною забрудненістю повітря, використання стимулюючих пристроїв для використання засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) працюючих.

Визначення небезпеки перебування апаратників у робочій зоні, з урахуванням розподілу в ній забруднень, виконано за допомогою розробленого точкового методу оцінки виділень НМС [2]. Обробка даних проведена з використанням двохфакторного дисперсійного аналізу, де в якості факторів були обрані відстань та час перебування апаратника в небезпечній зоні, а параметром функції відклику – накопичення осаду на зразках-індикаторах. Аналіз показав, що найбільш небезпечна зона розташована на відстані до 0,5 м від переднього краю короба обдувної шахти. На цій дільниці накопичення забруднення збільшується приблизно на 10% за кожну годину. Оскільки робота апаратника сконцентрована саме на цій відстані, то необхідно використання ЗІЗОД та, в залежності від конкретних умов виробництва, скорочення часу робочої зміни.

Вибір мінімально забруднених зон для перебування апаратника виконано шляхом використання результатів досліджень за точковою методикою, де точки вимірювань розміщувались по всій дільниці. Отримані в результаті експериментальних досліджень

дані оброблялись методом лінійного програмування з пошуком мінімальних наскрізних потоків [3]. Визначено, що оптимальним розташуванням пункту керування обладнанням є зона, в яку поступає в 1,5 рази менше забруднень, ніж у середньому по дільниці, та в 6,5 разів менше, ніж у зоні максимальних виділень, – це точка 12.

Прогнозування об'ємів повітря, що нагнітається загальною вентиляцією, виконано з використанням точкової методики оцінки виділення забруднень. Оскільки особливістю припливно-витягувальної вентиляції дільниць формування є добавлення обдувного повітря до нагнітального, то для розрахунків використана залежність вигляду:

$$C_{кл} = \frac{\overline{\Sigma q_i} \cdot n \cdot k \cdot S_ш}{S_{зр} \cdot (V_{пр} + V_ш \cdot n)}, \qquad (3)$$

де $\overline{\Sigma q_i}$ – середня вага осаду на зразках-індикаторах;

n – кількість обдувних (працюючих) шахт;

k – коефіцієнт перерахунку даних точкового методу в концентрацію НМС, що визначена за стандартною методикою (в умовах експерименту k=2,17);

$S_ш$ – площа передньої поверхні короба обдувної шахти, м^2;

$S_{зр}$ – площа поверхні зразка, м^2;

$V_{пр}$, $V_ш$ – об'єм повітря, що подається на дільницю та окреме робоче місце відповідно, м^3/год.

При відомих значеннях $\overline{\Sigma q_i}$, n, $V_ш$ наведена залежність дозволяє розрахувати номограму (рис.2) для визначення $V_{пр}$ для забезпечення заданої концентрації НМС при будь-яких змінах технологічних параметрів, кількості працюючих місць та асортименту ниток.

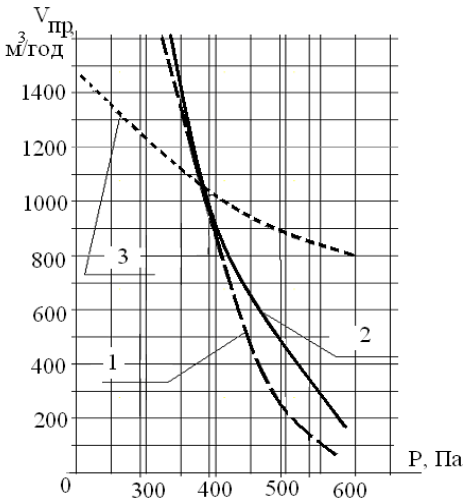


Рис.2. Номограма необхідного повітрообміну залежно від умов охолодження із забезпеченням $C_{кл}$=ГДК/2

Виходячи з наведеного, при підвищенні $t_ф$ до 567 *К* концентрація НМС збільшується на всіх рівнях технологічних параметрів, крім *Р* = 294 *Па*, а залежність від тиску обдувного повітря (*Р)*на всьому діапазоні зменшується. Тому зміна притоку при цій температурі невелика. При $t_ф$ = 555 *К*, особливо при $t_ф$ = 548 *К,* зниження тиску *Р* викликає зростання концентрації $C_{кл}$, що потребує значного збільшення повітрообміну.

При використанні наведеної методики на інших підприємствах по випуску анідних, поліефірних та поліамідних ниток іншої лінійної щільності кількісні значення факторів, що впливають на приток повітря, повинні бути відкориговані.

Впровадження розроблених методів у виробництво дозволяє знизити концентрацію забруднюючих речовин (капролактаму) в повітрі формувальних дільниць на $\Delta C_{кл}$ = 43 % (розраховано згідно з залежністю (3)), досягти рівня міжнародних стандартів зі

вмісту аерозолю капролактаму у повітрі робочої зони 5 мг/м^3, а захворюваність органів дихання працівників зменшити на $\Delta\zeta$ =28 % (розраховано згідно з залежністю (2)).

Знайдені рішення можуть бути використані не тільки у виробництві поліамідних ниток інших асортиментів, але й у виробництві поліефірних, анідних та інших синтетичних ниток, що формуються за аналогічною розплавною схемою, та використані для поліпшення техніко-економічних та екологічних показників закритих обдувних шахт формувальних машин.

Висновки

На основі аналізу вітчизняного виробничого досвіду щодо зниження шкідливого впливу забрудненості повітря на здоров'я формувальників розроблено комплекс методів покращення умов праці апаратників формування, що дозволяє знизити забрудненість повітря робочої зони до рівня міжнародних стандартів та зменшити кількість захворювань органів дихання працівників. Комплекс, крім технологічного методу зниження забрудненості повітря та пристрою індивідуального візуального контролю цієї забрудненості, включає: прогноз концентрацій НМС у повітрі робочої зони при змінах у технологічному процесі та залежність, що враховує одночасне надходження обдувного та загальнообмінного повітря для забезпечення заданої концентрації НМС.

Список використаних джерел

1. Денисова Н.М. Формування полікапроаміду. Деякі питання охорони праці / Н.М. Денисова, І.М. Іванова // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, 2005. – № 25. – С. 90-93.

2. Денисова Н.М. Розроблення методу оцінювання забрудненості повітря робочої зони апаратників формувального устаткування/ Н.М. Денисова // Проблеми охорони праці в Україні. – Київ, 2009. – №16. – С.71-80.

3. Денисова Н.М. Формування поліамідних ниток. Розробка методики визначення мінімально забруднених зон / Н.М. Денисова, О.Л. Гуменюк // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, 2008. – № 36. – С. 133-138.

4. Денисова Н.М. Зниження забрудненості повітря робочої зони при формуванні поліамідних ниток: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.01 – охорона праці / Н.М. Денисова. – К., 2010. – 20 с.

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.391

О.В. Кувшинов, д-р техн. наук
Національний технічний університет України "КПІ", м. Київ, Україна

С.В. Зайцев, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТЕОРІЇ ІГОР

Розглядається задача функціонального аналізу системи радіозв'язку під час впливу навмисних завад. Запропонована математична модель адаптивної системи радіозв'язку, яка діє в умовах активної радіоелектронної протидії та апріорної невизначеності щодо умов ведення зв'язку, сигнальної та завадової обставин. Модель доповнена ігровим підходом, який враховує різноманітність і ефективність стратегій в умовах невизначеності.

Вступ

Провідні країни світу приділяють велику увагу розробці та удосконаленню систем та засобів радіоелектронної боротьби [1-3]. Засоби радіоелектронного придушення (РЕП), що знаходяться на їх озброєнні, здатні з високою ефективністю та у короткий час подавити систему радіозв'язку, побудовану на традиційних принципах. Враховуючі це, стає досить складним завдання забезпечення стійкого радіозв'язку в умовах РЕП. Успішне її вирішення неможливе без застосування спеціальних технічних і організаційних заходів по забезпеченню завадозахищеності систем радіозв'язку.

Процес функціонування системи радіозв'язку (СРЗ) в умовах складної радіоелектронної обстановки з достатнім ступенем точності може бути представлений сукупністю моделей фізичного, канального та мережного рівнів [4; 5]. Для вирішення завдань структурного і функціонального аналізу, а також синтезу алгоритмів функціонування СРЗ необхідно розглянути моделі, що найбільш повно описують об'єкт дослідження та умови його функціонування.

Аналіз досліджень і публікацій

Відомі моделі СРЗ [4-6] дозволяють враховувати умови функціонування СРЗ відповідно до цільової функції. Однак їх недоліком є відсутність алгоритмічного опису адаптивних властивостей, без яких неможливо успішне функціонування СРЗ в умовах стохастичного характеру змін завадової обстановки. В умовах антагоністичної протидії СРЗ і системи РЕП модель адаптивної системи радіозв'язку доцільно доповнити ігровим підходом, який враховує різноманітність і ефективність стратегій в умовах невизначеності.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є розробка математичної моделі системи радіозв'язку під час впливу навмисних завад на базі методів теорії ігор.

Виклад основного матеріалу

Процес передачі інформації може бути поданий як конфлікт між системою радіозв'язку та джерелом завад, оскільки він відповідає формальним ознакам конфлікту. При цьому джерелом завад є середовище поширення сигналів і постановники організованих завад (система РЕП). Під час аналізу роботи системи радіозв'язку часто зручно вважати, що "середовище поширення" також поводиться як розумний супротивник, прагнучи створити якнайгірші умови для зв'язку. Система радіозв'язку і джерело завад мають набір альтернатив – режимів роботи. Вони можуть вплинути на якість процесу передачі інформації, вибравши відповідний режим. Необхідно визначити, як здійснювати цей вибір, тобто сформувати стратегію управління режимами роботи.

Формалізувати опис конфлікту дозволяє теорія ігор. Теорія ігор і її застосування при вирішенні різних задач розглядається в працях учених [7-9]. Оскільки інтереси системи радіозв'язку і джерела завад прямо протилежні і немає причин для узгодження їх дій, застосуємо апарат скінченних матричних антагоністичних ігор.

Реальний конфлікт може моделюватися скінченною антагоністичною грою, якщо він відповідає наступним умовам [7]:

- конфлікт визначається антагоністичною взаємодією двох сторін, кожна з яких має лише скінченну кількість можливих дій;
- свої дії сторони роблять незалежно одна від одної, тобто кожна з них не має інформації про дію, що здійснюється іншою стороною. Результат цих дій оцінюється дійсним числом, яке визначає корисність ситуації, що склалася для однієї із сторін. Через антагоністичність конфлікту можна вважати, що корисність такої ситуації для іншої сторони дорівнює цьому числу, узятому з від'ємним знаком;
- кожна з конфліктуючих сторін оцінює як для себе, так і для супротивника корисність будь-якої можливої ситуації, яка може скластися в результаті їх взаємодії;
- дії конфліктуючих сторін за своєю природою є нерозчленованими й однократними, тобто структура кожного з них не має формальних відмінних властивостей. Це дозволяє інтерпретувати дії сторін як елементи деяких абстрактних множин, відрізняючи різні дії одної від іншої лише за ступенем корисності ситуації, що склалася.

Апарат скінченних антагоністичних ігор може бути використаний у тих випадках, коли система зв'язку і джерело завад мають скінченний набір режимів роботи, наприклад, декілька градацій потужності, обмежений набір робочих частот, сигнально-кодових конструкцій тощо. Можливим є вибір і зміна режиму роботи. При цьому необхідно мати кількісні оцінки ситуацій, що відповідають всім можливим режимам, які вибираються учасниками конфлікту.

Нехай СРЗ відомий час, за який система РЕП зможе оцінити обстановку, прийняти рішення і змінити свої робочі параметри. В цьому випадку обидва учасники конфлікту здійснюватимуть зміну режиму, не маючи відомостей про дії протилежної сторони.

Таким чином, при відзначених припущеннях процес передачі може бути описаний у вигляді скінченної, антагоністичної, багатокрокової, динамічної в дискретному часі гри

$$\Gamma = \langle \Phi, S_{\text{СРЗ}}, S_{\text{РЕП}} \rangle, \tag{1}$$

де $S_{\text{СРЗ}}$ – множина можливих режимів роботи, а значить, і дій гравця 1; $S_{\text{РЕП}}$ – множина можливих режимів роботи (дій) гравця 2; Ф – функція виграшу гравця 1.

Гравцем 1 є СРЗ, а гравцем 2 – джерело завад (система РЕП та середовище поширення). У термінології теорії ігор множини $S_{\text{СРЗ}}$ і $S_{\text{РЕП}}$ називаються множинами стратегій гравця 1 і гравця 2 відповідно. Елементи цих множин називаються чистими стратегіями гравців.

Кожну зі стратегій можна пронумерувати і надалі вважати, що $S_{\text{СРЗ}} = [0, 1, ..., n - 1]$, $S_{\text{РЕП}} = \{0,1, ..., m - 1\}$, де n і m – кількість чистих стратегій гравців. Тоді значення функції Ф легко представити у вигляді матриці виграшів:

$$\Phi = [\phi_{ij}],\ \phi_{ij} = \Phi(i, j),\ 0 \le i \le n - 1,\ 0 \le j \le m - 1, \tag{2}$$

де ϕ_{ij} – виграш гравця 1 при виборі ним i-ї чистої стратегії, якщо гравець 2 обере j-у чисту стратегію.

Антагоністичні ігри є іграми з нульовою сумою, оскільки виграш гравця 2 дорівнює виграшу гравця 1, узятому зі зворотним знаком, тобто його програшу. Поняття виграшу і програшу дещо умовні, оскільки величина ϕ_{ij} може бути від'ємною.

Під час гри кожен гравець намагається максимізувати свій виграш за рахунок програшу іншого гравця. При знаходженні оптимальних стратегій гравців рішення задачі зводиться до знаходження рівноважної ситуації:

$$\Phi(b^*, a) \le \Phi(b^*, a^*) \le \Phi(b, a^*), \tag{3}$$

де Ф(.) – функція виграшу при різних стратегіях сторін для $\forall\,(b, a)$; a^*, b^* – оптимальні стратегії сторін; $a \in S_{\text{СРЗ}}$, $b \in S_{\text{РЕП}}$.

Структурна схема ігрової моделі зображена на рис. 1, де $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots a_n)$ – вектор оптимальних стратегій СРЗ; $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \ldots b_m)$ – вектор оптимальних стратегій системи РЕП; $\Delta t_{\text{СРЗ}}$ – час реакції системи радіозв'язку; $\Delta t_{\text{РЕП}}$ – час реакції системи РЕП.

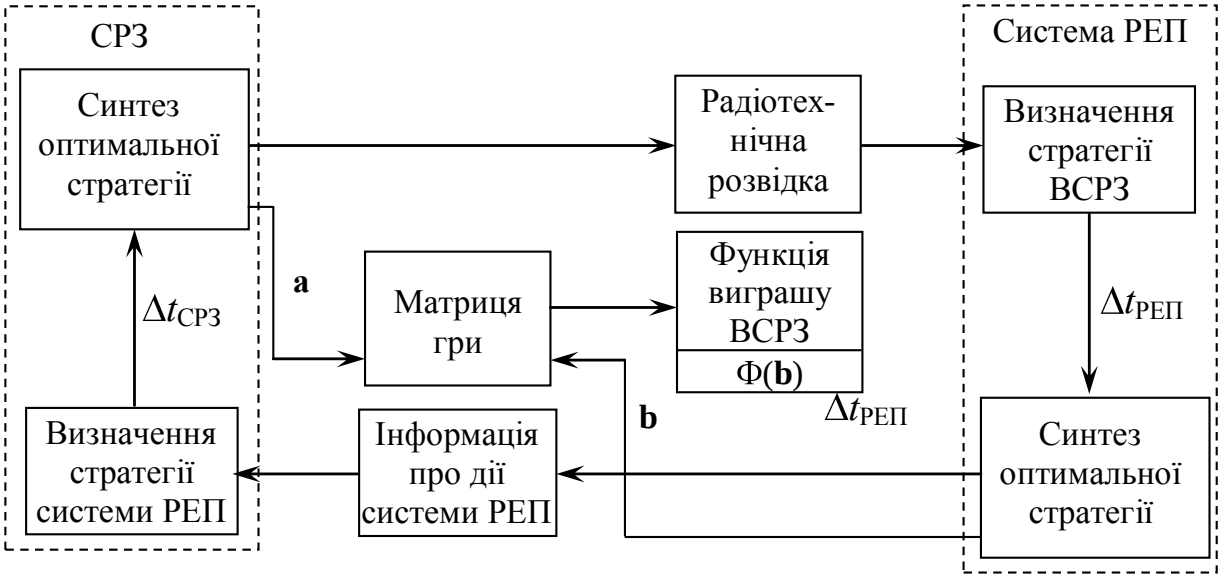


Рис. 1. Структурна схема ігрової моделі

Для знаходження оптимальних стратегій управління в рівноважній ситуації може бути застосована відома в теорії ігор теорема про достатні умови існування оптимальних чистих стратегій в антагоністичній матричній грі [7; 8].

Якщо рішень у чистих стратегіях не існує, то матрична гра має рішення в змішаних стратегіях. У цьому випадку знаходження квазіоптимальної стратегії (стратегій) у тій або іншій ігровій ситуації полягатиме у визначенні математичного очікування дискретної випадкової величини на двовимірній щільності розподілу ймовірності застосування чистих стратегій СРЗ і системи РЕП. При великій розмірності ігрових матриць такі розподіли можуть мати полімодальний характер, що ускладнює завдання.

Якщо, наприклад, один гравець застосовує свої чисті стратегії $1, 2, \ldots, j, \ldots, n$ ймовірностями $P_1, P_2, \ldots, P_j, \ldots, P_n$, то його фіксована змішана стратегія є цим набором ймовірностей, і його можна позначити буквою *P,* тобто

$$P = (P_1, P_2, \ldots, P_j, \ldots, P_n), \tag{4}$$

де n – кількість чистих стратегій даного гравця.

Аналогічно для іншого гравця фіксована змішана стратегія:

$$Q = (Q_1, Q_2, \ldots, Q_j, \ldots, Q_m). \tag{5}$$

Якщо один гравець застосовує змішану оптимальну стратегію *P,* інший – *Q*, то математичне очікування виграшу гравця 1:

$$M_1 = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\Phi_{ji}P_jQ_i = \sum_{i=1}^{m}Q_i\left(\sum_{j=1}^{n}\Phi_{ji}P_j\right). \quad (6)$$

Вираз (6) можна перетворити, внаслідок чого одержимо математичне очікування виграшу гравця 1 при використанні обома гравцями фіксованих змішаних стратегій *P* і *Q* відповідно:

$$M_1 = \sum_{j=1}^{n}P_j\left(\sum_{i=1}^{n}\Phi_{ji}Q_i\right). \quad (7)$$

Якщо позначити

$$P^* = (P_1^*, P_2^*, ..., P_j^*, ..., P_n^*); \quad Q^* = (Q_1^*, Q_2^*, ..., Q_i^*, ..., Q_m^*)$$

як дві довільні змішані стратегії відповідно гравців 1 і 2, то:

$$M_2 = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}a_{ji}P_j^*Q_i = \sum_{i=1}^{m}Q_i\left(\sum_{j=1}^{n}\Phi_{ji}P_j^*\right) \quad (8)$$

буде математичним очікуванням виграшу гравця 1, що використовує стратегію P^*, за умови, що гравець 2 використовує стратегію *Q*.

При використанні гравцем 1 стратегії *P,* а гравцем 2 стратегії Q^*, математичне очікування виграшу стратега 1:

$$M_3 = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\Phi_{ji}P_jQ_i^* = \sum_{i=1}^{m}Q_i^*\left(\sum_{j=1}^{n}\Phi_{ji}P_j\right). \quad (9)$$

Отже, якщо визначити M_1, M_2, M_3 виразами (6), (8), (9) відповідно і, крім того,

$$M_1 \le M_2 \le M_3, \quad (10)$$

то *P* і *Q* називаються оптимальними змішаними стратегіями відповідно стратегів 1 і 2.

Для існування рівноваги в змішаних стратегіях достатніми умовами є безперервність функції виграшу і компактність множин стратегій $S_{СРЗ}$ і $S_{РЕП.}$ Цих умов достатньо для існування рівноважної ситуації за Нешем [10]. Необхідність у змішаних стратегіях може виникати, наприклад, якщо обидві сторони (СРЗ і система РЕП) мають недостатню інформованість про застосування тих або інших стратегій у різних ігрових ситуаціях.

У процесі багатокрокової гри при накопиченні стратегій з однієї та іншої сторони зростання розмірності ігрових матриць призводить до експоненціального зростання кількості елементарних обчислювальних операцій, що веде до неприпустимого зростання тривалості циклу управління і зниження коефіцієнта адаптації $k_а$ стосовно функції виграшу СРЗ:

$$k_а(t) = \left(T_{СРЗ} / T_{РЕП}\right)^{\alpha}, \quad (11)$$

де $k_а$ – коефіцієнт адаптації, усереднений по всіх інформаційних напрямах СРЗ (показник якості управління); $T_{СРЗ}, T_{РЕП}$ – час реакції, відповідно СРЗ і джерела завад (системи РЕП), який дорівнює тривалості циклів управління; α – коригувальний і нормуючий множник, що визначає ступінь впливу відношення $T_{ВСРЗ} / T_{РЕП}$ на коефіцієнт адаптації. Для зниження розмірності ігрових матриць обидві сторони використовують різні алгоритми [5; 10], які видаляють найменш ефективні і рідко використовувані стратегії за результатами прогнозування. При цьому результат гри багато в чому залежатиме від ступеня інформованості сторін про ймовірність використання тієї або іншої стратегії супротивника [5; 7; 8]. Чисельно ступінь інформованості сторін може бути виражена у вагових коефіцієнтах інформованості: $1 \le k_{\inf}^{a} \le k_{\inf}^{S}$ і $1 \le k_{\inf}^{b} \le k_{\inf}^{S}$, відповідно, СРЗ і системи РЕП. Показник $k_{\inf}^{S}$ відповідає повній інформованості про гру.

Якщо гра, зважаючи на обмежену кількість стратегій, залишається невизначеною, може знадобитися розширення множин допустимих стратегій одного або кожного з гравців так, щоб нова гра стала визначеною: $S_{СРЗ}(t) = S_{ВСРЗ}(t-1)+\{a_{i+1}...a_{i+m}\}$, $S_{РЕП}(t) = S_{РЕП}(t-1)+\{b_{j+1}...b_{j+n}\}$, де $i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n}$, причому в цьому зацікавлені обидві сторони, оскільки ймовірність виграшу сторони з великою кількістю стратегій вище.

Необхідність розширення числа допустимих стратегій і переходу від $\left\| S_{ij} \right\|_{I\times J}$ до розширеної матриці $\left\| S_{ij}^{p} \right\|_{I^p\times J^p}$ виникає за умови, що $Q(t) > Q_{доп}(t)$, де $Q_{доп}(t)$ – допустиме значення відносних втрат в циклі t (для СРЗ, наприклад, ймовірність помилкового приймання сигналів).

Підвищення інформованості сторін у результаті аналізу всієї попередньої інформації про вживані стратегії і їх ефективність у різних умовах сприяє реалізації процесу довготривалого прогнозування.

Одна з найважливіших переваг прогнозування полягає в тому, що цей процес може проходити паралельно з рішенням поточної ігрової ситуації. Тому він не здійснює прямого впливу на збільшення тривалості поточного циклу управління, в той же час прямо і побічно сприяє її скороченню на подальших циклах.

У класичній постановці матриця гри може бути задана табличним способом (табл. 1). Особливість полягає в принципах формування елементів матриці.

При розв'язанні гри в чистих стратегіях у якості елементів стовпців і рядків S виступають стратегії СРЗ і системи РЕП: $a_i, i=\overline{1,I}$; $b_j, j=\overline{1,J}$, на перетині яких знаходиться відповідний їм відносний показник модифікованого виграшу СРЗ $0 \le \Phi_{ij} \le 1$. Елементи матриці S отримують в результаті перемноження однойменних елементів двох матриць – матриці $\left\| S_{ij(t+1)}^{I} \right\|_{I\times J}$ прогнозованого відносного виграшу від взаємного використання стратегій СРЗ і системи РЕП в циклі t + 1 і кореляційної матриці $\left\| S_{ij(t+1)}^{K} \right\|_{I\times J}$, що має елементи вигляду:

$$\Phi_{ij(t+1)}^{K} = \left[\Phi_{ij}^{I}(t) / \Phi_{ij}^{I}(t-1) + \Phi_{ij}^{I}(t-1) / \Phi_{ij}^{I}(t-2) \right] / 2 \qquad (12)$$

з урахуванням нормуючого коефіцієнта k_N, коефіцієнта важливості $k_в$, коефіцієнта адаптації $k_а$ і коефіцієнта помилки прогнозування $k_{пр}$:

$$\Phi_{ij}(t+1) = \frac{k_N \Phi_{ij}^{I}(t+1) \Phi_{ij}^{K}(t+1)}{k_в k_а k_{пр}}. \qquad (13)$$

Таблиця 1

Матриця гри

$S_{СРЗ}$	$S_{РЕП}$				$\max\limits_{a\in S_{СРЗ}} \min\limits_{b\in S_{РЕП}} \Phi(b,a)$
	b_1	b_2	…	b_j	
a_1	Φ_{11}	Φ_{12}	…	Φ_{1j}	
a_2	Φ_{21}	Φ_{22}	…	Φ_{2j}	
a_3	Φ_{31}	Φ_{32}	…	Φ_{3j}	$\Phi_{СРЗ}$
a_4	Φ_{41}	Φ_{42}	…	Φ_{4j}	
…	…	…	…	…	
a_j	Φ_{i1}	Φ_{i2}	…	Φ_{ij}	
$\min\limits_{b\in S_{РЕП}} \max\limits_{a\in S_{СРЗ}} \Phi(b,a)$	$\Phi_{РЕП}$				

Завдяки нормуючому коефіцієнту k_N, який може змінюватися на кожному кроці гри і в процесі обчислень, формуються також вектори ймовірностей збереження поточного і переходу в подальші стани ВСРЗ $\|P_i\|_j = k_{Nj}\|\Phi_i\|_j$, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$, що необхідно для формування змішаних стратегій у разі неможливості або недоцільності рішення гри в чистих стратегіях. У найпростішому випадку $k_{Nj} = 1\Big/\left(\sum\limits_{i=1}^{I}\Phi_i\right)_j$. При цьому в момент оцінки забезпечується $P_i^*(t)+\sum\limits_{i=1}^{I-1}P_i\ (t)=1$, що відповідає сумі ймовірностей несумісних подій і є однією з визначальних умов ланцюгів Маркова. Елемент $P_i^*(t)$ – ймовірність збереження поточної стратегії СРЗ в черговому циклі управління. Переходи з попереднього в подальший стан можуть бути описані апаратом неоднорідних марківських ланцюгів з дискретними станами в дискретному часі. Коефіцієнт важливості $k_в$ задається на кожному циклі t. Він визначає ступінь важливості даного циклу управління при виконанні цільової функції. Якщо припустити, що $\dfrac{\Phi_{ij}^K(t+1)}{k_в k_{пр}} = \beta_m(t+1)$, то $\Phi_{ij}(t+1) = \dfrac{k_N\beta_m(t+1)\Phi_{ij}^I(t+1)}{k_а}$, де $\beta_m(t+1)$ – коефіцієнт короткочасного прогнозування в циклі (t + 1).

Висновки

Таким чином, відповідно до марківського підходу враховується передісторія поточного процесу, що виражається в оцінці крутизни характеристики відносного виграшу для прогнозування подальших кроків. Значення $\Phi_{ij}^I(t+1)$ можуть бути розраховані, виходячи з передбачуваних стратегій і відповідних їм можливостей СРЗ і системи РЕП.

Одним з можливих рішень ігор у змішаних стратегіях є збільшення швидкості реакції (зниження часу адаптації) однієї зі сторін, що дозволяє підвищити результативність використання стратегій.

Запропонована ігрова математична модель функціонування СРЗ може бути застосована на етапі ідентифікації адаптивної СРЗ під час реалізації механізму захисту від навмисних завад.

Список використаних джерел

1. Кондратьев А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” / Кондратьев А. // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 22-28.

2. Азов В. О реализации в США концепции ведения военных действий в едином информационном пространстве / Азов В. // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – №6. – С. 10-17.

3. Стрелецкий А. Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны „Вулфпак” / Стрелецкий А. // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 10. – С. 27-28.

4. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи / Голяницкий И.А.; под ред. Ю.А. Громакова. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.

5. Григорьев В. А. Сети и системы радиодоступа / В. А. Григорьев, О. И. Лагутенко, Ю. А. Распаев. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.

6. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Цыпкин Я. З. – М.: Наука, 1968. – 400 с.

7. Оуэн Г. Теория игр / Оуэн Г. – М.: Мир, 1971. – 230 с.

8. Петросян Л. Теория игр / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. А. Семина. – М.: Высшая школа, 1998. – 304 с.

9. Стеклов В. К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв’язку: підручник для вищ. навч. закл. / Стеклов В. К. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.

УДК 004.822:004.823

В.В. Казимир, д-р техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

П.І. Федорук, д-р техн. наук
М.С. Дутчак, аспірант
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м.Івано-Франківськ, Україна

АДАПТИВНА ПЕРЕДАЧА ЗНАНЬ У СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Описано розроблений механізм адаптації процесу передачі знань з використанням оцінок імовірнісних параметрів моделі студента у системі дистанційного навчання. Застосування механізму дозволяє підвищити ефективність навчання з використанням автоматизованих комп'ютерних систем та забезпечує врахування під час дистанційної передачі знань ступені засвоєння, швидкості проходження нового матеріалу та інших індивідуальних особливостей тих, хто навчається.

Вступ

У наш час, за умов стрімкої інформатизації суспільства, для того, щоб залишатися фахівцем певного професійного напрямку, потрібно навчатися практично все життя. Реалізація ідеї "освіти через усе життя" вимагає пошуку нових методів передачі знань і технологій навчання. Використання дистанційних технологій навчання відкриває нові можливості для безперервного навчання, отримання другої освіти, робить навчання більш доступним. Надзвичайно важливим у цьому випадку стає використання адаптивних технологій навчання, які передбачають врахування індивідуальних особливостей тих, хто навчається.

Впровадження адаптивних дистанційних технологій навчання стримується через відсутність якісного нового навчально-методичного забезпечення і його програмної підтримки [1].

Оскільки метою побудови адаптивних систем дистанційного навчання (АСДН) є підвищення якості освіти, то виникає необхідність розробки механізму індивідуального представлення знань, який дозволяв би забезпечити якомога вищий ступінь засвоєння нового матеріалу [2]. Для вирішення цієї задачі в АСДН будується модель студента і модель навчального заняття. Коректна оцінка ймовірнісних параметрів цих моделей у процесі взаємодії студента і системи є визначальним для організації ефективного навчання.

Дослідження імовірнісних параметрів моделі студента

Навчальне заняття – це складна система, яка включає скінченну множину підсистем, що являють собою навчальні блоки (НБ). Кожен НБ характеризується набором параметрів: типом, рівнем складності, етапом навчання, глибиною та методикою викладу матеріалу, відведеним часом тощо. Із набору альтернатив складових заняття формується навчальне заняття.

Такий параметр, як етап навчання, визначається рівнем знань студента, а складність заняття повинна відповідати ступеню сприйняття нових знань.

Для того, щоб визначити ступінь сприйняття студента, індивідуальних даних якого немає у системі, йому пропонується для вивчення новий навчальний матеріал. Цей матеріал відповідає рівню знань, який безпосередньо слідує за рівнем знань даного студента. Тоді ступінь сприйняття *R(0)* обчислюється за формулою:

$$R(0) = \frac{m}{n}, \qquad (1)$$

де m – кількість правильних відповідей (операцій, які виконані правильно), n – кількість всіх питань (операцій).

Ступінь сприйняття студента є одним з основних факторів, що впливає на ступінь засвоєння нової інформації. Виникає необхідність визначення декількох додаткових параметрів моделі студента.

Ступінь засвоєння – це частка правильних відповідей (q) (правильно виконаних операцій) у l завданнях нової теми:

$$S = \frac{q}{l}. \tag{2}$$

Швидкість проходження (τ) – це зважена сума відношень затраченого часу (t) у вдалій спробі до максимально-дозволеного часу (T) та номера цієї спроби (i) до кількості дозволених спроб (f):

$$\tau = (1-\alpha)\frac{t}{T} + \alpha(\frac{i}{f}), \tag{3}$$

де коефіцієнт $\alpha = \frac{f}{f+1}$.

Якість засвоєння нового матеріалу (μ) – це сума ступеня засвоєння (S) матеріалу заняття та доповнення до одиниці швидкості проходження заняття τ:

$$\mu = \frac{S+(1-\tau)}{2}. \tag{4}$$

Оскільки є чимало факторів, які впливають на правильність виконання операцій, і їх вплив у багатьох випадках передбачити неможливо, то якість засвоєння нової інформації є випадковою величиною. Імовірна якість засвоєння визначається через оцінку імовірного ступеня засвоєння й оцінку імовірної швидкості проходження.

Імовірна вдала спроба i – це спроба, у якій буде досягнуто достатній чи необхідний рівень засвоєння, тобто при досягненні якого заняття буде зараховано.

Для дослідження імовірнісних параметрів використано формулу повної імовірності та формулу Байєса [3].

Використовуючи статистичні дані проходження занять студентами, ступінь сприйняття яких відповідає ступеню сприйняття досліджуваного студента, визначається кількість студентів, які пройшли заняття у кожній з i спроб, і їхній ступінь засвоєння.

Нехай за першою спробою заняття зараховано k_1 студенту , це подія H_1, за другою – k_2, це подія H_2, …, за f спробою – k_f, це подія H_f, заняття не зараховано ні за однією з f спроб k_{f+1} студенту, це подія H_{f+1} [4].

Всі події H_1, H_2,…, H_f, H_{f+1} утворюють повну групу попарно-несумісних подій, тобто в результаті експерименту (в даному випадку експеримент – це проходження заняття студентом) відбудеться одна і тільки одна з подій. Необхідно визначити імовірний ступінь засвоєння, тобто імовірність одержання студентами тієї чи іншої оцінки у кожній з дозволених спроб. Цьому студенту може відповідати тільки одна з подій H_1, H_2,…, H_f, H_{f+1}, тобто йому заняття може бути зараховано тільки за однією з дозволених спроб чи не зараховано взагалі. У випадку, коли студент хоче покращити зараховану оцінку, одержану у i-тій спробі, то i-та спроба вважається невдалою, а береться до уваги тільки оцінка i+1-шої спроби або заняття зараховується за спробою, в якій оцінка вища.

Оскільки події H_1, H_2,…, H_f, H_{f+1} є попарно-несумісними, то оцінка імовірності події A, яка може відбутись у результаті появи однієї з подій H_1, H_2,…, H_f, H_{f+1}, обчислюється за формулою повної імовірності:

$$P(A)=\sum_{i=1}^{f+1}P(H_i)P_{H_i}(A), \tag{5}$$

де подія A – це проходження студентом заняття на один із ступенів засвоєння.

$P(H_i)$ – оцінка імовірності того, що студенту зараховано заняття за i-тою спробою чи не зараховано взагалі у випадку $i=f+1$:

$$P(H_i)=\frac{k_i}{\sum_{l=1}^{f+1}k_l} \tag{6}$$

$P_{H_i}(A)$ – оцінка імовірності проходження студентом заняття на деякий ступінь засвоєння A у i-тій спробі:

$$P_{H_i}(A)=\frac{k_i(A)}{k_i}, \tag{7}$$

де $k_i(A)$ – кількість тих, що у i-тій спробі пройшли заняття на деякий ступінь засвоєння A;

k_i – кількість тих, кому заняття зараховано за i-тою спробою $\forall i\in[1;f]$ чи не зараховано взагалі у випадку $i=f+1$.

Оцінка імовірності досягнення певного рівня засвоєння (наприклад, оцінки «відмінно») у кожній з i спроб визначається з допомогою формули Байєса:

$$P_A(\mathrm{H_i})=\frac{P(H_i)P_{H_i}(A)}{\sum_{i=1}^{f+1}P(H_i)P_{H_i}(A)} \tag{8}$$

Порівнявши одержані оцінки імовірності настання події A у кожній з i спроб, можна одержати достатню кількість спроб. Достатньою буде та кількість, для якої одержана оцінка ймовірності настання події A буде більша за деяке наперед задане порогове значення d.

Враховуючи те, що якість засвоєння нової інформації є випадковою величиною, використання формул повної імовірності та Байєса дає змогу визначати імовірний ступінь засвоєння нового матеріалу у кожній з дозволених спроб. Застосування даних формул до занять з різними типами представлення знань дає змогу визначати тип представлення, який найбільш відповідає індивідуальним характеристикам студента.

Реалізація механізму адаптації

Нехай кожне із занять відноситься до одного з трьох рівнів складності і характеризується певним ступенем засвоєння. Заняття як найнижчого, так і найвищого ступеня складності можна пройти на високий рівень засвоєння, але в абсолютному значенні ці величини, звичайно, не будуть еквівалентними.

Визначимо шкалу оцінювання значень ступеня засвоєння як десятибальну. Стану E_1 відповідає інтервал [0…5] – низький рівень, стану E_2 інтервал [5…9] – середній, стану E_3 [9…10] – високий (рис. 1).

Номер	Прізвище	Спроба 1	Спроба 2	Спроба 3	Спроба 1	Спроба 2	Спроба 3	Спроба 1	Спроба 2	Спроба 3
1	Абрам Оксана	7	8	9	6	8	8	5	6	7
2	Андрук Василь	7	6	7	7	7	8	2	5	5
3	Бойчук Василь	8	9	10	7	9	9	1	5	9
4	Василюк Олег	6	7	7	4	5	6	2	3	4
5	Воркевач Оксана	8	9	9	7	7	6	5	5	5

Рис. 1. Результати проходження занять

Початкові імовірності перебування студента в *i*-му стані засвоєння визначаються з початкового тестування чи обчислюються як відношення кількості занять, пройдених на цей рівень (k_i), до загальної кількості пройдених занять за певний період:

$$p_i(0) = \frac{k_i}{k_1 + k_2 + k_3} \tag{9}$$

Імовірності переходів з одного стану в інший визначаються з відношення кількості студентів, які здійснили перехід з *i*-го стану в *j*-тий за *n*-ною спробою до загального числа студентів, що перебували у *i*-му стані (табл.1.):

$$p_{ij}^n = \frac{s_{ij}^n}{S_i^n} \tag{10}$$

Таблиця 1

Оцінки перехідних імовірностей

Переходи / Спроби	E1→E1	Згідні	E1→E2	Згідні	E1→E3	Згідні	E2→E1	Згідні	E2→E2	Згідні	E2→E3	Згідні	E3→E1	Згідні	E3→E2	Згідні	E3→E3	Згідні
1	0,28	0,03	0,66	0,47	0,06	0,06	0,13	0	0,67	0,52	0,21	0,21	0,05	0	0,45	0,05	0,5	0,5
2	0,33	0	0,6	0,47	0,07	0,07	0,15	0	0,62	0,38	0,23	0,23	0	0	0	0	0	0
3	0,29	0	0,57	0,43	0,14	0,14	0	0	0,6	0,4	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0
4	0,5	0	0,5	0,5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Можливість досягнення *j*-го стану за *n* спроб при відомих початкових імовірностях перебування у кожному із станів засвоєння дорівнює: $p_j(n) = \sum_i p_i(0) p_{ij}^n$ (сума добутків умовних імовірностей), де $p_i(0)$ – початкові імовірності перебування у стані E_i [5]. Для даного випадку $n = 1,2,3,4;$ $i, j = 1, 2, 3.$

Виходячи з цих імовірностей, визначається складність пропонованого студенту заняття і достатня кількість спроб. Якщо з достатньою імовірністю студент пройде заняття третьої складності на потрібний рівень, то йому рекомендується ця складність, інакше перевіряється заняття складності E_2, якщо і ця складність не підходить, то пропонується

заняття складності E_1. Після вибору складності заняття для нього рекомендується відповідна кількість спроб.

Висновки

Розроблено механізм адаптації представлення знань, який відповідно до рівня знань студента визначає, з якого етапу розпочинати вивчення курсу, відповідно до ступеня засвоєння рекомендує складність представленого студенту навчального матеріалу, а відповідно до ступеня сприйняття – рекомендовану кількість спроб.

Створено програмний продукт з використанням мов програмування Perl (модуль CGI) і HTML. Створено базу даних для зберігання результатів проходження занять, використовуючи СУБД PostgreSQL.

Даний програмний модуль використовує результати проходження занять студентами, обробляє їх, і як результат – повертає:

– імовірності перебування студента у кожному з рівнів засвоєння нового матеріалу;

– перехідні імовірності з одного стану засвоєння нового матеріалу в інший залежно від складності заняття і номера спроби;

– можливості досягнення кожного із станів засвоєння за певну кількість спроб;

– рекомендовану складність заняття та оптимальну дозволену кількість спроб для досягнення необхідного рівня засвоєння.

Створений механізм адаптації викладу навчального матеріалу спрямований на підвищення якості навчання і раціональне використання ресурсів систем навчання. Він може бути застосований не тільки в системах дистанційного навчання, але і при здійсненні традиційного процесу навчання для допомоги викладачу в побудові навчальних занять.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розширення переліку параметрів заняття і студента.

Список використаних джерел

1. Федорук П. Автоматизація процесу квантування лекційного матеріалу в адаптивних системах дистанційного навчання / Федорук П., Дутчак М. // Інноваційні комп’ютерні технології у вищій школі: матеріали 2-ї науково-практичної конференції. – Львів, 2010. – С. 14-18.

2. Опис і порівняння західних систем ДН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://edutools.info.

3. Горбань І.І. Теорія ймовірностей і математична статистика для наукових працівників та інженерів / Горбань І.І. – К., 2003. – 244 с.

4. Федорук П.І. Визначення ймовірнісних характеристик моделі студента в адаптивних системах дистанційного навчання / Федорук П.І., Дутчак М.С. // Медична та біологічна інформатика та кібернетика: віхи розвитку: збірник праць. – К.: НМАПО імені П.Л. Шупика, 2011. – С.110.

5. Федорук П.І. Адаптивна система дистанційного навчання та контролю знань на базі інтелектуальних Internet-технологій / Федорук П.І. – Івано-Франківськ: Видавництво “Плай” ЦІТу Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2008. – 326 с.

УДК 004.4

А.М. Акименко, канд. фіз.-мат. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м.Чернігів, Україна

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РИЗИКІВ ПРОГРАМНОГО ПРОЕКТУ

Розглянуто проблеми, пов'язані з ідентифікацією ризиків на початкових стадіях життєвого циклу програмного забезпечення, а саме аналізу та проектування. Запропоновано використання мови моделювання програмних проектів UML для представлення детального опису проекту.

Постановка проблеми

Аналіз проектних ризиків у програмній інженерії сьогодні є однією з найпоширеніших та найважливіших проблем, що виникають у процесі розробки програмних продуктів, з кількох причин. По-перше, практично всі без виключення виробники програм мають проектно-орієнтовану бізнес-модель. По-друге, програмне забезпечення практично з самого початку було досить складним інженерним продуктом, який потребує більшої кількості людино-годин праці висококваліфікованого персоналу, що не може не викликати помилки, затримки та пов'язані з цим ризики.

Все це змушує усвідомити, що проектні ризики можна і потрібно аналізувати. В сучасному світі аналіз ризиків проекту є невід'ємною частиною обґрунтування проекту.

Управління ризиками проекту

Наведемо визначення поняття «ризик».

Ризик – це ступінь небезпеки для успішної реалізації проекту. Ризик є прогнозованим, передбачуваним, і в більшості випадків його проявів, при прийнятті завчасних заходів, є можливість його уникнути. Ризик характеризується трьома факторами: ймовірністю настання події, величиною втрат або збитків у разі настання події та самою подією.

Ризики також розділяють на внутрішні та зовнішні.

Внутрішні ризики – це ризикові події, прояв яких залежить від внутрішніх факторів виконання проекту. Команда, що виконує проект, має можливість такі ризики контролювати та попереджати (наприклад, визначення тривалості робіт, підбір кадрів, складання кошторису витрат і т.ін.).

Зовнішні ризики – це ті ризикові події, які можуть проявлятися за межами компетенцій команди розробників (наприклад, вплив ринку, нове законодавство та ін.).

Інститут PMI (Project Management Institute – Інститут Управління Проектами) описує системний підхід до процесу управління ризиками, який визначено в PMBOK (Project Management Body Of Knowledge). В процесі управління ризиками виділяють шість основних підпроцесів [1]:

- планування управління ризиками;
- ідентифікація ризиків;
- якісний аналіз ризиків;
- кількісний аналіз ризиків;
- планування реакції на ризики;
- моніторинг і управління ризиками.

Оскільки метою статті є вивчення питання про можливість аналізу ризиків на ранніх стадіях розробки програмного продукту (а саме на етапах аналізу і проектування ПЗ), тому особливу увагу слід звернути на такий підпроцес, як *ідентифікація ризиків*.

Формулювання цілей статті

Метою цієї статті є вивчення питання про ідентифікацію ризиків програмного проекту та можливість застосування загальноприйнятих засобів проектування програмних продуктів для виявлення ризиків на початкових стадіях життєвого циклу.

Ідентифікація ризиків

Якщо розглядати ідентифікацію ризиків як процес, тоді у нього повинні бути вхідні дані та кінцевий результат. У цьому випадку на вході процесу ідентифікації ризиків будуть:

– детальний опис проекту, який включає в себе: вимоги, попередню архітектуру ПЗ, опис конфігурації апаратного забезпечення, опис програмних інструментів, які будуть використовуватися при створенні програмного забезпечення;
– всілякі оцінки термінів, часу та вартості розробки модулів і компонентів проекту;
– звіти про попередні проекти, що виконувались.

В якості результату роботи, на виході процесу ідентифікації ризиків, менеджер проекту повинен отримати наступні дані:

– джерела ризиків;
– можливі події при прояві ризиків;
– втрати в разі настання ризикової події, виражені у часі і (або) грошовому еквіваленті;
– симптоми настання ризикової події.

Для спрощення процедури ідентифікації ризиків використовується класифікація, яка була розроблена Software Engineering Institute (SEI). Класифікація складена з урахуванням типових процесів життєвого циклу (ЖЦ) ПЗ і охоплює найбільш загальні області ризиків проекту, які стосуються характеристик ПЗ, середовища та процесів розробки і обмежень проекту. Оскільки основну увагу в статті ми приділяємо аналізу ризиків проекту на ранніх стадіях ЖЦ, тому, в першу чергу, нас цікавлять внутрішні ризики, пов’язані з технічними аспектами розробки ПЗ, які наведені в таблиці 1 [2].

Таблиця 1

Класифікація ризиків SEI

Клас джерела ризику	Характеристика класу	Елемент класу	Атрибут елементу
1	2	3	4
Технічні аспекти розробки ПЗ	Пов'язана з процесами на стадіях ЖЦ ПЗ (розробка вимог, проектування, кодування, тестування та ін.), а також характеристиками ПЗ (вимоги, проекту, коду та ін.) на цих стадіях	Вимоги	Стабільність
			Повнота
			Однозначність
			Достовірність
			Реалізованість
			Новизна
			Масштабність
		Проект	Функціональність
			Складність
			Інтерфейси
			Продуктивність
			Тестованість
			Апаратні обмеження
			ПЗ, що купується
		Нефункціональні характеристики ПЗ	Зручність супроводу
			Надійність
			Захищеність
			Безпека
			Людський фактор
			Специфікації

Для збору інформації про ризики можуть бути застосовані різноманітні методики. Найбільш поширеними серед них є:

– опитування експертів;
– мозковий штурм;
– метод Дельфі;
– картки Кроуфорда.

Всі вищеназвані методики ґрунтуються на інтерв'юванні кваліфікованих фахівців, яких називають експертами, і які можуть виконати попередню оцінку програмного проекту, виходячи зі свого досвіду, знань та інформації, яка була надана.

На наш погляд, найважливішим компонентом кожної з методик, що використовується, є детальний опис проекту. Від якості наданої інформації будуть залежати експертні висновки, тому особливу увагу необхідно приділити правилам формування опису програмної системи. Задача не є тривіальною, але сьогодні існує кілька методик, які дозволяють її виконати з необхідним ступенем достовірності.

Перш за все, це методики, які використовуються на стадіях аналізу та проектування програмного забезпечення. Найпоширенішими можна вважати:

– діаграми структурного системного аналізу (ER-діаграми, SADT, IDEF);
– мова візуального проектування UML.

UML на цей час фактично визнано стандартним засобом опису проектів, які створюються за допомогою об'єктно-орієнтованих технологій. Враховуючи вищесказане, можна вважати найбільш доцільним використання мови UML для опису програмних систем як вхідної інформації для процесу ідентифікації ризиків.

Розглянемо питання застосування діаграм UML більш детально. Як відомо, модель складної системи, що створюється за допомогою UML, описує майбутній програмний продукт та має чотири складові частини:

– логічне представлення;
– представлення реалізації;
– представлення процесу функціонування;
– представлення розміщення.

Кожна складова включає в себе відповідний перелік діаграм [3], що відображають певний аспект моделі програмної системи. Відповідно до потреб експертів, діаграми використовуються для детального опису проекту (табл. 2).

Таблиця 2

Використання діаграм UML

Назва діаграми UML	**Опис проекту**
Діаграма Use Case	вимоги до програмного проекту
Діаграма класів	попередня архітектура програмної системи
Діаграми поведінки, діаграми взаємодії	опис процесу реалізації функцій програмної системи
Діаграма розміщення	опис конфігурації апаратного забезпечення
Діаграма компонентів	перелік програмних інструментів, які будуть використовуватися при створенні ПЗ

Потрібно відзначити той факт, що застосування мови опису програмного проекту дає можливість представити експертам інформацію в чіткому структурованому вигляді, але обмежує їхні інформаційні потреби тільки технічними аспектами розробки програмного забезпечення. Тобто, інформація не є повною і не дозволяє експертам виконати ідентифікацію ризиків у повному обсязі.

Згідно з класифікацією ризиків SEI (таблиця 1), UML дає можливість оцінити повністю або частково лише вимоги до програмного проекту та його характеристики (табл.3).

Таблиця 3

Елементи класу, що ідентифікуються за допомогою UML

Клас джерела ризику	Елемент класу	Атрибут елементу
Технічні аспекти розробки ПЗ	Вимоги	Стабільність
		Повнота
		Однозначність
		Достовірність
		Реалізованість
		Масштабність
	Проект	Функціональність
		Складність
		Інтерфейси
		Продуктивність
		Тестованість
		Апаратні обмеження
		ПЗ, що купується
	Нефункціональні характеристики ПЗ	Надійність
		Захищеність
		Безпека
		Специфікації

Перелік елементів, для ідентифікації яких потрібно використовувати інші підходи, наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Елементи класу, що не ідентифікуються за допомогою UML

Клас джерела ризику	Характеристика класу	Елемент класу	Атрибут елементу
Технічні аспекти розробки ПЗ	Пов'язана з процесами на стадіях ЖЦ ПЗ (розробка вимог, проектування, кодування, тестування та ін.), а також характеристиками ПЗ (вимоги до проекту, коду та ін.) на цих стадіях	Вимоги	Новизна
		Нефункціональні характеристики ПЗ	Зручність супроводу
			Людський фактор

Таким чином, очевидно, що за допомогою UML експерт має можливість оцінити 17 із 20 атрибутів, що суттєво спрощує організацію процесу аналізу ризиків програмного проекту та відповідно підвищує якісні характеристики програмного проекту, надаючи можливість уникнути або зменшити вірогідність багатьох ризиків ще на початкових етапах життєвого циклу (аналіз вимог та проектування).

Аналогічним чином мова моделювання може бути застосована для збереження інформації про програмні продукти, що виконувалися раніше. Переваги в цьому випадку

очевидні, оскільки єдиний підхід, що застосовується розробником протягом тривалого часу, дозволяє стабілізувати та стандартизувати технологічні процеси розробки програмного забезпечення.

Під час ідентифікації ризиків експерти повинні отримати в якості вхідної інформації, крім детального опису проекту, і звіти про попередні проекти, що виконувались. Якщо розробник використовує мову моделювання, ця проблема вирішується автоматично. Достатньо підняти архівні файли і експерти отримають вичерпну інформацію про виконані раніше проекти.

Однак, слід зазначити, що мова моделювання UML не є єдиним засобом моделювання, який дозволяє описувати майбутній програмний проект. Але потрібно підкреслити, що при застосуванні об'єктної методології розробки програмних систем застосування UML дає найбільші переваги.

Крім того, серед недоліків застосування UML під час ідентифікації ризиків програмного проекту слід відзначити, що деякі технічні аспекти розробки не можуть бути представлені за допомогою UML та вивчені експертами з аналізу ризиків. До таких аспектів відносяться новизна, зручність супроводу та, очевидно, людський фактор. Ще один недолік, на який потрібно звернути увагу, це терміни, час та вартість розробки. Для представлення інформації такого змісту використовуються стандартні програмні засоби.

Незважаючи на певні недоліки, переваги, які надає мова моделювання UML, особливо під час розробки складних програмних систем, є досить суттєвими для процесу ідентифікації ризиків програмного проекту.

Висновки з даного дослідження

– використання стандартизованих засобів опису моделі програмної системи (UML) дає можливість представити детальний опис проекту в структурованому вигляді;

– застосування мови UML дає можливість зберігати інформацію про попередні проекти, що виконані раніше.

Список використаних джерел

1. Project Management Body of Knowledge (PMBOK), PMI Standard Committee.
2. Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK), IEEE, 2004.
3. Акименко А.М. Використання UML під час проектування складних програмних систем / Акименко А.М. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – №49. – С.164-170. – (Сер. Технічні науки).

УДК 004.04

А.М. Волокита, канд. техн. наук
В.Є. Мухін, канд. техн. наук
В.В. Стешин, аспірант

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

СПЕЦИФІКА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ CLOUD COMPUTING

Розглянуто питання побудови і забезпечення безпеки обробки даних в інформаційних системах на основі технології Cloud computing, а також виділено переваги та недоліки цих систем. Проведено порівняльний аналіз основних параметрів систем Cloud computing і традиційних систем. Показано, що системи Cloud computing мають підвищену ефективність у порівнянні з традиційними системами в зв'язку з тим, що вони підтримують адаптивне виділення системних ресурсів та потужності, необхідних для вирішення конкретних завдань.

Вступ

В умовах стрімкого розвитку сучасних інформаційних технологій та мережі Інтернет організації відходять від використання власного обладнання і програмного забезпечення в бік сервіс-орієнтованих технологій. "Хмарні" обчислення (англ. Cloud computing) – технологія обробки даних, в якій комп'ютерні ресурси і потужності надаються користувачеві як Інтернет-сервіс, стануть однією з головних технологій розвитку IT протягом наступних 5 років.

Cloud computing – комплекс взаємопов'язаних технологій, які в результаті надають споживачеві свої ресурси як послугу, а завдання користувача обробляються всередині Хмари. Термін "Хмара" використовується як образ складної інфраструктури, за якою ховаються всі технічні деталі (рис. 1) [1]. "Хмарна обробка даних" – це парадигма, в рамках якої інформація постійно зберігається на серверах в Інтернет і тимчасово кешується на клієнтській стороні, наприклад, на персональних комп'ютерах, ігрових приставках, ноутбуках, смартфонах і т.д. [2].

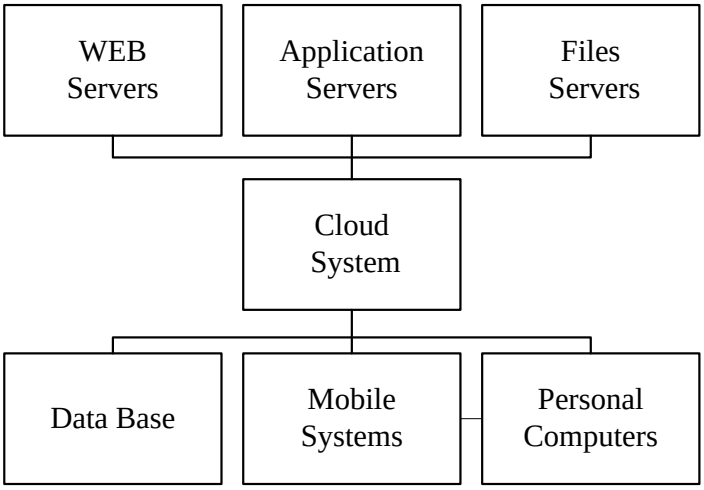


Рис.1. Парадигма "Хмарних" обчислень

Для забезпечення узгодженої роботи комп'ютерів, які надають послугу "Хмарних" обчислень, використовується спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ), яке має узагальнену назву "middleware control". Це ПЗ забезпечує моніторинг стану обладнання, балансування навантаження, забезпечення ресурсів для вирішення завдань. Для "Хмарних" обчислень характерна нерівномірність запиту ресурсів з боку клієнтів. Для згла-

джування цієї нерівномірності для надання сервісу між реальними ресурсами і middleware міститься ще один шар – віртуалізація серверів.

Узагальнена архітектура систем Cloud computing

На рис. 2 представлено розподіл послуг та рішень технології Cloud computing за рівнями [3; 4].

Рис.2. Піраміда сервісів "Хмарних" обчислень

Software as a Service (SAAS) – програмне забезпечення як сервіс. Під цим визначенням розуміється надання доступу до програм, запущеним на серверах, через веб-браузер. Як приклад можна навести веб-інтерфейс до серверів електронної пошти, форумів, соціальних мереж, фотоальбоми, а також деякі програми, які були доступні тільки за допомогою установки їх на локальний комп'ютер – наприклад, Microsoft Office.

Platform as a Service (PAAS) – платформа як сервіс. Надає можливість гнучкого і широкого вибору налаштованих під конкретні завдання віртуальних обчислювальних ресурсів і програм, за допомогою яких можуть бути побудовані рішення або продукти. Послуга "платформа як сервіс" орієнтована передусім на розробників.

Infrastructure as a Service (IAAS) – інфраструктура як сервіс. Віртуальна інфраструктура дозволяє заощадити на апаратному забезпеченні і на послугах IT (адміністрування серверів, орендна плата за місце, електрику тощо) і розрахована на масштабність обчислювальних ресурсів. Наприклад, кількість оперативної пам'яті, процесорів, дискового простору можна динамічно змінювати. Однією з різновидів IAAS є послуга Data Storage as a Service (DSAAS) – зберігання даних як сервіс. Послуга "інфраструктура як сервіс" призначається користувачам, яким потрібні потужні обчислювальні ресурси.

Аналіз основних параметрів систем Cloud computing

Розглянемо *основні переваги* технології Cloud computing для користувачів та корпорацій.

1. Зменшення потреби в потужності персональних комп'ютерів. Оскільки велика частина програм і служб запускаються віддалено в мережі Інтернет, комп'ютери користувачів з меншим числом програм швидше запускаються і працюють.

2. Зменшення витрат і збільшення ефективності IT інфраструктури. Звичайні сервери середньої компанії завантажені на 10-15%, при цьому в одні періоди часу є потреба в додаткових обчислювальних ресурсах, в інші періоди сервери простоюють. Використовуючи необхідну кількість обчислювальних ресурсів у "Хмарі" у будь-який момент часу, компанії скорочують витрати на обладнання і його обслуговування до 50% [5].

3. Зменшення потреби в адмініструванні. Оскільки фізичних серверів з впровадженням Cloud computing стає менше, їх стає легше і швидше обслуговувати, при цьому програмне забезпечення встановлено, налаштоване й автоматично оновлюється в "Хмарі".

4. Зменшення витрат на програмне забезпечення. Замість придбання пакетів програм для кожного локального користувача, компанії купують потрібні програми в “Хмарі”. При цьому навіть можлива погодинна оплата програм, які використовуються не дуже часто.

5. Збільшення доступних обчислювальних потужностей. У порівнянні з персональним комп’ютером обчислювальна потужність, доступна користувачу “Хмарних” комп’ютерів, практично обмежена лише розміром “Хмари”. Користувачі можуть вирішувати більш складні завдання, з великою кількістю необхідної пам'яті та обчислювальних потужностей.

6. Практично необмежений обсяг збережених даних. У порівнянні з доступним місцем для зберігання інформації на персональних комп’ютерах обсяг сховища в “Хмарі” може гнучко й автоматично налаштовуватися під потреби користувача, при цьому “Хмарні” розміри обчислюються мільярдами гігабайт вільного місця.

7. Підтримка більшості сучасних операційних систем. Користувачі Unix можуть обмінюватися документами з користувачами Microsoft Windows і навпаки. Доступ до програм і віртуальних комп’ютерів відбувається за допомогою веб-браузера або іншими засобами доступу, що встановлюються на будь-який персональний комп’ютер з будь-якою операційною системою.

8. Підтримка різних пристроїв. Користувачі систем Cloud computing мають набагато більш широкий вибір пристроїв доступу до документів і програм: персональний комп'ютер, ноутбук, планшет, смартфон або нетбук.

9. Простота спільної роботи групи користувачів. При роботі з документами в “Хмарі” немає необхідності пересилати один одному їх версії або послідовно редагувати їх. Користувачі можуть бути впевненими, що перед ними остання актуальна версія документа і будь-яка зміна, внесена одним користувачем, миттєво відбивається в іншого. Якщо документи зберігаються в “Хмарі”, вони можуть бути доступні користувачам у будь-який час і в будь-якому місці.

10. Стійкість даних до втрати або крадіжки обладнання. Якщо дані зберігаються в “Хмарі”, їх копії автоматично розподіляються по декількох серверах, які, можливо, знаходяться на різних континентах. У разі крадіжки або поломки персональних комп’ютерів користувач не втрачає цінну інформацію, яку він може отримати з будь-якого іншого комп’ютера.

Розглянемо *основні недоліки* технології Cloud computing для користувачів та корпорацій.

1. Необхідність постійнеого з’єднання з мережею Інтернет та потреба в широкому каналі. Технологія Cloud computing завжди потребує з’єднання з мережею Інтернет. Ця проблема може бути вирішена шляхом кешування даних, поки відсутнє з’єднання або розробкою алгоритму переходу в режим повільного зв’язку, коли буде проводитися обмін тільки критично важливими даними.

2. Програми можуть працювати повільніше, ніж на локальному комп’ютері. Деякі програми, в яких потрібна передача значної кількості інформації, будуть працювати на локальному комп’ютері швидше не тільки з-за обмежень швидкості доступу в Інтернет, але і через завантаженість віддалених серверів і проблем на шляху між користувачем і “Хмарою”.

3. Забезпечення необхідного рівня захисту даних та інформаційної безпеки. Якщо організація володіє цінною інформацією, яка не може зберігатися й оброблятися на сторонніх серверах, то вона може побудувати свою власну приватну “Хмару”.

Порівняльний аналіз технологій Cloud computing і Grid

В деякому сенсі технології Cloud computing і Grid схожі, вони дозволяють вирішувати задачі з використанням великої кількості розподілених вузлів. Принципова різниця

полягає в підходах до вирішення цих завдань. Для роботи в Grid необхідно володіти певними навичками управління обробниками, чергами, що виконуються в мережі, процесами та іншими специфічними речами. В "Хмарних" системах аналогічного роду завдання вирішуються набагато простіше. Крім того, відрізняються варіанти використання комп'ютерних систем на основі Grid і Cloud computing. Перші, як правило, використовуються в академічних колах, для виконання спеціалізованих обчислень і т.д., другі ж характеризуються більш комерційною застосованістю з практично вільним доступом.

В табл.1 наведено порівняння особливостей двох технологій.

Таблиця 1

Порівняння систем Cloud computing та Grid

Характеристики	Система Cloud computing	Grid система
Обсяг віртуальної пам'яті	Практично необмежений	Обмежений Grid системою
Стійкість даних до втрати або крадіжки	Одночасно створюються декілька копій даних	Дані в єдиному екземплярі
Обмеженість у програмному забезпеченні	Програмне забезпечення є загальнодоступним	Програмне забезпечення є обмеженим
Досягнення пікової межі навантаження	Практично завжди може бути виділений додатковий ресурс	Обмежене Grid системою
Безпека даних	Потрібно забезпечувати шифрування даних	Безпека досягається всередині Grid системи та шифруванням
Простоювання ресурсів	Максимальне використання ресурсів	У момент малого навантаження система простоює
Масштабованість	Практично необмежена	Обмежена Grid системою

Як видно з табл.1, системи Cloud computing в порівнянні з Grid системами практично не накладають обмежень щодо використання ресурсів. З іншого боку, з огляду на специфіку системи Cloud computing, захищеність оброблюваних даних є на досить низькому рівні, що вимагає додаткових засобів захисту.

Безпека даних у системах Cloud computing

Нині застосовуються як публічні (public), так і приватні (private) моделі Cloud-середовища [6]. Публічними моделями Cloud-рішень може користуватися будь-який користувач з доступом в Інтернет. До цієї категорії відносяться Cloud-рішення типу Software as a Service (SaaS), Cloud-рішення класу Platform as a Service (PaaS) і Cloud-рішення типу Security and Data Protection as a Service (SDPaaS). Наприклад, для програмного забезпечення компанії IBM це є відповідно LotusLive ™, Computing on Demand ™ та Vulnerability Management Service [7].

У випадку приватної моделі Cloud-середовище належить тільки одній компанії і використовується виключно співробітниками цієї організації. Приватні Cloud-середовища забезпечують організації-власнику більш високу ступінь гнучкості та контрольованості. Крім того, в періоди пікового трафіку приватні Cloud-середовища здатні забезпечити менший час затримки, ніж у публічних Cloud-середовищах [8].

Багато організацій одночасно застосовують як публічні, так і приватні моделі Cloud computing, об'єднуючи ці дві моделі в складі гібридних Cloud-середовищ. Такі гібридні

середовища покликані задовольняти специфічні технологічні і бізнес-потреби: вони допомагають підтримувати необхідний рівень безпеки та конфіденційності з мінімальними витратами. Хоча переваги систем Cloud computing очевидні, існує потреба у розробці належних засобів безпеки для реалізацій середовища “Хмарних” обчислень.

Додатково до звичайних проблем забезпечення безпеки IT-систем концепція Cloud computing обумовлює додатковий рівень ризику, оскільки в багатьох випадках критично важливі сервіси надаються сторонньою організацією на умовах аутсорсингу. "Зовнішній" аспект аутсорсингу ускладнює підтримку цілісності і конфіденційності даних, забезпечення доступності даних та готовності сервісу, а також відповідність вимогам.

Фактично концепція Cloud computing передає значну частину контролю над даними та операціями від клієнтської організації до постачальника Cloud-сервісів. Навіть такі базові завдання, як встановлення пакетів з виправленнями та конфігурування міжмережевих екранів, можуть стати обов'язком постачальника Cloud-сервісів, а не кінцевого користувача. Все це призводить до того, що клієнтам необхідно налагоджувати зі своїми постачальниками довірчі відносини й оцінювати ризики до того, як ці постачальники здійснюють від їх імені впровадження і розгортання засобів безпеки, а також управління ними. При цьому клієнти, як і раніше, несуть відповідальність за відповідність і захист своїх критичних даних, навіть якщо відповідна робоча станція була переміщена в Cloud-середовище.

Інші аспекти Cloud computing також вимагають суттєвої переоцінки безпеки і ризиків. У Cloud-середовищі важко встановити місцезнаходження фізичного зберігання даних. Процеси безпеки, які свого часу були видимими, тепер приховані за рівнями абстрагування. Подібна нестача прозорості може породити безліч проблем в області безпеки і нормативної відповідності.

В багатьох випадках користувачі, які представляють різні організації і мають різні рівні довіри, мають справу з одним фізичним набором комп'ютерних ресурсів [9]. Одночасно з цим вирівнювання робочих навантажень, зміна угод про рівень обслуговування (SLA) та інші аспекти динамічних IT-середовищ залишають ще більше можливостей для некоректного конфігурування, спотворення даних та інших порушень. Інфраструктура колективного користування потребує високого ступеня стандартизації та автоматизації процесів, що сприятиме підвищенню рівня безпеки за рахунок усунення можливостей помилок. Тим не менш ризики, які властиві для масштабного колективного користування інфраструктурою, призводять до того, що в моделях Cloud computing має надаватися велике значення таким аспектам, як ізоляція ідентифікаційних даних та відповідність нормативним вимогам.

Експериментальні оцінки параметрів систем Cloud computing

На базі систем Cloud computing створюють сервіси хостингу, так звані хостинг-гібриди, які є більш захищеними від збоїв та забезпечують кращу надійність даних, оскільки дані одночасно зберігаються у вигляді декількох копій у різних точках самої “Хмари”. Хостинг на базі системи Cloud computing ніколи не буде зазнавати перевантаження, оскільки потужність сервісу залежить від “Хмари”, яка практично необмежена за цією характеристикою [5].

У “Хмарі” користувач для своїх обчислень може отримати доступ до будь-якої кількості серверів, не знаючи, де і в якому місці вони знаходяться, неважливим є й місце розташування користувача або використовуваного комп’ютерного пристрою. При збільшенні навантаження поступово виділяються додаткові ресурси, забезпечуючи цим стабільність роботи і швидкість обробки даних [5].

Системи Cloud computing характеризуються масштабованістю пам’яті та обчислювальної потужності під конкретні завдання.

Проведено експериментальні дослідження параметрів інформаційної системи webmarker.com.ua, побудованої на основі технології приватної "Хмари" (private Cloud computing system). Розглянемо порівняння отриманих результатів для традиційної комп'ютерної системи, яка є статичною щодо надання ресурсів, та системи Cloud computing.

У цілому система Cloud computing характеризується трьома параметрами: оперативна пам'ять, зовнішня пам'ять та процесорний час. При виконанні завдань на віртуальній машині виділяється пам'ять, яка протягом часу змінюється. Сумуюча величина змінної пам'яті протягом часу і є пам'яттю, що надається.

Облік оперативної пам'яті, яка виділяється протягом деякого часу для обчислення поставленого завдання, описується як:

$$M_p = \int_{t_s}^{t_e} M_{current}(t)dt \,, \qquad (1)$$

де M_p –оперативна пам'ять, що виділяється, $M_{current}(t)$ – змінний об'єм оперативної пам'яті; t_s – початковий час визначення, t_e – кінцевий час визначення.

У практичних розрахунках замість інтегрування використовується сумування за встановлені проміжки часу.

На рис. 3 представлено графік, який показує надану оперативну пам'ять протягом певного періоду роботи віртуальної машини системи Cloud computing.

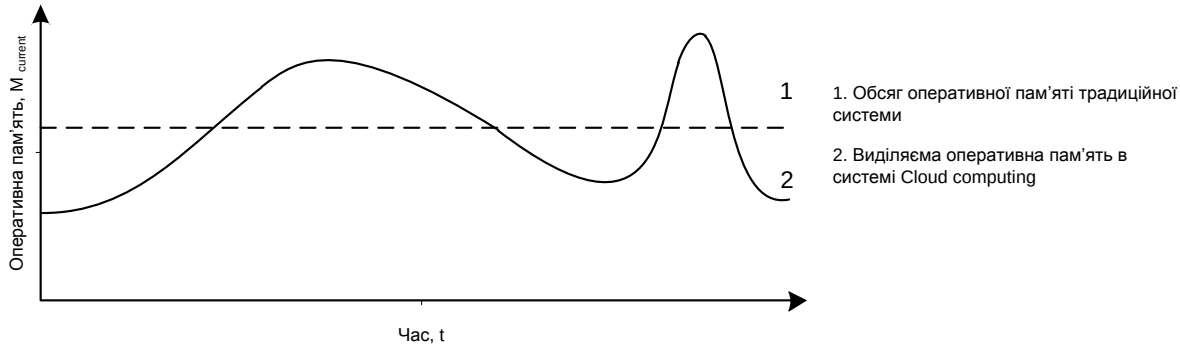


Рис. 3. Облік оперативної пам'яті в системі Cloud computing

Наступним параметром є виділення зовнішньої пам'яті для обчислення поставленого завдання. Для визначення зовнішньої пам'яті, яка виділяється протягом деякого часу для обчислення поставленого завдання, застосовується співвідношення:

$$S_p = \int_{t_s}^{t_e} S_{current}(t)dt \,, \qquad (2)$$

де S_p – потрібна зовнішня пам'ять для обчислення, $S_{current}(t)$ – змінний об'єм зовнішньої пам'яті.

На рис. 4 наведено графік виділення зовнішньої пам'яті у традиційній системі та Cloud computing. Показано перевагу системи Cloud computing над традиційною, оскільки характеризується гнучким виділенням пам'яті.

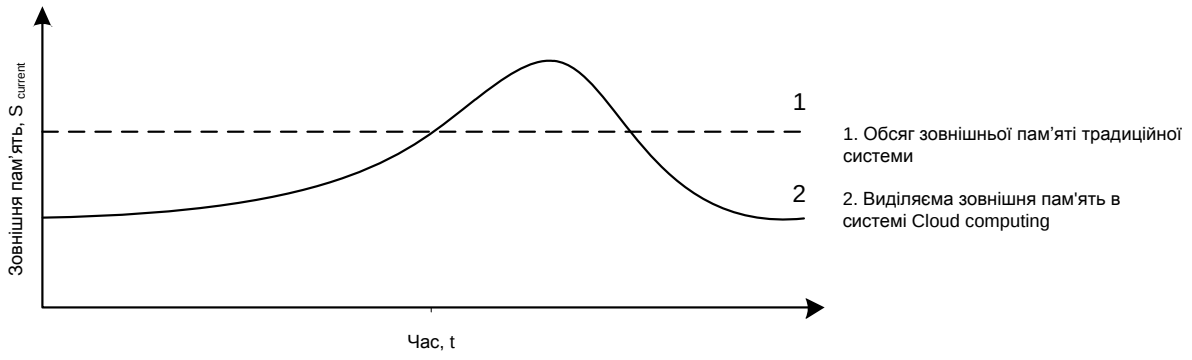


Рис. 4. Облік зовнішньої пам'яті в системі Cloud computing

Третім параметром є процесорний час. Він характеризує роботу процесора чи ядра у віртуальній машині системи Cloud computing за деякий проміжок часу, при цьому він характеризує ще й такий параметр, як навантаження процесорної потужності. Не завжди процесорний час співпадає з реальним часом. Вважається, що при малій завантаженості процесора процесорний час є меншим за реальний час, тобто, наприклад, при навантаженні процесора на 50% одна година його роботи рахується як півгодини процесорного часу.

При збільшенні кількості виділяємих процесорів чи ядер для обробки завдання клієнта збільшується і показник процесорного часу. Отже, можна сказати, що процесорна завантаженість дорівнює сумі процесорного часу на всій кількості процесорів, на які було поділено виконання задачі.

Наступне співвідношення описує значення сумарного використання процесорного часу протягом проміжку реального часу:

$$T_p = \int_{t_s}^{t_e} T_{current}(t)dt, \qquad (3)$$

де T_p – процесорний час, $T_{current}(t)$ – поточний сумарний час роботи процесорів.

На рис. 5 представлено графік, який показує використання процесорного часу протягом певного періоду роботи віртуальної машини системи Cloud computing.

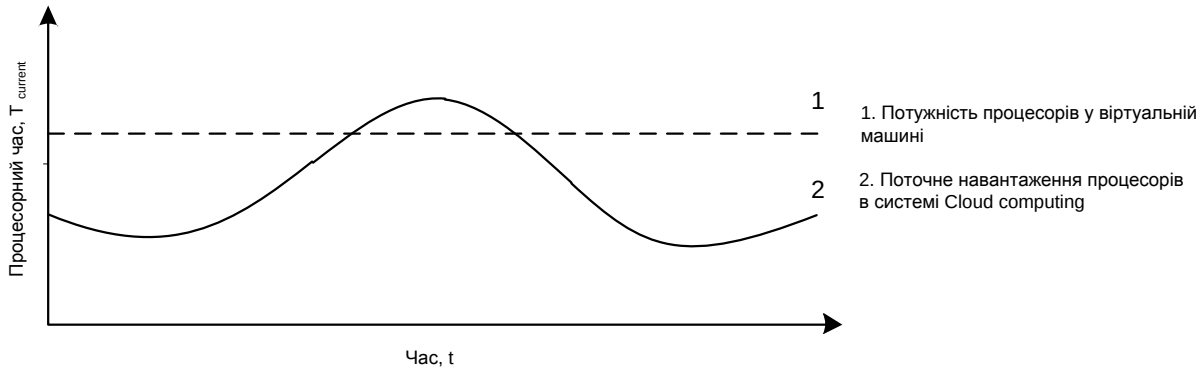


Рис. 5. Облік процесорного часу в системі Cloud computing

Використання традиційної обчислювальної системи зі статичною потужністю процесора має проміжок часу з недостачею обчислювальних потужностей. Коли потужності системи не вистачає, вона може отримати збій і не виконати поставлене завдання, або виконати його пізніше при зменшенні навантаження. В інший час отримуємо прос-

ту систему, коли навантаження на систему є нижчим за максимальну границю навантаження, тобто маємо надлишковість конфігурації. Наступне співвідношення визначає змінну потужності системи, яку виділяють для рішення поставлених задач.

$$P_p = F\left(\int_{t_s}^{t_e} M_{current}(t)dt;\ \int_{t_s}^{t_e} P_{current}(t)dt;\ \int_{t_s}^{t_e} S_{current}(t)dt\right), \quad (4)$$

де P_p – потужність, яка виділяється при зміні обчислювальних потреб, F – функціональна залежність параметрів системи Cloud computing.

Аналізуючи традиційні системи та Cloud computing, отримаємо графік виділення потужності ресурсів під виконання певних завдань, які циклічно змінюють споживчий ресурс. На рис. 6 показано порівняння виділення потужності в традиційній системі та Cloud computing.

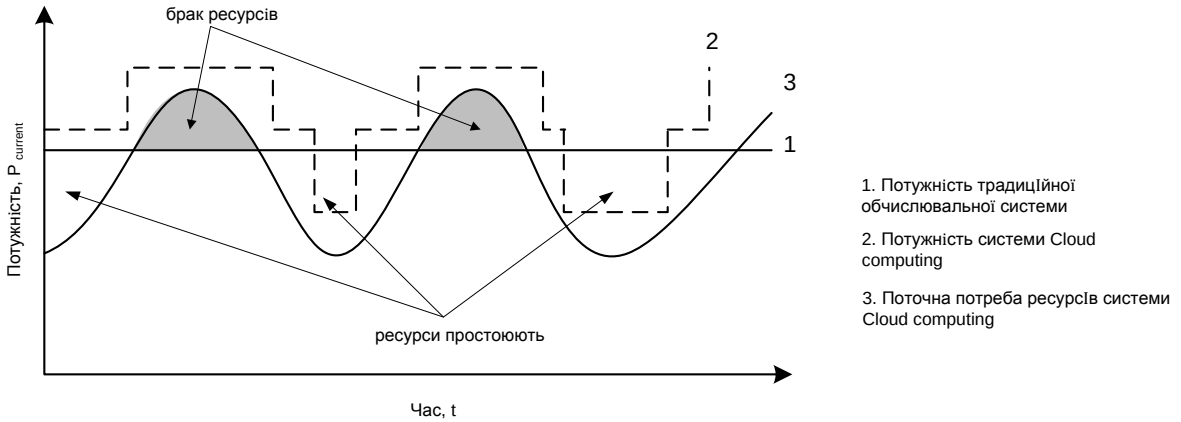


Рис. 6. Порівняння виділення потужності в традиційних системах та Cloud computing під час циклічної зміни споживання ресурсу

На рис.7 показано порівняння традиційної системи та Cloud computing за умови зростання обчислювальних потреб.

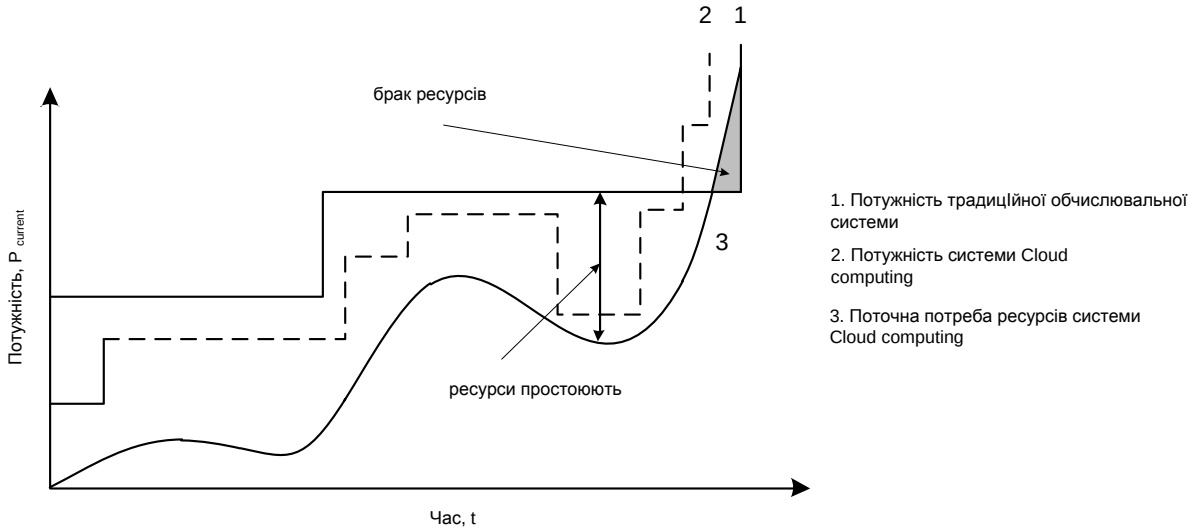


Рис. 7. Порівняння традиційних обчислювальних систем та Cloud computing під час зростання споживання ресурсу

Система Cloud computing, на відміну від традиційних систем, як показано на графіку, має точки автоматичного масштабування, і при досягненні більшого за середнє наван-

таження відбувається збільшення потужностей, а при менших навантаженнях потужність системи Cloud computing наближається до потрібних вимог.

Висновки

Технології Cloud computing отримують все більш широке застосування і стають реальним конкурентом у сфері розподілених комп'ютерних систем. У статті проведено порівняльний аналіз характеристик традиційних систем та Cloud computing, який показав, що системи Cloud computing мають певні переваги, оскільки вони забезпечують адаптивне виділення ресурсів під конкретні завдання. У випадку, якщо потужностей не вистачає, система Cloud computing автоматично виділяє ресурси, в іншому випадку, коли не має потреби в додаткових ресурсах, система зменшує обсяг наданих клієнту ресурсів. Також системи Cloud computing є більш ефективними не тільки за вищеназваними перевагами, а й з точки зору надійності збереження даних. Однак ці системи є вразливими до дій зловмисників внаслідок того, що дані користувача є розподіленими між вузлами. Користувачу не надається інформація, на яких вузлах обробляється інформація, де вони розташовані і який ступінь захисту мають. Таким чином, для систем Cloud computing потрібні додаткові спеціальні засоби захисту інформації, які б відповідали вимогам щодо безпеки систем Cloud computing і адаптивно визначали ступінь їх захищенності.

Список використаних джерел

1. Белогрудов В. Облачные вычисления - достоинства и недостатки [Електронний ресурс] / Белогрудов В. – Режим доступу: http://www.smart-cloud.org/sorted-articles/ 44-for-all/96-cloud-computing-plus-minus.

2. Yousif M. Cloud Computing – an IT paradigm changer // Proc. of IEEE/ACS Conference "Computer systems and applications", 2010. – pp. 187 – 194.

3. Myerson J. Cloud Computing Versus Grid Computing. Service Types, Similarities and Differences, and Things to Consider // http://www.ibm.com/developerworks/ web/library/wa-cloudgrid/.

4. Youseff L., Butrico M., and Da Silva D. Towards a Unified Ontology of Cloud Computing // Proc. of Grid Computing Environments Workshop (GCE), 2008.

5. Why use cloud computing for web applications? // RightScale Group publication. http://www.rightscale.com/products/cloud-computing-uses/scalable-website.php

6. Безопасность технологий Cloud computing [Електронний ресурс] // Публикация корпорации IBM //http://www.ibm.com/ru/cloud/pdf/ibm_pov_ru_march_22_ro_rus_s2.pdf.

7. Cardoso R.C., Friere M.M. Security vulnerabilities and exposures in internet systems and services. Encyclopedia of multi-media technology and networking. IDEA Group Reference. Hershey, Pennsylvania, 2005. – pp. 910 – 916.

8. Mell P., Grance T. Effectively and Securely Using the Cloud Computing Paradigm (v0.25), NIST Publication, 2009, http://csrc.nist.gov/groups/SNS/ cloud-computing/index.html.

9. Мухин В.Е. Разработка и реализация политики безопасности в распределенных компьютерных системах / Мухин В.Е., Волокита А.Н. // Управляющие системы и машины. – 2010. – №3. – С. 78-85.

УДК 621.397.6

В.В. Гордієнко, канд. техн. наук
А.М. Близнюк, магістрант

МОДУЛЬ АПАРАТНОГО КОДУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Стаття присвячена апаратній реалізації алгоритму стиснення зображень JPEG на базі програмованої логіки. Розроблено модель, яка описує алгоритм. Проведено дослідження впливу параметрів моделі на якість стиснутого зображення. Отримано опис модуля кодування на мові VHDL, який більш оптимальний, ніж аналоги з точки зору кількості ресурсів, які займає модуль на мікросхемі.

Вступ

Реалізація великої кількості сучасних задач має потребу в елементній базі, яка повинна відповідати таким вимогам, як висока швидкість обробки даних, компактність і низьке енергоспоживання. Основними ринками для таких пристроїв є телекомунікації, ринок споживацьких електронних пристроїв і автомобільна електроніка [1].

Стиснення зображень широко використовується у побуті (цифрове фото, відео) і промисловості (системи обробки зображень, системи розпізнавання образів), тому що при незначній втраті якості досягається значне зменшення об’єму даних і зниження вимог до обчислювальної потужності систем обробки.

Кодери і декодери зображень в основному реалізуються на базі спеціалізованого сигнального процесора у вигляді програмного алгоритму, який достатньо сильно завантажує процесор. Більшу ефективність дає застосовування апаратних прискорювачів. Під поняттям «апаратний прискорювач» мається на увазі вузькоспеціалізоване апаратне рішення для реалізації одиничної функції з метою досягнення максимальної швидкості реалізації алгоритму і компактності схемотехніки. Використання програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) для реалізації прискорювача поєднує в собі відразу дві переваги: збільшення швидкості обробки за рахунок апаратної реалізації і гнучкість системи з точки зору внесення змін і налаштування алгоритму, оскільки ПЛІС достатньо легко можна переконфігурувати.

Реалізація програмних алгоритмів у вигляді апаратних прискорювачів на базі ПЛІС – перспективний напрямок у сфері цифрової обробки сигналів і телекомунікацій, що підтверджується стрімким розвитком процесорів з архітектурою «система на кристалі» (СнК) на ринку вбудовуваних систем.

Одним з найбільш популярних форматів стиснення зображень є JPEG, який отримав свою назву від групи його розробників Joint Photographic Experts Group. Специфікація алгоритму і рекомендації для його реалізації приведені в стандарті ISO 10918-1 [2].

У сегменті ринку систем цифрової обробки присутні модулі кодування зображень у формат JPEG. Вони представлені у вигляді спеціалізованих мікросхем або програмних модулів на мові опису апаратури (HDL), які входять у склад спеціалізованих бібліотек або реалізовані у вигляді окремих блоків. Переважна більшість таких модулів - платні або доступні в обмеженій функціональності.

Розробки з даної тематики ведуться, але інформація про них закрита або обмежена в доступі. Тому є потреба у власних розробках для подальших досліджень і використання в більш складних системах обробки візуальної інформації.

Метою роботи є розробка апаратного модуля кодування в формат JPEG з оптимізацією модуля за швидкодією та об’ємом, якій модуль займає на ПЛІС.

Моделювання алгоритму

Моделювання направлене на реалізацію алгоритму на функціональному рівні. Це дає можливість розібрати алгоритм на рівні деталізації, достатньому для реалізації апаратного модуля.

В якості середовища моделювання використовувався математичний пакет MATLAB. Даний вибір базується на тому, що MATLAB має всі необхідні інструменти для написання моделі і подальшого її налагодження.

На основі отриманої моделі були проведені дослідження впливу параметрів моделі на якість стиснутого зображення. Найбільший вклад у стиснення вносять процеси квантування і кодування.

Кодування впливає тільки на ступінь стиснення інформації, оскільки стиснення відбувається за рахунок заміни байтів кодами із спеціальних таблиць і ніяким чином не впливає на кількість інформації в потоці даних. Оцінити вплив зміни таблиць кодів досить складно, тому що вони спираються на статистичні дані. Таблиці можна тільки порівняти між собою, і то для різних зображень можуть вийти різні результати.

Квантування досягає стиснення за рахунок видалення менш значимої інформації з потоку даних. Для цього на масив даних 8x8 накладають маску – таблицю квантування, яка містить числа, на які необхідно поділити відповідні коефіцієнти масиву даних.

В моделі використовувались матриці, рекомендовані стандартом [2]. Помноживши матриці квантування на деякий коефіцієнт, отримаємо аналогічну матрицю, яка зберігає пропорції між коефіцієнтами, але змінює кількість інформації, яка залишилась у масиві даних, що впливає на якість стиснутого зображення. Таким чином, досліджуємо вплив зміни коефіцієнтів матриці квантування на якість стиснутого зображення.

Для спрощення аналізу результатів введено параметр *K*, який можна легко знайти з формули:

$$Q_K = Q_E \cdot K\,, \tag{1}$$

де Q_K – матриця квантування, яка відповідає значенню *K*;

Q_E – еталонна матриця.

Для $K>1$ значення коефіцієнтів збільшується, отже кількість інформації в масиві даних після квантування зменшується. При $K<1$ – навпаки. Випадок $K=1$ відповідає структурі вихідної моделі.

Дослідження проведені для компонента *Y*, який містить інформацію про яскравість. Даний вибір обумовлений тим, що яскравість є найбільш важливою характеристикою для людського сприйняття.

В якості критеріїв якості стиснутого зображення були взяті ступень стиснення *S* і пікове відношення сигнал/шум *PSNR*.

Ступінь стиснення *S* – це відносна величина, яка дає можливість оцінити, у скільки разів розмір вихідного зображення більше ніж стиснутого. Розраховується за формулою:

$$S_K = \frac{SIZE_E}{SIZE_K}\,, \tag{2}$$

де $SIZE_K$ – розмір стиснутого зображення для досліду зі значенням *K*;

$SIZE_E$ – розмір вихідного бітового поля зображення, яке дорівнює добутку кількості пікселів на 3 (у байтах).

Пікове відношення сигнал/шум *PSNR* – величина, яка визначає візуальну якість. *PSNR* і якість зображення прямо пропорційні. Розраховується на основі середньоквадратичного відхилення (*MSE*).

Для більшої точності оцінки якості під час розрахунку *MSE* і *PSNR* враховуються особливості системи людського сприйняття (*HVS*). Це виражено у таблиці корегуючих факторів T_C [3].

Враховуючи *HVS, MSE* розраховується за формулою:

$$MSE_{HVS} = \frac{\sum_{i=1}^{I-7}\sum_{j=1}^{J-7}\sum_{m=1}^{8}\sum_{n=1}^{8}\left(X[m,n]_{ij} - X[m,n]_{ij}^{e}\right)\cdot T_C[m,n]^{2}}{64\cdot(I-7)(J-7)}, \quad (3)$$

де X_{ij} – коефіцієнти дискретного косинусного перетворення (ДКП) блоку 8*8, з координатами першого елемента *i* та *j*;

X_{ij}^{e} – коефіцієнти ДКП відповідного вікна оригінального зображення;

I, J – розміри зображення.

Відповідно значення *PSNR*, яке враховує *HVS*, має вигляд:

$$PSNR_{HVS} = 10\cdot\lg\frac{255^2}{MSE_{HVS}}. \quad (4)$$

Даний критерій показує більш високий ступінь кореляції з оцінками спостерігачів у суб'єктивних тестах і є переважним при виборі об'єктивного критерію якості, близького до суб'єктивної оцінки [3].

У дослідженнях застосовувались 4 зображення різних типів. Перше – чорно-біле, друге – класичне тестове зображення з плавними кольоровими переходами, третє містить багато дрібних деталей, а в четвертому присутні високочастотні елементи (різкі переходи яскравості і кольору).

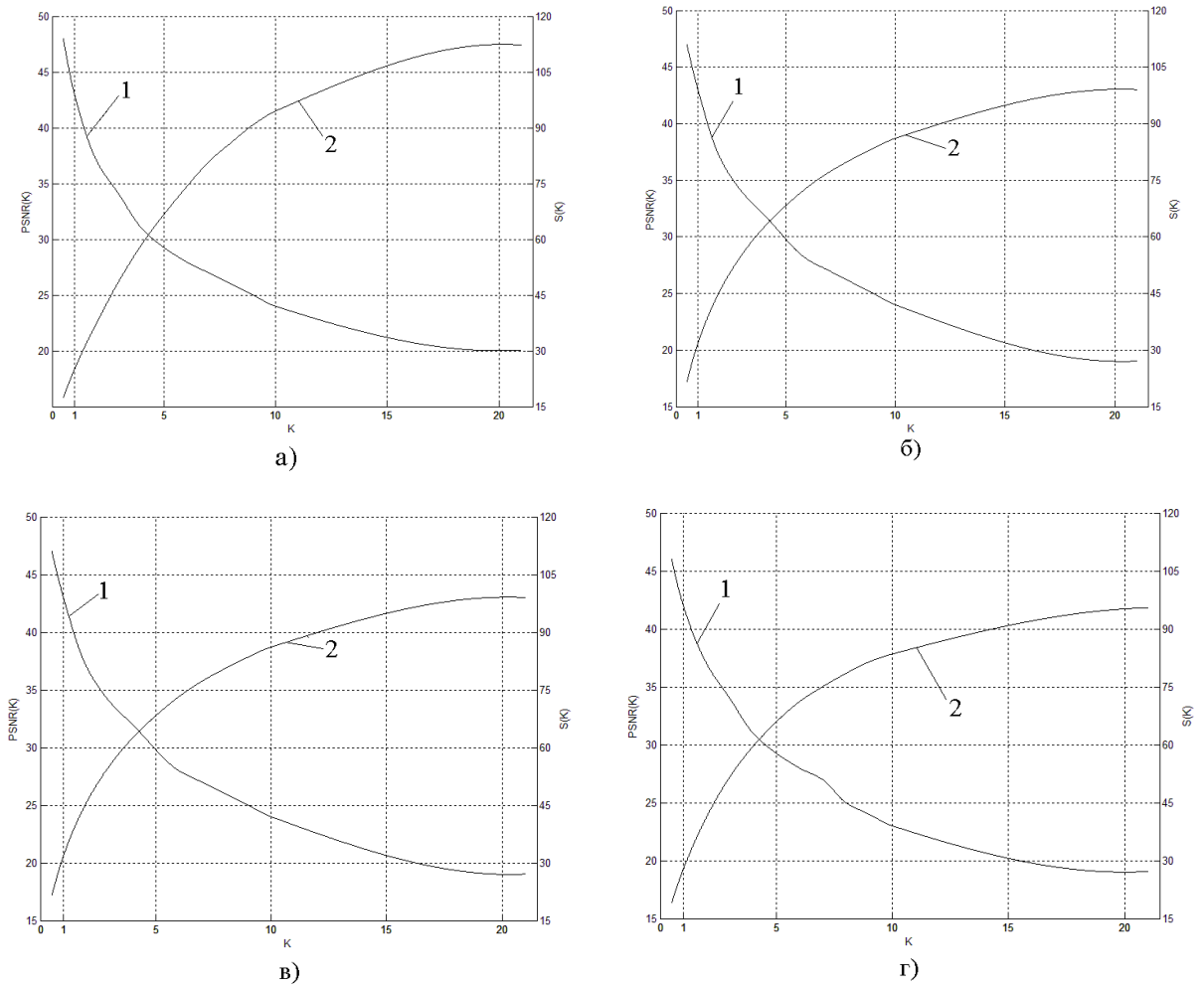
Спираючись на отримані результати досліджень, були побудовані залежності *MSE* і *PSNR* в залежності від параметра *K* (рис. 1).

Згідно дослідженням [3] при *PSNR*>35дБ можна вважати, що якість відновленого зображення відмінна; при *PSNR*<25дБ – низька якість. Виходячи з цих критеріїв, можна констатувати, що використання еталонної таблиці квантування (*K*=1) забезпечує відмінну якість відтвореного зображення для різних типів зображення. Навіть при збільшенні коефіцієнтів таблиці в 2 рази відмінна якість зображень зберігається.

Залежності для всіх чотирьох зображень практично не відрізняються як характером залежності, так і чисельними значеннями *PSNR* (рис. 1). Виходячи з цього факту, можна зробити висновок, що вплив квантування на візуальну якість зображення не змінюється зі зміною типу зображення. Це дає можливість застосовувати модель для широкого кола задач з різними типами зображень.

З графіків також видно (рис. 1), що при зростанні значення параметра *K* зростає ступінь стиснення зображення. Це можна пояснити тим, що із зростанням *K* зростають коефіцієнти таблиці квантування і, отже, зменшується кількість інформації в масиві даних. При невеликих значеннях параметра *K* вже досяжні значення степені стиснення в десятки разів, що є достатнім для більшості задач. Це і робить формат стиснення JPEG популярним у багатьох сферах діяльності людини.

Залежності степені стиснення *S* для всіх чотирьох зображень мають однаковий характер зміни залежно від параметра *K* і практично перекриваються одна з другою. Це свідчить про те, що ступінь стиснення зображення при фіксованому значені параметра *K* не змінюється під час обробки різних типів зображень, а незначні відмінності обумовлені використанням таблиць кодів Хаффмана для середньостатистичних зображень. Тому для чорно-білого зображення (рис. 1 а), де інформація про колір відсутня, можна досягнути більших значень степені стиснення, а для зображень з великою кількістю високочастотних елементів (рис. 1 г) ці значення нижчі, ніж у інших. Найбільший коефіцієнт стиснення при умові відмінної якості можна отримати для другого типу зображень (рис. 1 б), тому що таблиці кодів Хаффмана орієнтовані на кольорові зображення з плавними переходами.



1 – залежність PSNR від параметра K, 2 – залежність S від параметра K

Рис.1. Результати досліджень для першого (а), другого (б), третього (в) і четвертого (г) типів зображень

Наклавши дві залежності (рис. 1), можна знайти діапазон оптимальних значень параметра *K* для потрібної степені стиснення і якості зображення. Очевидно, що відмінну якість зображення можна отримати при *K*<3. Це справедливо для всіх чотирьох типів зображення. При цьому можливі значення степені стиснення даних *S* до 45 раз, що в повній мірі достатньо для більшості задач.

У результаті досліджень впливу параметрів моделі на зображення різних типів було встановлено, що досліджувана модель дозволяє отримати гарну якість зображення при достатньо високих значеннях степені стиснення для всіх чотирьох досліджуваних типів зображень.

Реалізація модуля кодування

Загальна структура модуля (рис. 2) багато в чому схожа зі структурною схемою моделі алгоритму. Новими блоками є вхідний буфер даних (ВБД) і блок управління (БУ).

Система побудована за принципом послідовної обробки потоку даних. У ВБД записується мінімальний блок інформації, який необхідний для реалізації процесу кодування.

Дані з БВД у блоці перетворення кольорового простору (ПКП) перетворюються з простору RGB у простір YCbCr. Перетворення відбувається за один такт, тому немає потреби в тактуванні. На виході блоку маємо три вектори, які відповідають трьом компонентам простору YCbCr.

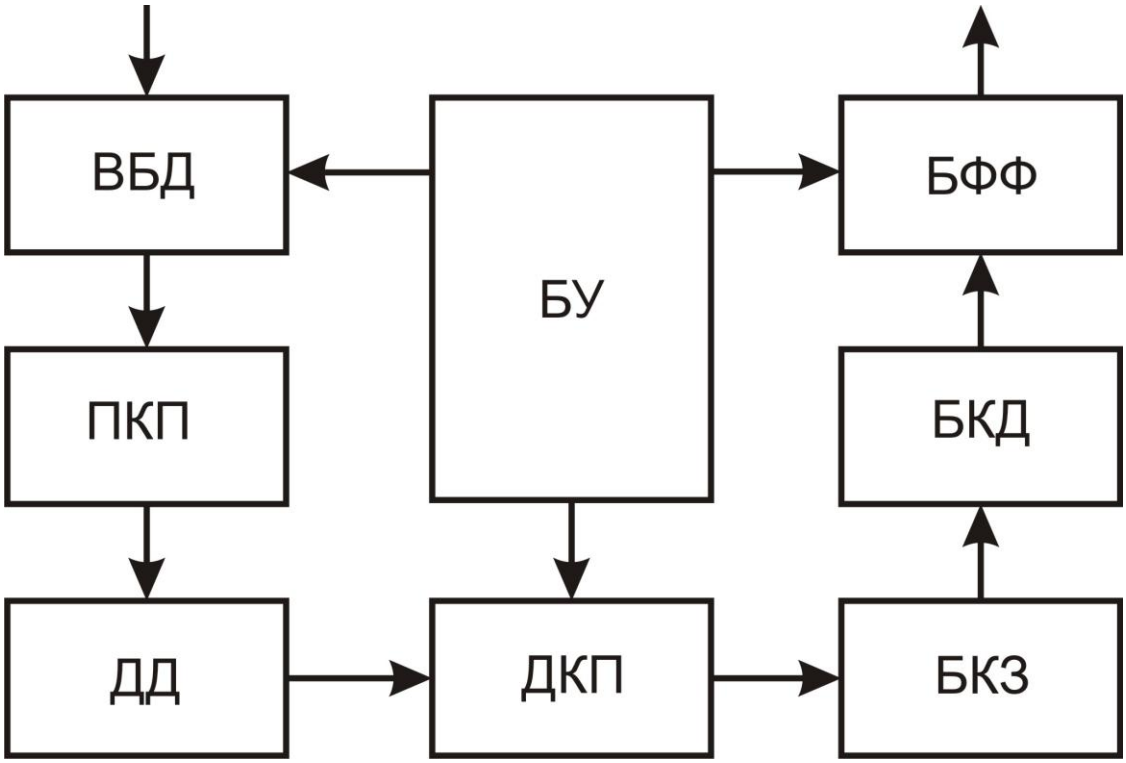


Рис. 2. Загальна структура апаратного модуля

Блок дискретизації даних (ДД) приводить компоненти Cb, Cr до середнього значення за схемою 4:2:0 і формує єдиний потік даних $Y_{00}Y_{01}Y_{10}Y_{11}Cb_{00}Cr_{00}$. До переходу в наступний блок старший біт вектора інвертується – реалізація зміщення на 127.

Потік даних піддається двовимірному ДКП для переходу в частотну область. Це необхідно для можливості оперування високочастотними і низькочастотними компонентами зображення.

Потік коефіцієнтів ДКП у блоці квантування і зигзаг обходу (БКЗ) піддається квантуванню для зменшення кількості інформації і сортуванню відповідно до порядку зигзаг обходу. Результуючий потік потрапляє в блок кодування даних (БКД), де спочатку виконується кодування довгих послідовностей, а потім отриманий потік кодується за алгоритмом Хаффмана.

Кодований потік накопичується в буфері даних у блоці БКД і по мірі його заповнення у вигляді байтів поступає в блок формування файлу зображення по формату JPEG (БФФ). У блоці БФФ потік кодованих даних доповнюється структурними роздільниками (маркерами) і допоміжною інформацією. Файл у вигляді потоку байтів поступає на вихід блоку разом з сигналом достовірності даних valid.

Модуль суміщує в собі опис на мові HDL, написаний вручну и генерований з моделей Simulink за допомогою інструменту Simulink HDL Coder. Такий підхід дозволяє максимально прискорити розробку пристрою і спростити налагодження на пізніх етапах проектування.

У результаті роботи був отриманий модуль апаратного кодування зображень у форматі JPEG. Параметри модуля приведені разом з параметрами аналогів для порівняння (табл. 1). Кількість використаних логічних елементів (LE, ALUT) приблизна, оскільки воно залежить від настройок компілятора. З таблиці видно, що отриманий модуль використовує менше ресурсів спеціалізованої мікросхеми, ніж його аналоги від компанії CAST та Інтернет-ресурсу OpenCores. Хоча аналогів два, але достовірно порівняти мо-

жна лише з аналогом від компанії CAST, тому що інформація про нього приведена для того ж сімейства мікросхем, що і для розробленого модуля. Розроблений модуль займає на мікросхемі на 23% менше логічних елементів, ніж аналог. Такий ефект досягнуто за рахунок зміни протоколу зв'язку з модулем кодування і використання менш ресурсоємних архітектур для окремих блоків модуля, наприклад, ДКП [4].

Таблиця 1

Порівняння параметрів модуля з аналогами

Модуль	Мікросхема	Логіка	Пам'ять	Інше
Розробка	Cyclone III	4500 LE	5 M4K	–
CAST		5858 LE	7 M9K	18 DSP 9 bit
OpenCores	Stratix II	6135 ALUT	55 M9K	4 DSP 9 bit

Для отримання достовірних результатів порівняння модулів за часовими параметрами необхідно мати або модуль-аналог, або мікросхему, на якій проводились досліди аналогів. Тому визначити швидкодію модуля відносно аналогів поки немає можливості.

Висновки

Показана доцільність використання апаратних модулів для реалізації алгоритмів обробки потоків даних на базі ПЛІС.

Отримана модель алгоритму кодування зображень в JPEG з параметрами, які забезпечують гарну якість і ступінь стиснення зображення.

Сформульована методика проектування модулів за допомогою автоматичного генерування опису на мові HDL в пакеті MATLAB.

Розроблений апаратний модуль у вигляді опису на мові HDL для реалізації на базі ПЛІС, який оптимізований по об'єму зайнятих ресурсів на мікросхемі.

Список використаних джерел

1. Кольский Н. SoC-процессоры как гибкая альтернатива ASIC и процессорам общего назначения / Кольский Н. // Chip News Украина. – 2010. – №7. – С. 20-25.

2. ITU. T.81: Information Technology – Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Image – Requirements and Guidelines, 1993.

3. Илюшкина Н. Применение новых критериев оценки качества изображения после сжатия с потерями / Илюшкина Н., Чобану М. // Современная электроника. – 2007. – №3. – С. 66-69.

4. Loeffler C., Ligtenberg A., Moschytz G. S. Practical fast 1-D DCT algorithms with 11 multiplications// IEEE Transaction on Consumer Electronics. – 1989. – P. 988-991.

УДК 621.341.572

О. В. Будьонний, канд. техн. наук
Є.Ю. Коваленко, магістрант
М.А. Прокопець, магістрант

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

ДРАЙВЕР ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИЛОВИМИ MOSFET ТА IGBT ТРАНЗИСТОРАМИ

Приведено опис та принципову схему драйвера для керування силовими IGBT та MOSFET транзисторами. Розроблений прилад має значно нижчу вартість та кращі технічні показники, ніж існуючі драйвери, та не має моточних елементів, що дозволяє інтегрувати його в одну ІМС.

Вступ

На сьогодні в багатьох пристроях перетворювальної техніки необхідні ключі, здатні комутувати струми в десятки ампер та напруги в сотні вольт [1]. Для таких транзисторів потрібні системи керування, які б дозволили отримати достатньо круті фронти на високих частотах та захистити транзистор у випадку перевищення його номінального струму. Більшість драйверів, що випускаються промисловістю, не повністю відповідають цим вимогам [2]. Тому метою даної роботи є розробка драйвера, який би був досконаліший за існуючі аналоги, мав низьку ціну, міг би бути виготовлений у корпусі однієї ІМС та мав широкий діапазон застосування – зварювальні інвертори, перетворювачі частоти і т.д.

Вихідний каскад драйвера

Вихідний каскад (рис. 1) необхідний для підсилення сигналів керування. Він виконаний за схемою емітерного повторювача на транзисторах Q2 та Q3. Резистори R4 та R5 призначені для обмеження струмів заряду та розряду затвору силового транзистора. Каскад на транзисторі Q1 слугує для узгодження рівнів сигналу. Особливістю використання емітерного повторювача є те, що затвір силового транзистора не розряджається повністю при його вимиканні, а лише до напруги близько 1В (напруга насичення транзистора Q3). У більшості силових транзисторів значення порогової напруги лежить у діапазоні 3-5В, тому такий режим роботи драйвера є допустимим. У крайньому випадку, вихідний каскад можна живити від двополярного джерела, проте, це виключає можливість використання бутстрепної ланки для живлення драйвера верхнього транзистора у напівмостовій та мостовій схемах перетворювача.

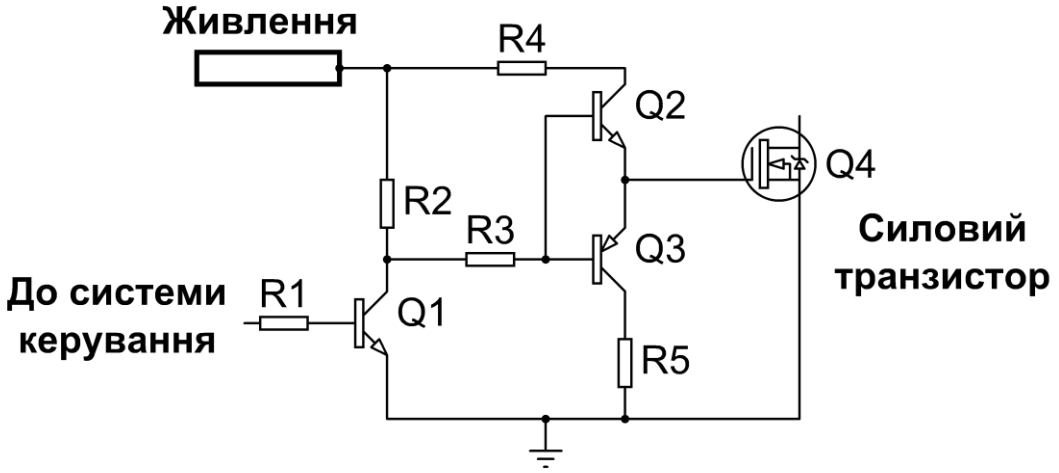


Рис. 1. Вихідний каскад драйвера

Вхідний тригер

Вхідний тригер (рис. 2) необхідний для покращення фронтів сигналу та вимикання вихідного каскаду при спрацюванні системи захисту. Він побудований на трьох логічних елементах АБО-НІ (NOR). Два з них (U1:B та U1:C) утворюють сам тригер, третій (U1:A) використовується для інверсії сигналу керування. Диференціююча ланка (C2, R1) необхідна для подавання короткого імпульсу, що переводить тригер у стан логічної «1». У стан логічного «0» він переводиться сигналом керування, поданим через діод D1, або сигналом від системи захисту. Діоди D1та D2 необхідні для розв'язки керуючого сигналу та сигналу захисту. На четвертому логічному елементі (U1:D) побудована система, яка при зниженні напруги живлення подає логічну «1» на вхід R, тим самим блокуючи імпульси керування.

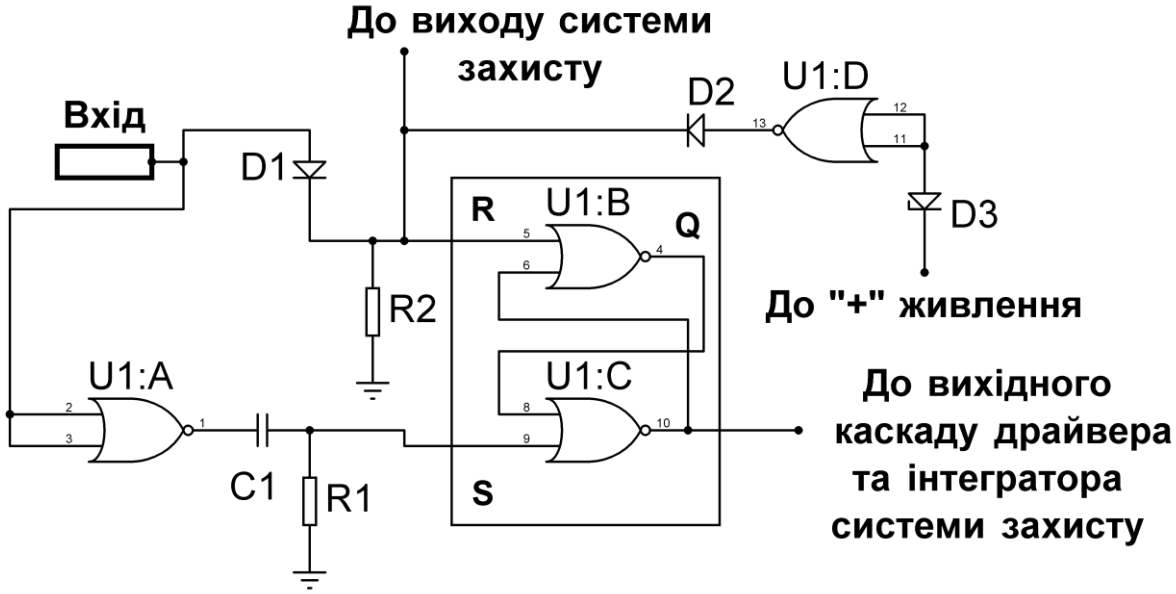


Рис. 2. Вхідний тригер

Система захисту

Система захисту може бути виконана у двох варіантах: тільки з швидкодіючим захистом, або з швидкодіючим та інтегральним захистом (рис. 3). Швидкодіючий захист запобігає перевищенню максимального струму силового транзистора, а інтегральний захист, оцінюючи час ввімкненого стану силового транзистора та струм через нього, запобігає перегріву кристала. У системі захисту були використані польові транзистори з керуючим p-n переходом (JFET) з включенням по схемі генератора струму. Два таких генератора (Q2, Q3, R2 та Q4, Q5, R3), налаштовані на однаковий струм, включені послідовно. Відповідно, в середній точці напруга буде складати половину напруги живлення. Проте зміна напруги на шунті R5, включеного в силове коло або інтегруючій ланці (RV2, C1), змінює напругу на затворах нижніх транзисторів (Q4, або Q5), у результаті чого напруга в середній точці теж буде змінюватись. Через емітерний повторювач, виконаний на транзисторі Q1, вона потрапляє на вхід "R" тригера та при перевищенні струму або досягненні порогової напруги на конденсаторі C1 блокує тригер. Стабілітроном D1 задається поріг спрацьовування захисту. Транзистор Q6 потрібен для скидання інтегратора на етапі вимкнутого стану силового транзистора.

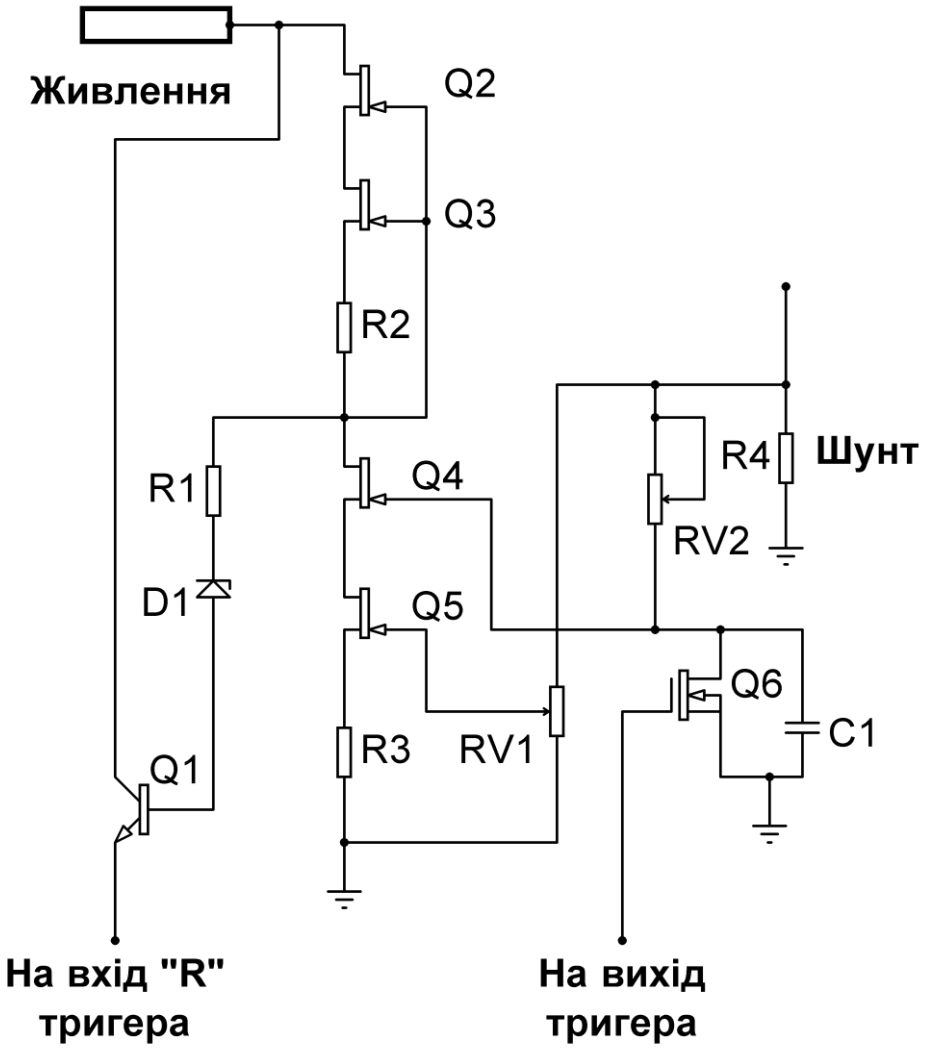


Рис. 3. Система захисту (швидкодіючий та інтегральний захист)

Загальна схема драйвера

Загальна схема драйвера (рис. 4) представлена разом з понижуючим ШІПом. Останній зібраний на елементах Q10, L1, D5, C4 та RV3 у якості навантаження. При перевантаженні схема переходить у режим стабілізації струму, формуючи таким чином спадаючу ВАХ. Ця властивість схеми може бути використана в зварювальних інверторах для формування падаючої вольт-амперної характеристики або у перетворювачах частоти для запобігання кидка струму під час пуску двигуна.

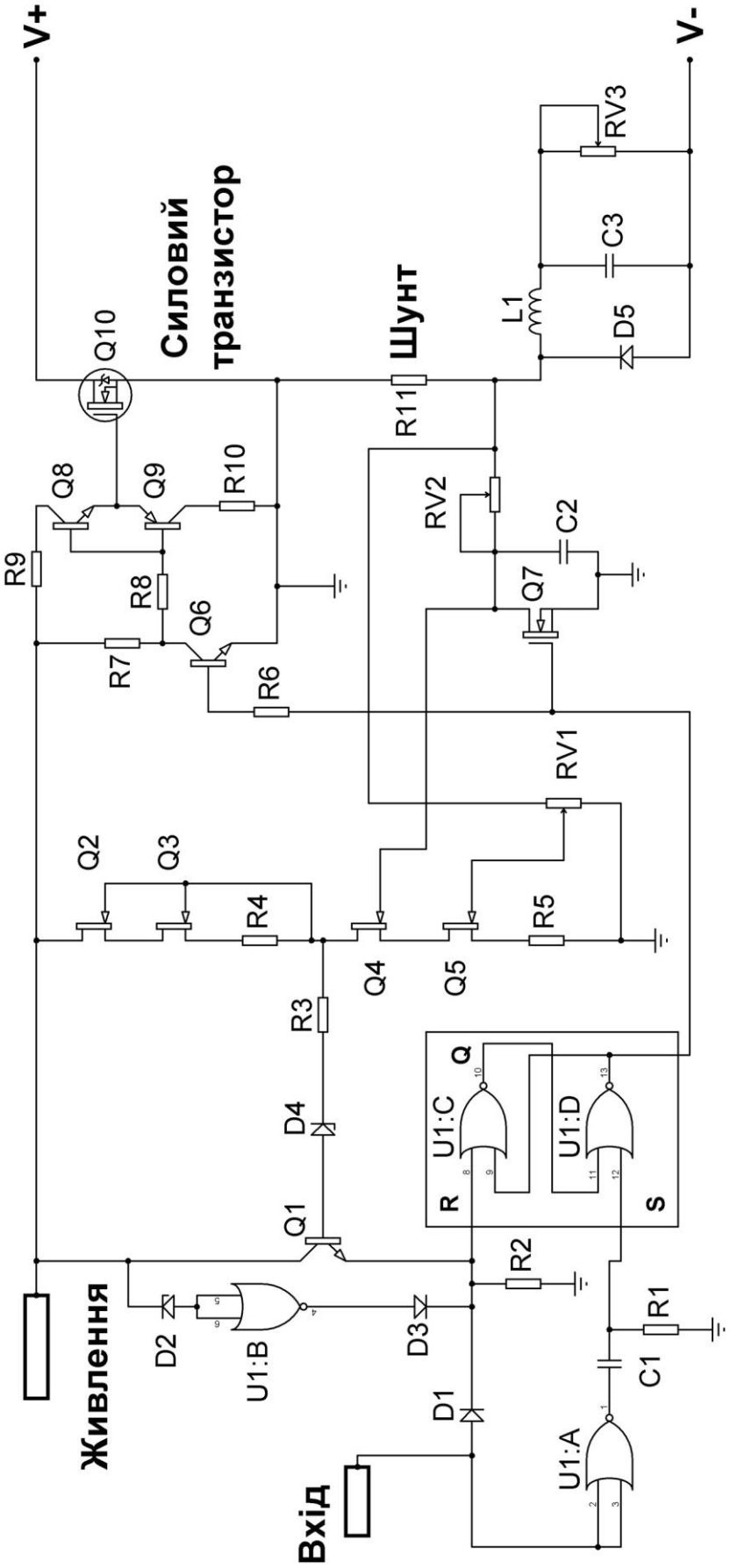


Рис. 4. Загальна схема драйвера з понижуючим ШПом у якості навантаження

Таблиця 1

Порівняльна таблиця характеристик розробленого драйвера та аналогів

Тип	**Максимальний вихідний струм**	**Час спрацьовування інтегрального захисту**	**Час спрацьовування швидкодіючого захисту**	**Драйвер витримує коротке замикання на виході**	**Довжина фронтів (C=9nF)**	**Кількість елементів у схемі**	**Ціна**
IR2101	0.2A	-	-	-	2.5 мкс	3	1.5$
IR2125	1.5A	від 20 мкс	-	-	1 мкс	5	3$
Драйвери модулів SEMICRON	10A	від 10 мкс	від 1 мкс	+	100 нс	близько 100, 5 трансформаторів	150$
Розроблений драйвер	10A	від 300 нс	від 300 нс	+	100 нс	27, без моточних виробів	2$

Висновки

Враховуючи потреби сучасної силової електроніки, було розроблено драйвер, що реалізує швидкий захист ключових транзисторів, має невелику кількість елементів та низьку вартість. Крім того, він не містить моточних елементів, а отже, може бути реалізований у вигляді однієї ІМС.

Список використаних джерел

1. Рогачёв К.Д. Силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). [Электронный ресурс] / Рогачёв К.Д. – Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/transistor.htm.

2. Колпаков А.И. Обеспечение защиты от перегрузки в MOSFET драйверах. [Электронный ресурс] / Колпаков А.И. – Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/protect.htm.

УДК 681.3.016:681.324

Ю.Н. Возовиков, аспирант
А.А. Мунзер, магистр

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛИЗОВАННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Предлагается метод анализа механизма реализации и эффективности применения материализованных представлений, основанный на использовании имитационной модели реляционных баз данных.

Вступление

Использование материализованных представлений (МП), то есть – сохраненных результатов запросов к реляционной базе данных (РБД) – эффективное средство повышения производительности информационной системы (ИС) [1]. Однако целесообразность применения такого решения определяется рядом факторов, которые аналитически трудно оценить. Кроме этого, сам механизм реализации МП достаточно сложен и требует экспериментальной проверки. Указанные доводы определяют целесообразность применения имитационного моделирования как для определения работоспособности и эффективности средств работы с МП, так и для целесообразности применения МП для конкретной ИС.

Формулирование целей статьи

Целью данной работы является создание имитационной модели для исследования различных механизмов реализации материализованных представлений, создаваемых для конкретной ИС.

Изложение основного материала статьи

В работе [2] изложены общие положения моделирования РБД. В нашем случае также необходимо сохранить исходное состояние базы данных (БД) или её фрагментов на момент *t1* начала испытаний модели, сохранить последовательность запросов с момента *t1*, а также позаботиться о сокращении количества таблиц, используемых в модели.

Для этого воспользуемся аппаратом множеств [3] и введем следующее представление множества запросов *Q*, в котором каждый запрос представляется кортежем:

$$q = < T_q, Ty, < t_{st}, \tau >> , \quad (1)$$

где $T_q = \{T_i\}, i = \overline{1, N_{Tq}}$ – множество таблиц БД, участвующих в запросе *q*; N_{Tq} – количество таких таблиц.

Каждая таблица $T_i = < Nm_i, F_i >$ представлена именем *Nm* и множеством полей $F_i = \{F_{ij}\}, j = \overline{1, N_{Fi}}$, где N_{Fi} – количество полей таблицы T_i.

Ty – тип запроса, $Ty \in \{TD, TI, TU, TS\}$, где TD – запрос на удаление строки (строк) из таблицы, *TI* – запрос на добавление данных; TU – запрос на обновление; TS – запрос на выборку;

t_{st} – время запуска запроса;

τ – продолжительность выполнения запроса, запущенного в момент времени t_{st}.

Введём представление результатов выполнения запросов в виде множества:

$$R = \{r_i\}, \overline{i = 1, Ns},$$

где *Ns* – количество запросов типа SELECT.

Каждый элемент множества $r_i = < T_i, t_i >$, где – T_i таблица результата, а t_i – момент времени получения результата.

I. Проверка работоспособности механизмов фильтрации запросов, выборки и обновления МП

Последовательность шагов:

1) Устанавливается длительность периода наблюдения *t* ИС. Для каждой таблицы БД сохраняется её состояние. В течение периода *t* (механизмы МП отключены) фиксируются все запросы к БД в соответствии с (1). Будем считать, что эти запросы составляют множество *Q*. Также фиксируются все результаты запросов типа SELECT (упорядоченное по времени множество *R*).

Предполагается, что к моменту начала испытания модели установлено множество всех запросов *Qmps*, для которых создаются МП. Поскольку за время наблюдения *t* не обязательно все запросы из *Qmps* будут использованы, формируем множество запросов *Qmp*, имеющих МП и попадающих в нашу выборку:

$$Qmp = \{q_i \mid q_i \in Q \wedge q_i \in Qmps\}, i = \overline{1, |Q|} \quad (2)$$

2) Для сокращения объёма модели и времени её испытания из *Qmp* выбирается незначительное количество запросов *m* (*m*≥2, поскольку необходимо проверить механизм фильтрации запросов).

Минимизации количества таблиц, используемых в модели, можно добиться применением функции *fmint(Qmp,m)*, которая из множества запросов *Qmp* выбирает такие *m* запросов, для которых общее число используемых таблиц будет минимальным. В результате формируется множество запросов *Qmp*1.

$$Qmp1 = \{q_i \mid q_i \in Qmp, \sum_{i=1}^{m} N_{Tqi} = \min\}, \quad (3)$$

Для проверки обработки запроса, который не принадлежит множеству *Qmp*, но имеет тип SELECT, отыскиваем такой запрос также с помощью функции *fmint*

$$fmint((Qmp1 \bigcup q_i \mid q_i \in Q \wedge q_i \notin Qmp \wedge Ty_{qi} = Ts), 1), i = \overline{1, |Q|}, \quad (4)$$

Определяем множество таблиц *T*1, используемое запросами из *Qmp*1

$$T1 = \{T_i \mid q_i \in Qmp1\}, \overline{i = 1, m+1}, \quad (5)$$

1) Для проверки механизма обновления МП также необходимо выбрать все запросы, модифицирующие данные, используемые в МП. Для этого составляем множество запросов *Qmd:*

$$Qmd = \{q_i \mid q_i \in Q \wedge Ty_{qi} \neq Ts \wedge F_{qi} = F_{qj} \mid q_j \in Qmp1\}, \overline{i = 1, |Q|}, \overline{j = 1, m+1} \quad (6)$$

Поскольку в условиях выборки запросов на модификацию могут присутствовать поля, которые не принадлежат таблицам из *T*1, окончательное множество таблиц, используемое в модели *Tm*, должно учитывать все таблицы, используемые в *Qmd:*

$$Tm = \{Ti \mid q_i \in Qmd\} \bigcup T1, i = 1, |Qmd|, \quad (7)$$

2) На основе множества *Tm* создаётся модель БД1 реальной БД. Все таблицы *Tm* заполняются данными, сохраненными к моменту испытания модели.

3) Производится упорядочение множества *Qmd* по параметру t_{st}. Механизм МП не включается. Запросы из *Qmd* последовательно подаются в модель БД1. Результаты выполнения запросов сохраняются в множестве *R*1.

4) Восстанавливается исходное состояние модели БД1. Подключается механизм МП.

Запросы из *Qmd* повторно подаются в модель БД1. Результаты выполнения запросов сохраняются в множестве *R*2.

5) Сравниваются результаты двух испытаний модели БД1. Если выполняются равенства $T_{R1i} = T_{R2i}$ для всех $T_{R1i} \in R1$ и $T_{R2i} \in R2$ при *i*=1,*m*+1, то можно сделать заключение о корректости работы механизмов МП и завершить испытания. В противном случае следует перейти к шагу 6.

6) Прежде всего следует проверить совпадение результатов выполнения запросов типа SELECT в реальной базе данных (БД) и модели (БД1) без включения механизмов МП.

Если $\forall r_i \in R1 \exists r_j \in R \mid T_{ri} = T_{rj}$ при i=1,m+1 и j=1, |R|, то можно считать, что модель БД1 постоена правильно и ошибки вызваны применением механизма обслуживания МП.

Для дальнейшей локализации ошибок рекомендуется проверить работу механизма фильтрации запросов путем сравнения мощностей множеств R1и R2. Если фильтрация выполняется правильно, то следует детально проверить механизм обновления путём демонстрации каждого элемента $r_i \in R1$ после очередного обновления данных в его таблице.

II. Анализ эффективности применения МП

Последовательность шагов:

1) Устанавливается длительность периода наблюдения t ИС. Для каждой таблицы БД сохраняется её состояние в модели БД1. В течение периода t (механизмы МП отключены) фиксируются все запросы к БД в соответствии с (1). Будем считать, что эти запросы составляют множество Q. С

Предполагается, что к моменту начала испытания модели установлено множество всех запросов $Qmps$, для которых создаются МП.

2) Определяется суммарное время выполнения всех запросов q_i из множества Q:

$$S0 = \sum_{i=1}^{|Q|} \tau_{qi} \tag{8}$$

Формируется множество запросов Qmp, имеющих МП и попадающих в нашу выборку (множество Q):

$$Qmp = \{q_i \mid q_i \in Q \wedge q_i \in Qmps\}, i = \overline{1,|Q|} \tag{9}$$

Определяется суммарное время выполнения для каждого запроса, входящего в множество Qmp:

$$s_j = \sum_{i=1}^{|Q|} (\tau_{qi} \mid q_i \in Qmp \wedge q_i \in Q) \tag{10}$$

Определяется суммарное время выполнения всех запросов из множества Qmp:

$$S1 = \sum_{j=1}^{|Qmp|} s_j \ , \tag{11}$$

3) Восстанавливается исходное состояние модели БД1. Включается механизм МП. На вход модели подаётся последовательность запросов из Q. Определяется суммарное время выполнения всех запросов q_i из множества Q:

$$S0_m = \sum_{i=1}^{|Q|} \tau_{qi} \tag{12}$$

Определяется суммарное время выполнения для каждого запроса, входящего в множество Qmp:

$$s_{mj} = \sum_{i=1}^{|Q|} (\tau_{qi} \mid q_i \in Qmp \wedge q_i \in Q) \tag{13}$$

Определяется суммарное время выполнения всех запросов из множества Qmp.

$$S1m = \sum_{j=1}^{|Qmp|} s_j \tag{14}$$

4) Производится оценка полученных результатов по следующим формулам.

Для оценки общей эффективности применения МП в ИС:

$$\lambda = 1 - \frac{S0 - Sm}{S0} \tag{15}$$

Для оценки эффективности применения МП для запросов из множества Qmp :

$$\lambda_{mp} = 1 - \frac{S1 - S1_m}{S1} \tag{16}$$

Для оценки эффективности применения каждого МП в отдельности:

$$\lambda_{mpj} = 1 - \frac{s_j - s_{mj}}{s_j} \tag{17}$$

Последняя оценка позволяет корректировать состав элементов множества *Qmp*.

III. Анализ эффективности механизма периодического включения МП [4]

Последовательность шагов:

1) Выполнение этого шага аналогично выполнению шагов 1 и 2 предыдущего анализа. В результате получаем суммарное время выполнения для каждого запроса, входящего в множество *Qmp:*

$$s_{mj} = \sum_{i=1}^{|Q|} (\tau_{qi} \mid q_i \in Qmp \wedge q_i \in Q), \tag{18}$$

$$Sm = \{s_{mj}\},\ j = \overline{1, |Qmp|} \tag{19}$$

2) Восстанавливается исходное состояние модели БД1. Включается механизм МП и устанавливается период включения/выключения МП для каждого запроса $q_j \in Qmp$. Управление запросами осуществляется множеством функций:

$$Fc = \{fc_j\},\ \overline{j = 1, |Qmp|} \tag{20}$$

Каждая функция использует в качестве аргументов запрос q_j и заданный определённым образом период рабочего состояния МП. Конкретные моменты времени включения/выключения рассчитываются функцией на основании текущей даты календаря. Более подробное описание функции изложено в [4].

3) Аналогично пункту 3 предыдущего исследования на вход модели подаётся последовательность запросов из *Q*. Определяется суммарное время выполнения всех запросов q_i из множества *Q*.

$$S0_{mc} = \sum_{i=1}^{|Q|} \tau_{qi} \tag{21}$$

Определяется суммарное время выполнения для каждого запроса, входящего в множество *Qmp:*

$$s_{mcj} = \sum_{i=1}^{|Q|} (\tau_{qi} \mid q_i \in Qmp \wedge q_i \in Q) \tag{22}$$

Определяется суммарное время выполнения всех запросов из множества:

$$S1mc = \sum_{j=1}^{|Qmp|} s_{mcj} \tag{23}$$

4) Выполняется анализ эффективности механизма управления запросами. Величина

$$\gamma_s = 1 - \frac{SO_m - SO_{mc}}{SO_m} \tag{24}$$

показывает относительное сокращение времени вполнения всех запросов $q_i \in Q$ за счет использования механизма управления.

Величина

$$\gamma_{mps} = 1 - \frac{S1m - S1mc}{S1m} \tag{25}$$

показывает насколько механизм управления влияет на эффективность выполнения запросов $q_i \in Qmp$.

5) Выполняется анализ эффективности управления каждым запросом $q_i \in Qmp$ по отдельности. Для этого рассчитываются значения:

$$\gamma_{mpj} = 1 - \frac{s_{mj} - s_{mcj}}{s_{mj}} \tag{26}$$

6) На основании анализа, проведенного в пунктах 4 и 5 может быть принято решение о перенастойке функций из множества *Fc*. После этого процесс исследования повторяется, начиная с пункта 3 до фиксации оптимальных аргументов функций.

Если же принимается решение о добавлении или удалении элементов в множество *Qmp,* то процесс моделирования повторяется с начала.

7) Результаты, полученные в пунктах 3 и 4, могут сохраняться на длительный период для оценки влияния изменений в ИС на эффективность используемого механизма МП. Что даёт основание для повторного исследования системы и новой настойки механизмов МП.

Выводы

Предложенный метод построения имитационной модели РБД для исследования применимости МП, позволяет выполнить комплексный и детальный анализ как различных механизмов реализации МП, так и эффективности выбора запросов – кандидатов для МП и управления их включением/выключением. Кроме этого, реализуется возможность оценки влияния текущих изменений в ИС на эффективность применения МП и принятия своевременных решений по перенастойке механизма МП.

Список использованных источников

1. Кунгурцев А. Б. Анализ возможности применения материализованных представлений в информационных системах / Кунгурцев А. Б., Куок Винь Нгуен Чан // Труды ОНПУ. – Одесса, 2003. – С. 102-106.

2. Кунгурцев А.Б. Задачи имитационного моделирования реляционных баз данных / Кунгурцев А.Б., Зиноватная С.Л., Мунзер аль Абдо // Труды десятой международной научно-практической конференции СИЭТ-2009. – Одесса, 2010. – С.210.

3. Певзнер Л.Д. Математические основы теории систем / Певзнер Л.Д., Чураков Е.П. – М.: Высш. шк., 2009. – 503с.

4. Кунгурцев А.Б. Управление материализованными представлениями в информационных системах / Кунгурцев А.Б., Возовиков Ю.Н // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 1/ 4(43). – С. 18-21.

5. Кунгурцев А.Б. Поиск закономерностей в распределении запросов для управления материализованными представлениями / Кунгурцев А.Б., Возовиков Ю.Н. // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2008. – № 2(30). – С. 135-140.

УДК 004.522

В.О. Темніков, канд. техн. наук
О.В. Петейчук, аспірант
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

СИСТЕМА ГОЛОСОВОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОПЕРАТОРІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВСТАНОВЛЕНОЇ ФРАЗЕОЛОГІЇ

Запропонований принцип побудови підсистеми параметризації як складової системи автентифікації операторів ергатичних систем за голосом. Застосування наведеного підходу дозволяє поліпшити якість контролю за роботою операторів і запобігти доступу до систем управління ергатичних систем несанкціонованих операторів та операторів, які знаходяться у неналежному психофізіологічному стані.

Постановка проблеми

У зв'язку з передбачуваним збільшенням кількості авіарейсів, пов'язано з проведенням у 2012 році першості Європи по футболу, гостро постає питання про необхідність прийняття дієвих заходів щодо підвищення безпеки польотів.

Однією з важливих причин аварій та аварійних ситуацій в авіації є людський фактор. Статистичні дані щодо причин економічних та соціальних втрат транспортних (у тому числі авіаційних) компаній свідчать про те, що від 50 % до 80 % всіх аварій та порушень технологічного режиму трапляються з вини оперативного персоналу. В українській авіації аварійність з вини персоналу за останні роки збільшилась на 10% [1].

Важливою ланкою авіаційних ергатичних систем (ЕС) є диспетчер управління повітряним рухом (авіадиспетчер). Варто звернути увагу при цьому на те, що робота авіадиспетчера поєднана з постійною нервово-емоційною напруженістю, пов'язаною з підвищеною відповідальністю за прийняті рішення, дефіцитом часу, великим обсягом контрольованих ситуацій, високою швидкістю процесів, що відбуваються під час виконання авіадиспетчерами функціональних обов'язків [2,3].

Одним з шляхів підвищення безпеки в авіації, істотного зменшення кількості аварій та аварійних ситуацій через людський фактор є неперервний контроль за діями авіадиспетчерів як суб'єктів авіаційних ЕС у процесі виконання ними функціональних обов'язків під час робочої зміни [4].

Таким чином, велику актуальність набуває розробка автоматизованої системи контролю доступу (СКД) авіадиспетчерів до систем управління ЕС, що забезпечує вирішення таких задач, як: автентифікація авіадиспетчерів (для запобігання несанкціонованого доступу до систем управління) і моніторинг їх психофізіологічного стану (ПФС) (емоційного стану та стану втоми).

Метою даної роботи є розробка принципу побудови підсистеми параметризації як складової системи автентифікації операторів ергатичних систем за голосом на основі розпізнавання лексичних елементів мови при використанні встановленої фразеології. Відмінною рисою підсистеми параметризації є врахування особливостей роботи авіадиспетчера, які полягають у тому, що в процесі аудіозв'язку з повітряними суднами авіадиспетчери використовують встановлену фразеологію, причому вести діалог авіадиспетчери повинні рівномірним голосом, чітко вимовляючи слова та тримаючи мікрофон завжди на одній і тій самій відстані від рота.

Автентифікація та моніторинг ПФС авіадиспетчера при використанні встановленої фразеології

У статті пропонується контроль за роботою авіадиспетчера здійснювати по голосу, аналізуючи мовні відрізки, що формуються в процесі аудіообміну авіадиспетчерів з по-

вітряними та наземними авіаційними станціями. При цьому враховується вплив ПФС авіадиспетчера на параметри його мовного сигналу.

Система розпізнавання операторів включає в себе типові складові частини, що виконують такі функції: сканування, попередня обробка сигналу, параметризація та прийняття рішення (класифікація).

На рис.1 представлена розроблена авторами структурна схема підсистеми параметризації мовного сигналу. Розроблена схема включає такі елементи: сегментація, пошук слів у неперервній (злитій) мові та параметризація лексичних елементів.

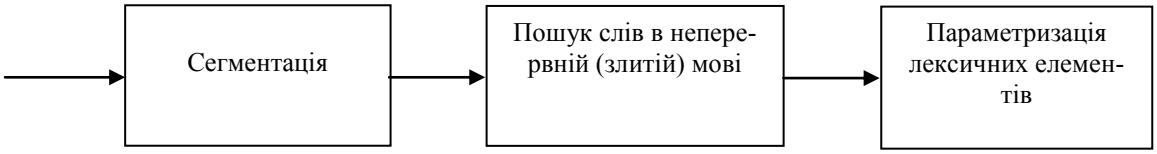


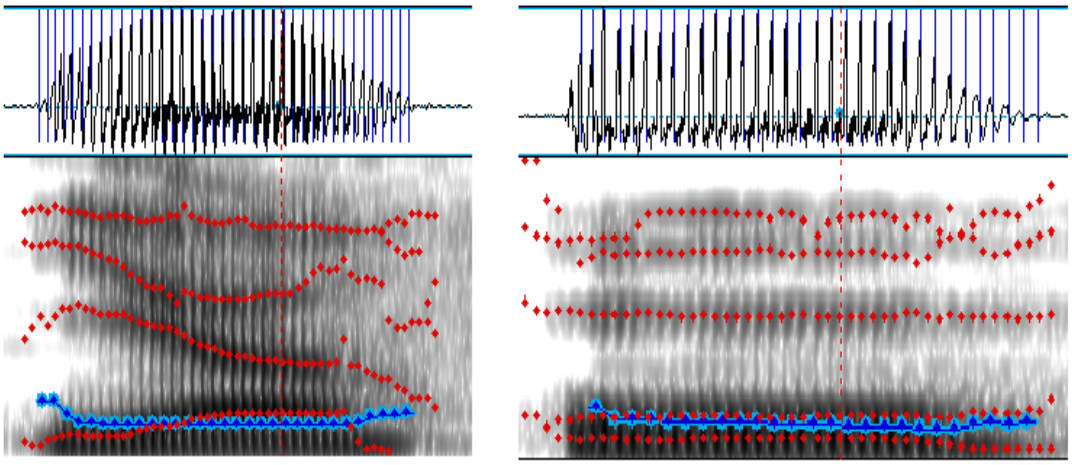
Рис.1. Структурна схема підсистеми параметризації

У процесі роботи підсистема параметризації з очищеного на етапі попередньої обробки сигналу загального мовного потоку виділяє мовний відрізок певної заданої тривалості. Далі здійснюється виділення та розпізнавання лексичних елементів (під лексичними елементами розуміємо фонеми, алофони, дифони тощо), які об'єднуються в склади та морфеми, що, у свою чергу, створюють слова та словосполучення, які порівнюються зі складами, морфемами, словами та словосполученнями, що містяться в попередньо сформованому словнику.

Отримані на даному етапі результати використовуються в подальшому для автентифікації авіадиспетчерів.

Оскільки під час робочої зміни в приміщенні знаходиться обмежена кількість осіб, доцільно використовувати як основний інформативний параметр мовного сигналу частоту основного тону (ЧОТ) та його похідні, значення формантних частот формант вище четвертої та темпоральні характеристики мови.

Для кожного оператора притаманні свої значення частоти основного тону. На рис.2 зображено спектрограми формант «я» (рис.2 а) та «у» (рис.2 б), що вимовлені одним диктором. На рис.2 також зображені часові залежності частот основного тону та чотирьох формант.



а) б)

Рис. 2. Спектрограми фонем «я» (а) та «у» (б)

Зауважимо, що значення ЧОТ не є сталими для конкретної особи, оскільки вони можуть коливатись у певних межах в залежності від інтонації, розміщення наголосу, ПФС (емоційного стану та стану втоми) дикторів та ін.

Одним із способів підвищення точності роботи системи автоматичної автентифікації осіб по голосу може бути використання параметрів, що відображають динаміку зміни ЧОТ (зокрема, зрізаність, дисперсію) [5].

Графік (рис.3), побудований за даними, що отримані як відношення ЧОТ фонем фрази "Говорите в микрофон" до значень ЧОТ першої фонеми, ілюструє даний підхід та робить більш помітною різницю в розподіленні ЧОТ для різних дикторів. Хоча у дикторів 1, 6 та 3, 5 середні значення ЧОТ доволі близькі, ЧОТ окремих фонем суттєво відрізняються.

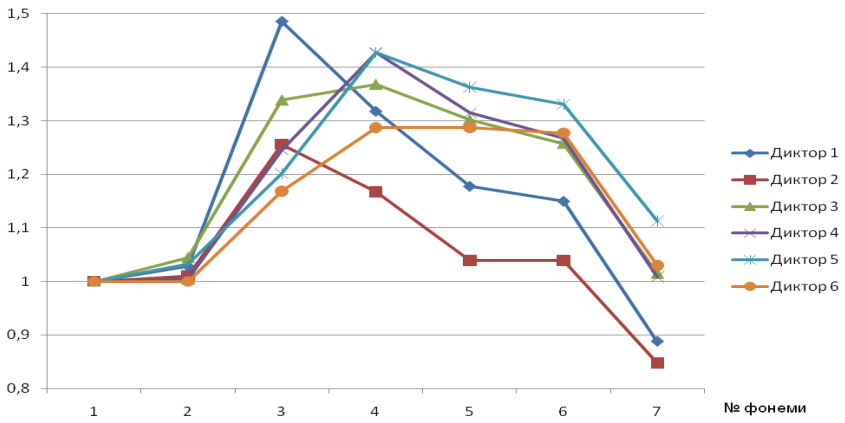


Рис. 3. Графік розподілу ЧОТ між окремими фонемами експериментальної фрази

Автентифікацію операторів можна проводити також на основі аналізу значень четвертої формантної частоти. Про це свідчать результати порівняння значень четвертої формантної частоти для різних фонем, що вимовляються різними дикторами. У табл.1 та на рис.4 наведені дані для трьох дикторів.

Таблиця 1

Значення четвертих формантних частот різних фонем для трьох дикторів

Формантна частота, Гц	А	Я	Ю	Е	У	О	І
1 диктор	4442	4507	3931	4044	3999	3743	4371
2 диктор	3402	3375	3120	3646	3363	3633	3423
3 диктор	4062	4026	3861	3792	3866	3456	3685

Динаміка змінення ЧОТ є важливішим засобом вираження емоцій, що визначають ПФС оператора.

Експерименти показали, що середня частота основного тону має доволі чітку тенденцію до підвищення при зміні стану оператора за напрямом: депресія — норма (зосередженість) – збудження. Так, у стані підвищеного емоційного збудження середнє значення ЧОТ збільшується на 40-60 %. Наприклад, якщо частота основного тону в стані зосередженості (норма) була 120 Гц, то в стані депресії вона понижується до 100 Гц, а при збудженні – піднімається до 200 Гц.

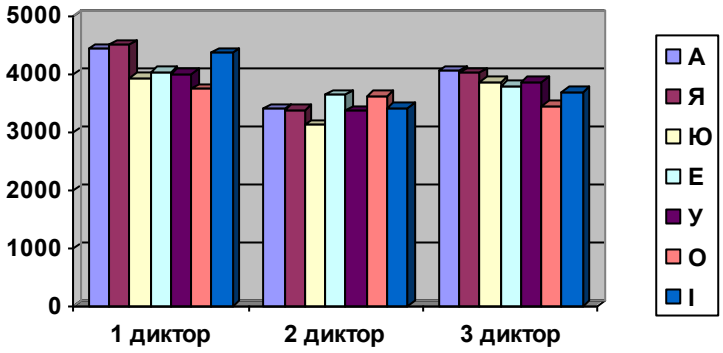


Рис. 4. Порівняння значень характеристики четвертих формантних частот

Крім того, змінюється характер зміни ЧОТ: у стані норми зміна частоти під час проголошення фрази плавна, при збудженні з'являються різкі виплески, збільшується зрізаність та діапазон зміни ЧОТ.

Крім того, в стані підвищеного емоційного збудження на 3-5 дБ підвищується середній рівень мови, приблизно на 20 % збільшується темп мови; в стані втоми підвищується тривалість виголошеної фрази у зв'язку зі збільшенням довжини пауз та окремих звуків; при сильному стресі змінюється тембр голосу.

Висновки

Запропонований авторами підхід дозволяє проводити розпізнавання особи, яка знаходиться на даному робочому місці, та моніторинг її ПФС у режимі реального часу на основі аналізу мовного сигналу, що формується під час аудіообміну між авіадиспетчером та повітряними і наземними авіаційними станціями.

Проведення такого контролю за роботою авіадиспетчера дозволить зменшити вплив людського фактора на безпеку в різних сферах діяльності людей (на транспорті, в енергетиці та ін.), де оператори використовують певну встановлену фразеологію.

Список використаних джерел

1. Буров О.Ю. Ергономічні основи розробки систем прогнозування працездатності людини-оператора на основі психофізіологічних моделей діяльності: дис.… д-ра техн. наук: 05.01.04 / Буров О.Ю. // НДІ проблем військової медицини Збройних сил України. – К., 2006. – 329 с.

2. Денисов В. Г. Авиационная инженерная психология / В. Г. Денисов, В. Ф. Онищенко, А. В. Скрипец. – М.: Машиностроение, 1983. – 232с.

3. Леонтьев А.Н. Человек и техника / А.Н. Леонтьев, Б.Ф. Ломов // Вопросы психологии. – 1963. – № 5. – С. 29-37.

4. Temnikov V.A.,Peteychuk A.V. Organization of preshift and intrashift access control of ATC to the resources of information systems //The fourth world congress "Aviation in the XXI-st century", "Safety in Aviation and Space Technologies". Proceedings. Volume1. Kyiv 2010. – P. 17.22-17.25.

5. Темников В.А. Параметризация автоматического контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем по голосу / Темников В.А., Темникова Е.Л. // Вестник Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. – 2010. – №9 (151). – Ч.1. – С. 143-148.

УДК 681.518

В. І. Зацерковний, канд. техн. наук

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ У РЕГІОНАЛЬНІЙ ГІС

Розглянута можливість інтеграції просторових даних у регіональній ГІС. Розроблена математична модель інтеграції даних, яка адекватно описує міжсистемні особливості ІС і може слугувати основою для інтеграції розрізнених просторових даних.

Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується зростаючою роллю інформаційної сфери, що є сукупністю інформації, інформаційної інфраструктури, суб'єктів, які здійснюють збір, формування, поширення і використовування інформації, а також системи регулювання суспільних відносин, які виникають при цьому.

Широке застосування інформаційних технологій протягом останніх десятиліть в країні призвело до накопичення колосальних за об'ємом масивів різного роду інформації, організованої у вигляді баз даних, створених на базі сучасних програмних технологій, які об’єднують всебічну інформацію, що зібрана в різних масштабах, форматах і проекціях. Бази просторових даних територіально рознесені, різнорідні за структурою й форматами зберігання інформації, не пов'язані одна з одною каналами інформаційного обміну, що робить їх недоступними широкому колу користувачів з числа органів державної влади регіонального і міського рівнів, а також господарюючим суб'єктам регіонального і міського значення, і в багатьох випадках її навіть неможливо порівняти. Це також ускладнює процес пошуку необхідної інформації та її подальшого опрацювання, успішне завершення якого не гарантовано для кожного окремо взятого випадку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Міжнародний досвід свідчить, що інтеграція розрізнених просторових даних на державному рівні в єдину інфраструктуру просторових даних за допомогою геоінформаційних технологій дозволяє здійснити кардинальний прорив у своєчасному забезпеченні органів влади, наукових досліджень, потреб промисловості й населення достовірними й несуперечливими просторовими даними про свою територію.

Україна також приступила до створення інфраструктури просторових даних (ІПД) на основі геоінформаційних технологій, яка покликана об’єднати й забезпечити колективний доступ до просторових даних, реалізований через мережу геопорталів на трьох рівнях: державному, територіальному (рівень суб'єктів держави) і муніципальному.

Питанням інтеграції просторової інформації підприємствами й органами державної влади присвячена низка робіт вітчизняних і закордонних авторів, зокрема, роботи Р.Н. Бахтизіна, О.В. Бакланова, Ш. Джонса, О.В. Кошкарьова, Я. Массера, Х. Муракамі, Д. О'нілла, Д. Пітерса, Р. Томлінсона та ін., однак у них завданням створення математичної моделі інтеграції даних, яка адекватно описує міжсистемні особливості ІС і може слугувати основою для інтеграції розрізнених просторових даних, приділялося недостатньо уваги. У зв’язку з цим завдання розробки математичної моделі інтеграції даних, яка адекватно описує міжсистемні особливості ІС і може слугувати основою для інтеграції розрізнених регіональних просторових даних, є актуальним як у теоретичному, так і в практичному плані.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка математичної моделі інтеграції даних, яка адекватно описує міжсистемні особливості ІС і може слугувати основою для інтеграції розрізнених

просторових даних. Складність і громіздкість системи управління територіальними процесами змушує здійснювати декомпозицію задач управління на підзадачі і для вирішення кожної з них створювати спеціалізовані організації (підрозділи), які уповноважені регулювати інформаційні процеси. Інтеграція даних в єдині інформаційні ресурси й узгоджена робота з ними сьогодні є однією з актуальніших проблем для регіонального управління, оскільки технологічні процеси мають чітко виражений міжвідомчий характер.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сьогодні в Україні не сформульована єдина політика в галузі забезпечення користувачів достовірними геопросторовими даними, що суттєво ускладнює доступ до накопиченої інформації, її опрацювання і використання при оперативному вирішенні екологічних, соціальних і економічних проблем регіонів. Якщо ситуацію не змінити, то таке становище неминуче призведе до того, що цей процес стане все більш некерованим і позначиться на їх ефективному розвитку. У зв'язку з відсутністю єдиної методологічної і нормативно-правової бази, у відповідності з якою здійснюється збір даних, має місце дублювання збору однієї і тієї ж інформації різними органами державної влади і місцевого самоврядування.

Все більше організацій, що представляють різні регіони і галузі господарства, потребують оновлення, інтеграції й аналізу достовірних і різноманітних геопросторових даних та намагаються налагодити використання для цього сучасних геоінформаційних технологій (ГІТ), що оперують геопросторовими даними у цифровому форматі [1]. У свою чергу ГІТ, пропонуючи все більш досконалі апаратно-програмні рішення і нові підходи до аналізу територіальних проблем, у все зростаючих масштабах потребують достовірних і узгоджених наборів цифрових геопросторових даних. Однак ГІТ, які є найважливішим засобом інтеграції інформаційних ресурсів, використовуються головним чином для розв'язання різноманітних галузевих завдань (створення земельних, лісових, водних та інших кадастрів, організації й проведення екологічного моніторингу, оцінки й прогнозування надзвичайних ситуацій, управління муніципальними службами і міським господарством тощо). Виконання комплексних за змістом і призначенням геоінформаційних систем вкрай обмежене. При цьому, в процесі проектування і створення галузевих ГІС на одній території сьогодні використовуються різні базові картографічні основи, які зазвичай погано співставляються між собою; застосовуються неузгоджені, часом вузькоспеціалізовані і несертифіковані програмні засоби, дублюється значний об’єм інформації.

У створюваних ГІС практично не використовується аналітичний апарат, який дозволяє досліджувати структурні взаємозв’язки між соціально-економічними, виробничими і ресурсно-природними факторами, які у сукупності визначають стан і мінливість елементів просторової організації території, що важливо для забезпечення завдань сталого розвитку. Необхідність інтеграції інформаційних ресурсів регіону в рамках єдиної регіональної ГІС (РГІС) сьогодні не викликає сумнів ні у кого. Це розуміння ґрунтується на цільності об’єкта й органу управління (адміністрація регіону) при чималій кількості розрізнених поглядів на напрямки розвитку території (рис.1).

Інтеграція даних у єдині інформаційні ресурси та узгоджена робота з ними сьогодні є однією з актуальніших проблем для регіонального управління, оскільки технологічні процеси мають чітко окреслений міжвідомчий характер. У розв’язанні проблеми інтеграції інформаційних ресурсів зацікавлений кожний підрозділ, що входить до складу адміністрації регіону: управління економіки, управління архітектури і містобудування, податкова адміністрація, департаменти з управління муніципальним майном, землевпорядні організації, житлово-комунальні господарства, інженерні й дорожні служби тощо,

оскільки у повсякденній діяльності їм часто необхідно узгоджувати власні інформаційні ресурси з даними інших інформаційних систем (ІС).

Рис. 1. Функціональна схема системи регіонального управління

Незважаючи на це, кількість інтеграційних проектів у регіоні, при всій їх необхідності, вкрай мала. Причина одна – це надзвичайно складна проблема.

Розглянемо деякі аспекти цієї проблеми. При цьому визначимо інтегровану ІС як систему, яка забезпечує взаємодію як мінімум двох відносно незалежних ІС.

Головними цілями РГІС є:

– інтеграція різних існуючих ІС з метою організації міжвідомчих технологічних (інформаційних) і документарних процесів. Все це – міжвідомчі процеси, в яких на різних стадіях оформлення документів беруть участь багато організацій. Терміни оформлення затягуються у часі, організації часто не знають, які дані про об'єкт змінилися (наприклад статус об'єктів нерухомості) у суміжній організації;

– інтеграція даних з метою запобігання повторного введення інформації у різних регіональних структурах й усунення помилок невідповідності даних у різних ІС. Наприклад, загальнорегіональні дані – адресний реєстр, реєстри фізичних і юридичних осіб, картографічна основа – дозволяють у інтегрованій системі брати за основу одні еталонні дані і не займатися багаторазовим введенням даних у свої ІС при роботі з одними й тими ж документами. Такі регіональні довідники і реєстри задають еталонні масиви – єдині для різних організацій, що створює принципову можливість використовувати у своїй роботі інформацію суміжних організацій;

– підготовка інтегрованої звітності, при формуванні якої потрібно обробити різнорідні, але взаємозв'язані дані різних організацій, що їх використовують для ведення власних ІС. До важливих завдань також відноситься прагнення регіональних організацій скоротити витрати на супровід ІС: проектні, інформаційні, технічні й інфраструктурні. Інтеграційний проект можна визначити як створення і впровадження ІС для забезпечення взаємодії більше, ніж однієї відносно автономної ІС.

Серед найбільш істотних проблем інтеграції виділяються наступні.

1. Кожна інтегрована ІС є унікальною внаслідок великої складності і «замкненості» щодо місцевих умов. У кожному населеному пункті регіону існує своя насичена подіями історія розвитку систем, свої власні рішення, свої фахівці, особливості нормативної бази тощо. Тому не існує такої моделі інтегрованої системи, яку було б легко встановити у певному регіоні і швидко отримати результат. Чітких методик «як треба будувати ІС» також не існує: в кожному регіоні впровадженню передує обстеження, під час якого фахівці знайомляться з існуючим станом справ і потім розробляють концепцію створення інтегрованої ІС саме в регіоні N, яка пропонує діяти тільки так, як можна діяти саме тут, з цією структурою управління, з цим складом фахівців.

2. Інтегрована РГІС є великою, складною і унікальною системою. Отже, створюється протягом тривалого періоду часу, за який творчість депутатських і чиновницьких мас породжує велику кількість змін нормативно-правової бази. Тому створення інтегрованої РГІС доводиться вести в умовах вимог, які постійно змінюються. Зміни нормативної і директивної бази відбуваються на усіх рівнях управління, і законотворчість у нашій країні перешкоджає інтеграції. Якщо РГІС складається з багатьох підсистем, то об'єм постійних і неочікувано виникаючих змін є надзвичайно великим. Іноді, починаючи з певного масштабу складності інтегрованої РГІС, група розробників уже не встигає розвивати систему, а змушена займатися виправленням вже створених підсистем РГІС з урахуванням нових вимог. Робота з розвитку системи гальмується, а запланований ефект від інтеграції не вдається досягти. Для запобігання таким ситуаціям сформульована найважливіша вимога до інструментальних програмних засобів, які використовуються для створення РГІС, а також до інтеграційних ІС – можливість їхньої модифікації, тобто властивість, яка дозволяє вносити зміни швидко й без істотних витрат. Проблему збільшують помилки вибору архітектури системи, оскільки їх облік і «обхід» також вимагає немало зусиль. А якщо хтось з розробників за тими або іншими причинами звільняється, взагалі відбувається процес дезінтеграції.

3. Існує доволі складна проблема узгодження вже наявних у системах даних, які треба об'єднати в рамках РГІС. Окремі ІС, що підлягають інтеграції, містять великий об'єм накопичених даних. Наприклад, ДЗК і БТІ мають реєстри фізичних і юридичних осіб, що складаються з десятків і тисяч записів. Завдання інтеграції цих систем у РГІС передбачає, що інформація про всі документи повинна бути пов'язана між собою і віднесена до одного запису, наприклад, юридичної особи. Однак тут виникають певні проблеми. Може виявитися, що у кожній організації найменування однієї і тієї ж юридичної особи записані різним способом. Для прикладу розглянемо гіпотетичну фірму «Вікторія». У кожній БД, що інтегрується, вона може бути записана трьома різними способами: ТОВ «Вікторія», Товариство з обмеженою відповідальністю «ВІКТОРІЯ», ТОВ Вікторія (без лапок). Як наслідок, програма узгодження даних у РГІС створить запис не про одну юридичну особу, а про три різні. Зрозуміло, що є додаткові можливості, які полегшують інтеграцію: можливість порівнювати юридичні особи за ІПН, за іншими ознаками, виділяти організаційно-правову форму «ТОВ» трьома способами (інтелектуалізація конвертора) тощо. Однак деякі організації не завжди вводили до своєї бази ІПН для юридичної особи, а іноді й робили помилку в такому ІПН. Тоді інтеграцію даних не вдається виконати автоматично і з'являються дублікати однієї й тієї ж юридичної особи. А це означає, що й інтеграція даних повною не виходить, а інформація про юридичну особу буде «розірваною»: або землевпорядна справа, або договір оренди будуть пов'язані з різними «формами запису», тобто фактично з двома різними копіями системи. І таких різночитань в «об'єднуваних» базах даних тисячі. В результаті після об'єднання декількох баз множини даних залишаються розірваними і хтось з провідних фахівців повинен протягом декількох тижнів, а то й місяців перевіряти всі неспівпадіння і виправляти їх. Часто для цього доводиться використовувати паперові документи. Оскільки і правильні, і помилкові дані занесені до БД і вже знайшли відображення в юридичних документах, то документи стають невідповідними. А за усіма нормативними документами «якщо дані в електронному вигляді і в паперовому не співпадають, то пріоритет мають дані в паперовому документі». Ось і утворюється нульовий варіант такої інтеграції.

4. Сильно впливає на інтеграцію систем відсутність тісного оперативного зв'язку між інтеграторами і фахівцями поєднуваних систем. Іноді розробники інтегрованої РГІС у процесі її створення навіть не підозрюють, що в поєднуваних, але ще не поєднаних ІС (процес розтягнутий у часі) щось вже змінилося і це створить несподівані нові

труднощі. Наприклад, в одній із систем раптом замінили довідники. А в інтегрованій РГІС цей факт ще не відобразили за різними причинами. Ситуація ускладнюється, коли у складі РГІС є державна система, наприклад, Державний земельний кадастр (ДЗК), Державний кадастр нерухомості (ДКН), система податкової служби тощо. На рівні регіону можна довго займатися розробкою конверторів даних для обміну інформацією між системами, але постійні зміни законодавства, бюджету можуть нанівець звести всі зусилля. У цьому випадку інтегрована РГІС опиняється в ситуації, коли один з каналів зв'язку перестає працювати. У інтеграторів починаються певні складності. Те ж саме може трапитись і з системами податкової служби, системами реєстрації й іншими державними ІС. На державному рівні часто не враховують той факт, що в регіонах хтось займається інформатизацією, і не задумуються про те, що в одну мить руйнується робота РГІС.

5. У результаті інтеграції передбачається певний перерозподіл частини функцій між організаціями-учасниками, особливо у випадку реінжинірингу міжвідомчих процесів. Але коли люди збираються в колектив, їм доводиться «притиратись» один до одного. Це означає, що частині учасників доведеться чимось жертвувати заради того, щоб колектив був працездатний, перерозподілити між собою функції і відповідальність. При інтеграції РГІС у певних організацій-учасників можуть виникнути побоювання, що перерозподіл функцій виявиться не такий, як вони собі це уявляли, і це призведе, на їх думку, до посилення позицій одних організацій, а їхня організація буде відсторонена від справедливого розподілу ресурсів тощо. Тому іноді затягуються терміни узгодження, з'являються невиправдані «капризи» певних організацій, а то й саботаж інтеграційних процесів. Власне, ці сумніви небезпідставні: частина функцій разом з відповідними робочими місцями може бути легко передана до іншої організації, якщо такий перерозподіл повноважень виявиться оптимальним. Наявність інтегрованої РГІС полегшує реорганізацію: системі байдуже, де працює співробітник, головне – наявність доступу до неї.

6. Сьогодні є фірми-розробники програмних систем, які намагаються не поставляти замовникам конвертори на експорт даних у визнані формати, щоб якомога довше змушувати замовників залишатися «прихильниками» їх обмежених продуктів.

7. Розробники «зникли» (поїхали в інші країни, тощо) і корегувати підсистеми раптом стало нікому. Ця ситуація досить поширена і пов'язана в цілому з низькою розвиненістю індустрії розробки програмного забезпечення у нашій країні, наслідком чого є відносно невисокі заробітки програмістів.

Крім того, роботи зі створення інтегрованих РГІС супроводжуються чисельними ілюзіями як замовників, так і розробників. Ілюзії керівництва замовника такі: 1) інтегрована система створюється легко, невимушено і швидко; 2) створення інтегрованої РГІС – процес, не пов'язаний з істотними витратами; 3) інтегровану РГІС можна створити, не занадто переймаючись впровадженням: «є договір – виконуйте».

Типовою помилкою є випадки, коли компанії, що називають себе системними інтеграторами, тільки постачають техніку, розгортають мережі і базове програмне забезпечення, а замовник вважає, що придбав систему «під ключ». Часто замовнику вселяють думку, що придбання РГІС вирішить майнову, містобудівну або будь-яку іншу проблему. Прозріння наступає швидко – відразу після підпису актів здачі системи в експлуатацію. Часто компанії-інтегратори погано розуміють специфіку предметних галузей, ІС в яких вони намагаються інтегрувати. Як відомо, досвід є у багатьох інтеграторів, але тільки не у вирішенні питань територіального управління. На жаль, кадастрові, моніторингові, майнові, містобудівні та інші системи набагато складніше фінансових систем і систем документообігу. Компанії, які спеціалізуються на постачанні й впровадженні систем електронного документообігу впевнені, що документообіг є найбільш важливим

у завданні інтеграції систем. Компанії, які спеціалізуються на постачанні ГІС, вважають, що ГІС і цифрова карта вирішують майже всі основні проблеми інтеграції систем регіонального управління тощо. Компанії і замовники, які не мають достатнього досвіду впровадження великих систем, часто вважають, що головне – написати або купити програму. Однак це ілюзія. Головна проблема полягає у вирішенні питань та безлічі організаційних завдань під час інтеграції в РГІС.

Способів побудови інтеграційної РГІС можна назвати багато, однак всі вони є варіаціями двох – створення інтеграційного комплексу РГІС "з нуля" та інтеграція наявних ІС у РГІС.

Створення інтеграційного комплексу РГІС «з нуля». Це самий простий і найкращий спосіб, який майже завжди гарантує успіх при умові правильної побудови роботи зі створення інтегрованої РГІС. Подібна ситуація реальна для малих і деяких середніх населених пунктів, в яких серйозні ГІС не впроваджувались, але є бажання керівництва адміністрації населеного пункту (району) впровадити відразу інтегровану систему, минаючи етап розробки самостійних ІС у різних організаціях. У цьому випадку відсутні дані, які потрібно вивіряти й узгоджувати; відсутні різнорідні системи, які потрібно поєднувати між собою; відсутнє застаріле обчислювальне і мережеве обладнання, яке для великої системи зазвичай доводиться змінювати, тобто відсутні обтяжуючі фактори. Система «з нуля» може відразу стати правильною, якщо буде розвиватись послідовно. Це означає, що ядро системи може будуватись як єдиний для всіх споживачів реєстр даних, і всі основні процеси обміну інформації закладаються системно. Якщо до роботи додатково долучиться компанія розробників, що має великий досвід, то результат може перевершити всі очікування. Розробка інтегрованої РГІС у цьому випадку навряд чи виявиться дешевшою, ніж в інших випадках, однак економія часу на створення виразиться цілком реальною і, отже, результат від використання буде очевидним.

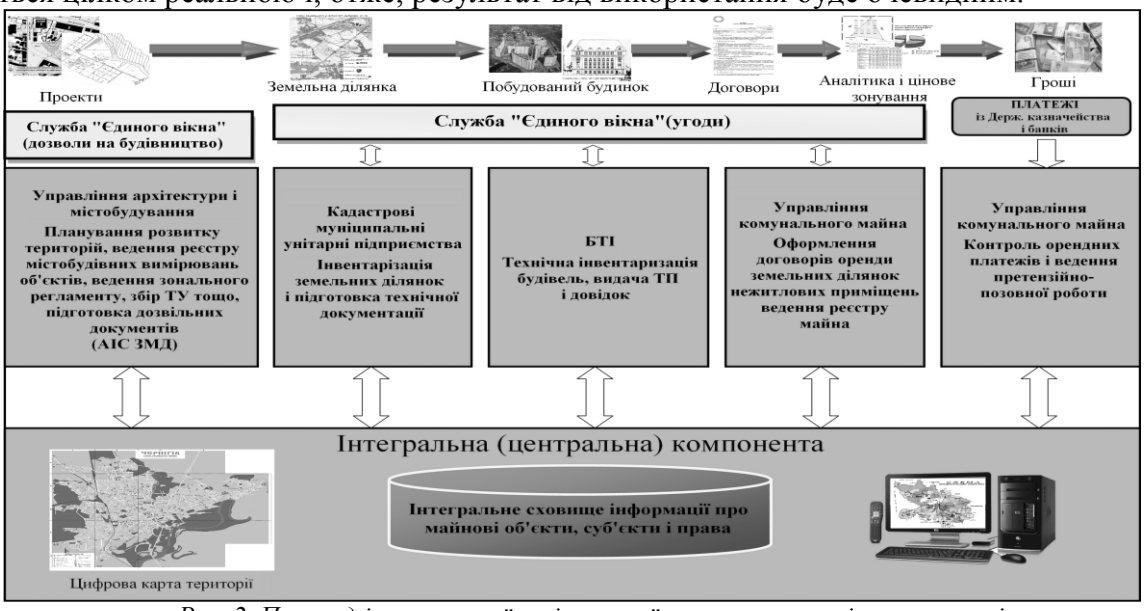


Рис. 2. Приклад інтегрованої регіональної системи у галузі нерухомості

Для створення інтегрованої РГІС «з нуля» найкращий варіант у всіх відношеннях – створення централізованої системи (рис. 2) з наступним розвитком її частин у спеціалізованих предметних галузях (ДЗК, БТІ, ЖКХ, моніторинг тощо) шляхом створення на центральному сервері предметних підсистем, уже пов'язаних з центральним ядром за допомогою єдиних регіональних довідників і реєстрів.

Не менш важливим фактором успіху є централізація всіх рішень у галузі інформатизації.

Інтеграція вже наявних систем у РГІС. Цей варіант має дуже багато версій реалізації і зустрічається найчастіше. Зазначений підхід є наслідком того, що в адміністраціях регіонів роботи зі створення інтегрованої системи не були організовані з самого початку або ідея інтеграції не підтримувалась, тому різні підрозділи розвивались своєрідно, і кожна організація будувала власну ІС, не турбуючись про те, що в майбутньому можлива інтеграція з іншими системами. Це «розподілене існування» породжує величезні масиви даних, які або недостатньо узгоджені між собою, або суперечать один одному. Дані подаються у різних форматах, по-різному ідентифікуються й адресуються. Відносна достовірність даних є загадкою для більшості учасників процесу, тому при інтеграції виникає проблема щодо узгодження («ув'язування») десятків тисяч записів у декількох базах даних, причому одночасно в різних підсистемах. Ніхто не готовий пожертвувати своїми даними, на накопичення яких пішли роки, та які вже «прописані» в тисячах юридичних документів (їх важко виправити). Ось і виходить, що з усіх наявних баз даних жодна не є еталонною. Більш того, дані всіх *N* баз вже містяться в юридично закріплених документах, і аніякі дані – (навіть не еталонні) – руйнувати не можна. Таким чином, інтеграція вже існуючих ІС в єдиний інформаційний комплекс (РГІС) пов'язана з вирішенням великої кількості проблем. Фактично у порівнянні зі створенням нової інтегрованої РГІС завдання ускладнюється на порядок, а то й взагалі не може мати вдалого вирішення за різними причинами. Аналіз проблемної області, цілей моделювання, а також дискретна природа об'єкта моделювання свідчать про ефективність застосування на високому рівні абстракції теоретико-множинного апарату для побудови математичної моделі інтеграції даних [2]. Базовим поняттям пропонованої моделі є поняття інформаційного об'єкта (ІО). Зазвичай ІО відповідають сутностям предметної області, кожний об'єкт характеризується значеннями заданого набору атрибутів. Тому ІО можна визначити як множину упорядкованих пар:

$$x = \{<a_1,d_1>,<a_2,d_2>,...,<a_n,d_n>\},\ a_i \neq a_j,\ i_i \neq j_j,\ i,j \in [1,n], \qquad (1)$$

де *a* – ім'я атрибуту, *d* – значення атрибуту.

У цьому випадку під ІС можна вважати певну інформаційну схему, яка описує характеристики об'єктів, що входять до складу системи, і множину ІО, і які задовольняють даній схемі. Під інформаційною схемою будемо розуміти кортеж $S =< A,D,T,\varphi,\delta >$, де $A = \{a_1,a_2,...,a_n\}$ – множина атрибутів інформаційних об'єктів; $D = \{D_1,D_2,...,D_m\}$ – родина множин можливих значень атрибутів; $T = \{t_1,t_2,...,t_l\}$ – множина типів об'єктів; $\varphi : A \to D$ – відображення, що ставить у відповідність кожному атрибуту множину його можливих значень; $\delta : T \to 2^A$ – відображення, що задає для кожного типу множину його елементів.

ІС, що побудована за схемою *S*, будемо називати кортеж $U^S =< S,U,\gamma >$, де $S =< A,D,T,\varphi,\delta >$ – інформаційна схема; $U = \{U_1,U_2,...,U_n\}$ – множина ІО; $\gamma : U \to T$ – відображення, що ставить у відповідність ІО його тип, і для будь-якого ІО виконані умови:

– множина атрибутів відповідає типу $\{a : < a,d > \in x\} \in \delta(\gamma(x))$;

– для будь-якої пари $< a,d > \in x$ маємо $d \in \varphi(A)$.

Зміну ІС задамо відображенням $F : W^S \to W^S$, де W^S – множина всіх ІС, що задовольняють схемі *S*. Задамо множину ІС $U^{\bar{S}} = \{U_1^{s^1},U_2^{s^2},...,U_N^{s^N}\}$, де $U_i^S =< S_i,U_i,T,\gamma_i >$ і $S_i =< A_i,D_i,T_i,\varphi_i,\delta_i >$, і введемо позначення:

$$S = \{S_1,S_2,...,S_N\},\ \bar{A} \bigcup_{1\le i\le N} A_i,\ \bar{D} \bigcup_{1\le i\le N} D_i,\ \bar{T} \bigcup_{1\le i\le N} T_i,\ \bar{U} \bigcup_{1\le i\le N} U_i \qquad (2)$$

Множина ІС $U^{\overline{S}}$ є несуперечливою, якщо існують $\overline{\varphi}:\overline{A}\to\overline{D}$, $\overline{\delta}:\overline{T}\to 2^{\overline{A}}$, $\overline{\gamma}:\overline{U}\to\overline{T}$, які є розширенням відповідних відображень $\varphi_i,\delta_i,\gamma_i (1\le i\le N)$.

Якщо множина ІС $U^{\overline{S}}$ несуперечлива, то ІС $U^{'}=<\overline{S},\overline{U},\overline{\gamma}>$, де $S=<\overline{A},\overline{D},\overline{T},\overline{\varphi},\overline{\delta}>$ будемо називати інтегрованою на $U^{\overline{S}}$ (рис. 3).

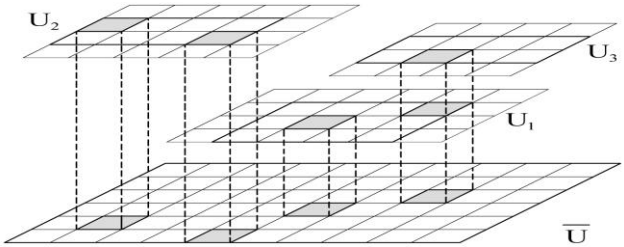


Рис. 3. Розподіл об'єктів в системі U

Зазвичай ІС повинні задовольняти більш суворим вимогам, ніж відповідність певній схемі. Такі вимоги зазвичай накладаються різними семантичними залежностями, що визначають, які стани ІС є припустимими, і використовують для узгодженої зміни даних в ІС. Таким чином, мета інтеграції полягає у збереженні відповідності множині ІС заданому набору семантичних залежностей. Семантичною залежністю, заданою на U^S, будемо називати *c*-предикат, заданий на W^S. Множина семантичних залежностей $C=\{c_1,c_2,...,c_p\}$ є несуперечливою, якщо існує ІС U^S така, що $c_i(U^S)$ для усіх $1\le i\le p$. На практиці залежність між ІС необхідно зводити до залежностей між типами елементів, що входять до них. Нехай множина всіх можливих ІО X_i задовольняє схемі і має набір атрибутів, що відповідають типу t_i:

$$X_{ti}=\{x: x=\{<a_1,d_1>,<a_2,d_2>,...,<a_n,d_n>\}\&$$
$$\&(A^x=\delta(t_i))\&(\forall a_i\in A^x, a_i(x)\in\varphi(a_i))\}. \quad (3)$$

Для практики, найбільш характерними є декілька типів залежностей для реальних зв'язків між інформаційними об'єктами, які будуть розглянуті нижче. Семантичною залежністю будемо називати *T*-залежність, якщо для об'єктів $x_i\in X_{t_i}$, $x_j\in X_{t_j}$ вона визначається предикатом $\alpha(x_i x_j)\alpha\ \ \beta(x_i x_j)$. Такого виду залежність дозволяє тільки перевіряти наявність або відсутність порушення залежності і не надає механізму корекції множини ІС у відповідності з даними обмеженнями. *T*-залежність між типами $t_i,t_j\in T$ будемо називати *V*-залежністю $(t_i\xrightarrow{V,\alpha,\beta}t_j)$, якщо існує відображення $V: X_{t_i}\times X_{t_j}\to X_{t_j}$ таке, що виконана умова: $\alpha(x_i,x_j)\alpha\ \ \beta(x_i,V(x_i,x_j))$.

Існує відображення *V*, що дозволяє отримувати, виходячи зі значень типу t_i і t_j, нове значення типу t_j, яке буде задовольняти заданому предикату β.

Основною проблемою, що виникає при відображенні *V*, є наявність циклічних послідовностей, які можуть привести до нескінченної рекурсії при корегуванні залежних об'єктів. У роботі [4] доведено, що використання *V*-залежностей не гарантує наявність автоматичної процедури узгодженого корегування множини ІС.

Множину атрибутів $K(t_i)\subseteq\delta(t_i)$ будемо називати ключем для типу $t_i\in T$, якщо $\forall x^{'}\in U$ виконано: $\{x: x\in U, a(x)=a(x^{'}),\forall a\in K(t_i)\}\Rightarrow\{x\}$. Ключові атрибути $a\in K(t_i)$ однозначно визначають будь-який інформаційний об'єкт з множини *U*.

А-залежністю $(t_i \xrightarrow{A'A''} t_j)$ називають *V*-залежність спеціального виду: нехай $A' \subset K(t_i),\ A''\ I\ K(t_j) = \varnothing$, тоді

$$\alpha(x,y) \equiv \forall a \in A', a(x) = a(y),$$
$$\beta(x,y) \equiv \forall a \in A'', a(x) = a(y),$$
$$V(x,y) = \{a_1, d_1 >, < a_2, d_2 >, ..., < a_p, d_p >\}, \qquad (4)$$

де

$$d_i \equiv \begin{cases} a_i(x), & якщо\ a_i \in A'' \\ a_i(y), & якщо\ a_i \notin A'' \end{cases}.$$

Для будь-якої несуперечливої множини А-залежностей $C = \{c_1, c_2, ..., c_p\}$ існує процедура, яка дозволяє скорегувати ІС U^S, використовуючи кінцеву послідовність відображень V_i, що відповідають *T*-залежностям з *C* таким чином, що U^S буде задовольняти С. Ключовий атрибут $a \in \delta(t_j)$ назвемо залежним (запозиченим) для t_j, якщо існують A', A'' такі, що $a \in A''$ і $t_i \xrightarrow{A'A''} t_j$. У протилежному випадку атрибут $a \in \delta(t_j)$ будемо називати вільним (власним) атрибутом. Атрибути інформаційних об'єктів $x \in U^S$ можуть бути віднесені до однієї з 3 груп, що не перетинаються: ключові, вільні і залежні атрибути. Під активною інформаційною моделлю (АІМ) розуміють кортеж $< S, U^S, C, F >$, де *S* – інформаційна схема, U^S – ІС зі схемою *S*. *C* – множина семантичних залежностей, $F : W^S \to W^S$ таке відображення, що $\forall U^S \in W^S$, $\forall c \in C$, виконано $c(F(U^S))$. У цьому випадку для будь-яких *U,S,C,* де *C* – несуперечлива множина *A*-залежностей, можна побудувати активну модель $< S, U^S, C, F >$, де відображення *F* має вигляд:

$$F(\{x_1, x_2, ..., x_n\}) = \{y_1, y_2, ..., y_n\},\ де\ y_i = \{a_1^i, d_1^i >, < a_2^i, d_2^i >, ///, < a_{k_i}^i, d_{k_i}^i >\},$$

$$d_j^i = \begin{cases} a_j^i(x_k), & якщо, \quad \exists \exists x_k, c_1 \in C, \quad виду\ \gamma(x_k) \xrightarrow{A'A'''} \gamma(x_i), \\ & такі, що\ \alpha_1(x_k, x_i)\ \&\ a_j^i \in A''; \\ a_j^i(x_k), & інакше. \end{cases} \qquad (5)$$

На практиці під час інтеграції даних з ІС виникає питання: як мінімізувати залежності між ІС без втрати цілісності, коректності і доступності інформації. Для вирішення цієї задачі необхідно оцінити ступінь залежності між системами. Ступенем залежності типу $t_i \in \overline{T}$ від інформаційної системи U_j будемо вважати *R(t*$_i$*,U*$_j$*)* – кількість залежностей $c \in C$ виду $t_i \to t$, де $t \in T_j$. Ступінь залежності між ІС U_i та U_j визначається наступним:

$$R(U_i, U_j) = \begin{cases} \sum_{t \in T_i} R(t, U_j), & \text{якщо i} \neq \text{j} \\ 0, & \text{якщо i} = \text{j} \end{cases}. \qquad (6)$$

Як показано в роботах [2, 4], при розподілі незв'язаних типів $T' = \{t_1, t_2, ..., t_k\} \subseteq \overline{T}$ за ІС з $\overline{U^S}$ мінімальне значення буде досягнуто при їх розподілі за $U^S_{t_1}$, $U^S_{t_2}$, …, $U^S_{t_k}$, таких, що максимальне значення *k*-мірної матриці *G*, де кожний елемент $G[i_1, i_2, ..., i_k] = \sum_{j=1}^{k} \sum_{U_l \in U^S} R(t_j, U_{t_j})\ \in G[i_1', i_2', ..., i_k']$.

Побудована модель може слугувати основою для конкретизації семантичних залежностей і застосування технології інтеграції даних обраної предметної області (рис. 4).

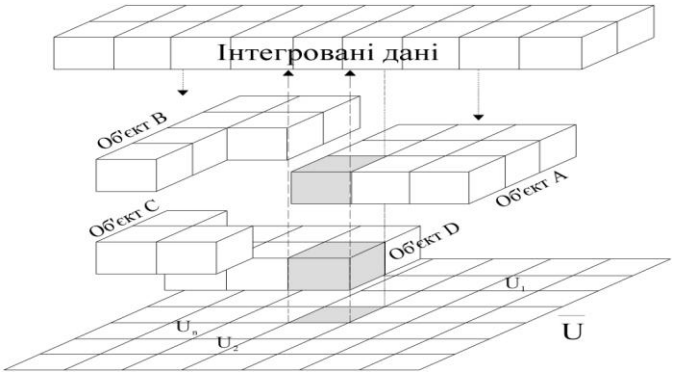


Рис. 4. Взаємодія інформаційних об'єктів

На наступному етапі моделювання знижується рівень абстракції моделі, виділяються основні класи об'єктів єдиного інформаційного простору, для яких визначається структура: властивості, поведінка і взаємне відношення. Будується багаторівнева об'єктна схема інтегрованої системи, в якій базовим класом об'єктів обліку є клас «ІО». Нащадками класу «ІО» є класи і підкласи («Реальний об'єкт», «Віртуальний об'єкт», «Класифікатор» тощо), що містять статичні елементи, які характеризують, головним чином, семантичні особливості класу і динамічні елементи для збереження історії зміни відповідних параметрів. Подальше розширення об'єктної схеми відбувається в залежності від специфікації обраної предметної області.

Для подання всіх ІО може використовуватись мова розмітки XML. Перетворення ІС, опис інформаційної схеми системи можуть задаватись відповідними XLST-перетвореннями, що дозволяє задавати складні перетворення документів на основі компактних декларативних програм. Відомі механізми корегування залежних атрибутів об'єкта інформаційної системи у відповідності з заданою множиною А-залежностей [3].

Висновки даного дослідження

Математична модель інтеграції даних, побудована таким чином, адекватно описує міжсистемні особливості ІС і може слугувати основою для інтеграції розрізнених просторових даних.

Список використаних джерел

1. Бурачек В. Г. Основи ГІС / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний. – Ніжин: ТОВ Видавництво «Аспект-Поліграф», 2011. – 512 с.

2. Воробьева М. С. Математическое моделирование и технологии интеграции данных в учетных информационных системах: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» / М. С. Воробьева. – Тюмень, 2006. – 20 с.

3. Грэхем Иан. Объектно-ориентированные методы: Принципы и практика = Object-Oriented Methods: Principles & Practice / Иан Грэхем. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2004. – 880 с.

4. Самарский А. А. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М.: Физматлит, 2005. – 320 с.

УДК 004.94

Ю.О. Олійник, асистент

Національний технічний університет України «КПІ», м.Київ, Україна

ВИБІР ЗАСОБІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ З СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНИМИ ФІНАНСАМИ

Досліджено можливості засобів імітаційного моделювання щодо вирішення завдань середньострокового бюджетного планування та інтеграції з системою управління державними фінансами. Формалізовано вимоги до засобів імітаційного моделювання. Проведено аналіз відповідності засобів імітаційного моделювання вимогам системи управління державними фінансами. Створено та обґрунтовано архітектуру програмного рішення з інтеграції засобів імітаційного моделювання та системи управління державними фінансами. Показано, що одним з найкращих інструментальних засобів імітаційного моделювання для вирішення завдань середньострокового бюджетного планування є AnyLogic, а серед безкоштовних програмних засобів може бути використаний Repast.

Постановка проблеми

Наша країна переходить на середньострокове бюджетне планування державного та місцевих бюджетів. У рамках впровадження системи управління державними фінансами (СУДФ) [3] необхідно розробити методології сценарного середньострокового бюджетного планування. Міністерством фінансів сформовано ряд вимог щодо сценарного бюджетного планування та формування прогнозів:

- розробка методології сценарного середньострокового бюджетного планування;
- СУДФ повинна забезпечувати введення, обробку, зберігання макроекономічних та бюджетних даних та індикаторів, прогнозних показників, планів, які надходять протягом року;
- СУДФ повинна забезпечувати введення інформації (електронні таблиці, текстові документи тощо) за допомогою автоматизованих процедур імпортування документів;
- СУДФ повинна підтримувати сценарний розрахунок даних на підставі даних внутрішньої інформаційно-аналітичної бази та бази прогнозів;
- СУДФ повинна реєструвати або формувати (генерувати) кілька версій прогнозів та забезпечувати їх порівняльний аналіз;
- СУДФ повинна надавати можливість окремого прогнозування доходів, видатків, кредитування та фінансування зведеного та державного бюджетів (у розрізі відповідних бюджетних класифікацій) на три роки, наступні за проектним;
- СУДФ повинна підтримувати прогнозний розрахунок місцевих бюджетів за визначеною структурою та консолідацією за рівнями бюджетів;
- користувачі повинні працювати з СУДФ лише через веб-інтерфейс;
- для обміну даними між СУДФ та іншими системами повинні бути розроблені відповідні веб-сервіси (у форматі XML).

Реалізацію сценарного бюджетного планування пропонується виконати засобами імітаційного моделювання (далі ІМ), а формування прогнозів – за рахунок інтелектуального пошуку корисної інформації (Data Mining). У роботі Олійника Ю. О. було обґрунтовано доцільність МГУА для прогнозування бюджетних показників [2]. Дослідження застосування інших засобів Data Mining винесена за рамки даного дослідження.

Цілі дослідження

Дослідити можливості інтеграції інструментальних засобів ІМ з СУДФ для вирішення завдань сценарного середньострокового бюджетного планування. Створити архітектуру інтеграції програмного рішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У сучасному імітаційному моделюванні сформувалися і найбільш широко застосовуються три основні підходи: дискретно-подійне моделювання, системна динаміка і агентне моделювання. Слід зазначити, що якщо традиційні підходи в імітаційному моделюванні практично не отримали суттєвого розвитку за останні 40 років, то в розробці програмних систем відбулися революційні зміни, які радикально змінили принципи роботи зі складними системами. У Томашевського В.М. [12] докладно описано програмні комплекси iThink та Stella, інтерактивний пакет для моделювання Simulink, об'єктно-орієнтований пакет SIMPLE++, мови GPSS, SIMSCRIPT та інші. У роботі Нгуен Ши Данга наводиться детальний огляд чотирьох систем ІМ – Process Charter, Powersim, Ithink та Extend+BPR [4]. У роботі [5] наводиться детальний огляд більше ніж 50-ти систем ІМ за такими критеріями: типові області та основні ринки для застосування, графічні можливості та можливості програмування, типи моделювання, що підтримуються та інше. У роботі [6] проведено дослідження засобів ІМ для бюджетної системи України та обґрунтовано вибір засобу ІМ, орієнованого на системну динаміку. У той же час у даних роботах не проведено детального аналізу щодо можливостей інтеграції систем ІМ з системами класу СУДФ.

Виклад основного матеріалу

Ефективне вирішення завдань середньострокового бюджетного планування державного та місцевих бюджетів ґрунтується на основі економіко-математичних методів і моделей. Згідно з аналізом останніх досліджень для вирішення цих завдань найкраще підходять засоби ІМ, орієнтовані на системну динаміку, крім того можуть бути використані засоби, що підтримують агентне моделювання.

Виходячи з постановки проблеми та аналізу останніх досліджень, наведемо вимоги до інструментальних засобів ІМ:

- підтримка сценарного підходу;
- підтримка системної динаміки або агентного моделювання;
- бажана можливість працювати через веб-інтерфейс;
- бажана можливість взаємодії через веб-сервіси;
- інтеграція з внутрішньою інформаційно-аналітичною базою (ІАБ) та базою прогнозів (далі БП) СУДФ;
- можливість завантаження даних з електронних таблиць, текстових документів тощо.

Опис джерел даних, що надходять до СУДФ. Великий обсяг інформаційних показників буде продукуватись у СУДФ спеціалістами Міністерства фінансів України та місцевих фінансових органів, розпорядниками та одержувачами бюджетних коштів, Державного казначейства України, Головної контрольно-ревізійної служби. Крім того, для забезпечення всіх функцій СУДФ необхідно поповнювати даними з інших джерел, наприклад, макроекономічними, прогнозними показниками соціально-економічного розвитку на середньострокову перспективу.

Також необхідна інтеграція з зовнішніми системами, такими як банківська система (СЕП), «Управління державним боргом» та іншими.

Опис програмної архітектури СУДФ. Основу СУДФ на рівні державного та місцевих бюджетів складають системи класу «Казна», що експлуатуються на рівні державного казначейства та АІС «Держбюджет» та ІАС «Місцеві бюджети», що експлуатуються на рівні Міністерства фінансів та місцевих фінансових органів. Для централізованого доступу передбачається впровадження веб-порталу як єдиної точки входу та функціонування, а також аналітичної платформи, що включає формування сховища даних усіх показників. Архітектура розробленого рішення для прогнозування показників уже розглядалась у роботі Олійника Ю.О. [2].

Обґрунтування вибору інструментальних засобів ІМ. За результатами аналізу останніх досліджень та вимог до засобів ІМ вибрано 5 продуктів для дослідження можливості інтеграції з СУДФ: iThink / Stella, AnyLogic, Vensim, PowerSim, Repast.

Stella / iThink. Програмні комплекси Stella і iThink підтримують дискретно-подійний та системно-динамічний підходи моделювання. В зазначених системах моделюються фінансові потоки, які завдяки візуальному інтерфейсу представлені у вигляді наочної схеми та графічних діаграм [5]. Пакети можна використовувати в єдиному комплексі з електронними таблицями і базами даних завдяки можливості імпорту-експорту даних до файлів формату CSV, XLS. Це забезпечується режимом DDE (dynamic data exchange), який забезпечує обмін даними в реальному масштабі часу.

Переваги:
- візуалізація моделювання;
- підтримка авторського моделювання;
- розвинені засоби аналізу чутливості, що забезпечують автоматичне багаторазове виконання моделі з різними вхідними даними;
- підтримка безлічі форматів вхідних даних;
- детальна навчальна програма та документація;
- версії для Windows та Macintosh.

Недоліки:
- складна система позначень Systems Dynamics;
- висока вартість продукту.

Vensim. Пакет Vensim являє собою інструмент для візуального моделювання, що підтримує розробку концептуальної моделі, документування, власне моделювання, аналіз результатів та оптимізацію моделей динамічних систем. Це простий і гнучкий засіб для побудови імітаційних моделей систем з причинно-наслідковими зв’язками, фондами і потоками. Пакет має графічний редактор для побудови моделей, а також розвинені засоби візуалізації поведінки моделі. Інтеграція з іншими системами (C/C++ API, Java API, VB API, ODBC) відбувається через механізм DLL.

Переваги:
- простий графічний інтерфейс;
- візуалізація моделювання;
- безліч вбудованих функцій і можливостей, які полегшують створення моделі;
- версії для Windows та Macintosh.

Недоліки:
- висока вартість продукту;
- невелика кількість вбудованих математичних функцій.

PowerSim. Powersim призначений для побудови неперервних і частково дискретних моделей. Фактично дозволяє «малювати» динамічні моделі (створювати діаграми), тобто здійснювати візуальне моделювання. Powersim Constructor (PSC) має ще одну перевагу – можливість обміну даними з різними застосуваннями. Таке управління здійснюється за допомогою макросів, що реалізують механізм динамічного обміну даними (DDE). Powersim інтегрується з ERP фірми SAP. У Powersim можлива інтеграція з реляційними БД, Microsoft Excell, C++, VB, ASP, HTML API, існує SDK [6].

Переваги:
- безліч вбудованих функцій і можливостей;
- візуалізація моделювання;
- підтримка багатокористувацьких моделей для колективної роботи (Simulation Engine Server);
- засоби обробки масивів спрощують створення моделей з подібними компонентами;
- версії для Windows та Macintosh.

Недоліки:
- складна система позначень Systems Dynamics;
- обмежена підтримка дискретного моделювання;
- для роботи моделей необхідна установка PSC;
- обмін інформацією між програмними застосуваннями і PSC уповільнює моделювання і підвищує ризик псування або втрати даних;
- існують такі моменти в імітаційному моделюванні, які PSC реалізуються з труднощами або не реалізуються взагалі;
- висока вартість продукту.

Repast. The REcursive Porous Agent Simulation Toolkit (Repast) [8] є провідним відкритим і вільним джерелом бібліотек для масштабного агентного моделювання.

Repast має складний вбудований планувальник, який підтримує дискретно-подійне моделювання. Repast дозволяє використовувати великий набір комунікаційних механізмів з різноманітними топологіями взаємодії, включає повний набір утиліт для зберігання і відображення стану агентів. У систему також включені утиліти для автоматичної інтеграції як з комерційними, так і вільно доступними географічними інформаційними системами (ГІС). Repast базується на мові Java та платформі Microsoft.NET і на скриптах Python, він повністю об'єктно-орієнтований. У Repast можлива інтеграція з Java API, C++ API, існує SDK.

Переваги :
- візуалізація моделювання;
- кросплатформений;
- безкоштовний продукт.

Недоліки :
- відсутність підтримки системної динаміки.

AnyLogic. AnyLogic дозволяє робити не тільки системно-динамічне моделювання, але також агентне, дискретно-подійне та їх комбінацію. AnyLogic фактично дозволяє «малювати» динамічні моделі (створювати діаграми), тобто здійснювати візуальне моделювання [7].

Модель в AnyLogic наочна та інтерактивна, набір підтримуваних AnyLogic графічних інструментів досить різноманітний. Модель в AnyLogic є Java-додатком і може бути розміщена в мережі як аплет. Відмінність AnyLogic від інших існуючих рішень у тому, що модель повністю самостійна і не потребує встановлення на веб-сервер спеціального програмного забезпечення. Це гнучкий інструмент імітаційного моделювання, що пропонує великий арсенал засобів опису структури, поведінки і даних модельованої системи, а також можливість додати вираз, оператор, функцію або бібліотеку на мові Java. AnyLogic – система з відкритою архітектурою. Моделі, побудовані в AnyLogic, можуть працювати з будь-яким офісним або корпоративним ПЗ, а також з користувацькими модулями, написаними на різних мовах. Модель може динамічно читати і зберігати дані в електронних таблицях, базах даних, системах планування корпоративних ресурсів та управління взаємовідносинами з клієнтами, а також бути вбудованою у виробничий або контур управління (Java API, Excel/Access, SDK, ODBC, JDBC).

Переваги:
- безліч вбудованих функцій і можливостей;
- не потребує встановлення на веб-сервер спеціального програмного забезпечення;
- візуалізація моделювання;
- підтримка авторського моделювання;
- підтримка 2D і 3D анімації;
- кросплатформений.

Недоліки:
- висока вартість продукту;

- високі вимоги до апаратного забезпечення.

Оцінка відповідності засобів ІМ вимогам СУДФ. Для оцінки відповідності систем імітаційного моделювання вимогам СУДФ запропоновано бальне оцінювання. Ваги показників визначаються за 5-ти бальною шкалою. Для показника «Можливість працювати через веб-інтерфейс» береться максимальна оцінка 2 бали, оскільки це обов'язкова вимога. Показник «Підходи, що підтримуються» визначає підходи моделювання, що підтримує засіб ІМ. Показник «Інтеграція з ІАБ та БП СУДФ» визначає можливості програмних інтерфейсів інтеграції, включаючи веб-сервіси. Показник «Можливість завантаження з електронних таблиць та текстових документів» визначає можливості засобу ІМ завантажувати електронні таблиці та документи.

Таблиця 1

Відповідність систем імітаційного моделювання вимогам СУДФ

Інструментальні засоби імітаційного моделювання	Підходи, що підтримуються	Інтеграція з ІАБ та БП СУДФ	Можливість завантаження з електронних таблиць та текстових документів	Можливість працювати через веб-інтерфейс	Підсумкова оцінка
iThink / Stella	3	2	4	0	9
AnyLogic	5	5	5	2	17
Vensim	3	4	5	0	12
PowerSim	3	5	5	2	15
Repast	3	3	4	2	12

За результати оцінювання найвищу оцінку отримав AnyLogic, що має широкі засоби моделювання, візуалізації, інтеграції, підтримує найбільшу кількість підходів моделювання. Особливістю PowerSim є наявність розроблених засобів інтеграції з продуктами SAP, що є значною перевагою під час реалізації СУДФ на платформі промислової ERP-системи. Vensim та Repast отримали однакову кількість балів. Але враховуючи безкоштовність Repast, він є більш привабливим засобом ІМ, що може легко бути інтегрований у СУДФ засобами API та SDK.

Обґрунтування вибраної програмної архітектури з інтеграції засобів ІМ та СУДФ. Взаємодію засобів ІМ з СУДФ пропонується реалізувати через інтеграцію з такими програмними компонентами архітектури [3], як :

- інтеграційна платформа призначена для забезпечення обміну між всіма модулями СУДФ;
- портальна платформа, що забезпечує єдине вікно для роботи з СУДФ;
- сховище даних аналітичної платформи, що буде містити всі очищені та готові для аналізу дані;
- модуль прогнозування та аналізу.

Виходячи з аналізу можливостей засобів ІМ та архітектури [3], наведемо наступні програмні інтерфейси для інтеграції ІМ та компонент СУДФ:

- зі сховищем даних на рівні обміну даними через інтерфейси ODBC та JDBC;
- з портальною платформою на рівні Java аплетів та/чи ASP та HTML;
- з інтеграційною платформою на рівні інтерфейсів ODBC, JDBC та програмних інтерфейсів API;
- з модулем прогнозування та аналізу на рівні програмних інтерфейсів API та на рівні ODBC та JDBC.

Архітектура інтеграційного рішення з деталізацією програмних інтерфейсів наведена на рисунку 1. На даний момент жодний з вищеперерахованих засобів ІМ не підтримує SOA архітектуру. Тому реалізацію інтеграції на рівні веб-сервісів необхідно проек-

тувати як реалізацію сценаріїв для інтеграційної платформи, а також і доопрацювати можливості засобів ІМ щодо підтримки SOA архітектури.

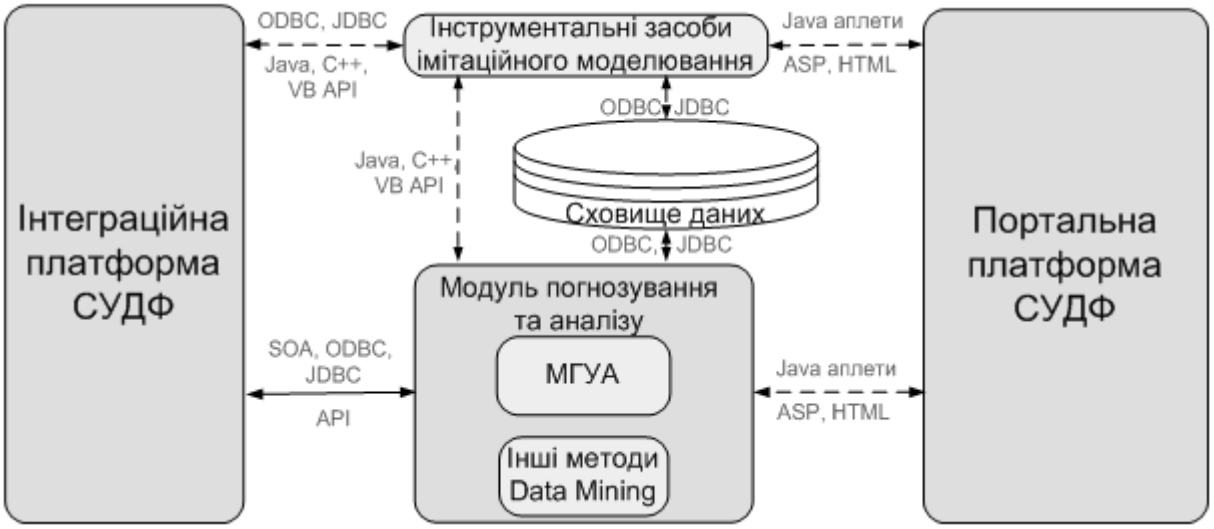


Рис. 1. Програмна архітектура інтеграції засобів ІМ та СУДФ

Висновки

Формалізовано вимоги до засобів ІМ для вирішення завдань середньострокового бюджетного планування та інтеграції з СУДФ.

Проведено аналіз засобів ІМ та визначено, що основними можливостями для інтеграції є програмні інтерфейси API, Java-аплети, ASP та інтеграція з базами даних на рівні інтерфейсів ODBC та JDBC.

Проведено оцінку відповідності засобів ІМ вимогам СУДФ та показано, що одним з найкращих інструментальних засобів імітаційного моделювання для вирішення завдань середньострокового бюджетного планування є AnyLogic. Цей засіб кросплатформений, має широкі можливості моделювання та засоби інтеграції з іншими системами. Серед безкоштовних програмних засобів Repast визначається широкими можливостями інтеграції та агентного моделювання.

Створено та обґрунтовано архітектуру програмного рішення з інтеграції засобів ІМ та СУДФ.

Перспективами подальших робіт є дослідження ефективності застосування агентних моделей для вирішення завдань середньострокового бюджетного планування та інших завдань бюджетного планування та аналізу. Крім того, необхідно провести дослідження реалізації взаємодії засобів ІМ з підтримкою системної динаміки та агентного моделювання через механізм веб-сервісів.

Список використаних джерел

1. Олейник Ю.А. Применение метода группового учета аргументов с оператором сдвига для прогнозирования финансовых показателей местных бюджетов/ Олейник Ю.А., Томашевский В.Н., Виноградов А.Н. // Проблемы управления и информатики. К.: Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2008. – № 3. – С.143-151.

2. Олійник Ю.О. Прогнозування за методом адаптивного МГУА з застосуванням технології розподілених обчислень / Ю.О. Олійник, О.М. Виноградов, К.М. Красовський // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій: матеріали Міжнародної наукової конференції (ISDMIT’2007) (14-18 травня 2007 року, Євпаторія). Том 2. – Херсон: Видавництво Херсонського морського інституту, 2007. – С. 78-80.

3. Олійник Ю.О. Формування державних механізмів розвитку інформатизації на рівні управління державними фінансами / Ю.О. Олійник // Интеллектуальные системы принятия

решений и проблемы вычислительного интеллекта: материалы международной научной конференции ISDMCI'2011 (Евпатория, 2011). Том 2. – Херсон: ХНТУ, 2011. – С. 370-374.

4. Нгуен Ши Данг Выбор средства имитационного моделирования для бюджетной системы Украины / Нгуен Ши Данг // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. – 2006. – Випуск 3. – С. 198-211.

5. Сайт компанії ISEE Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.iseesystems.com/Softwares/Business/ithinkSoftware.aspx.

6. Сайт компанії Powersim Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.powersim.com/main/products___services/powersim_products.

7. Сайт компанії XJ Technologies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.xjtek.ru/anylogic/overview.

8. Сайт продукту Repast [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://repast.sourceforge.net/docs.html.

9. Сайт системи Vensim [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.vensim.com/documentation.html.

10. Simulation Software Survey [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation.html.

11. Сравнение четырех пакетов имитационного моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://masters.donntu.edu.ua/2006/fvti/strelets/library/sravnenie_4_paketov_imit_simulation.htm.

12. Томашевський В.М. Моделювання систем / Томашевський В.М. – К.: Видавнича група BHV, 2005. – 352 с.: іл.

УДК 004.94:519.86

О.В. Мороз, канд. фіз.-мат. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СИНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЙОГО КОМП'ЮТЕРНА ПІДТРИМКА

Розглянуто концептуальні питання моделювання синергетичної економіки. Запропоновано відповідно до принципів загальної динаміки Шумпетера динамічна модель, що поєднує в одних рамках динаміку мікроскопічних процесів і макроскопічних параметрів. Досліджено шляхом обчислювального експерименту вплив на біфуркаційну динаміку змінного у часі параметру, що відповідає за обмеження вільного зростання популяції в еволюційній моделі Ріккера.

Постановка проблеми

На відміну від традиційної теорії економічної динаміки, в якій ринкові процеси розглядаються як суто лінійні і стійкі, сучасні підходи до аналізу економічної динаміки виходять з того, що лінійність і стійкість еволюційних економічних процесів мають не універсальний, а досить обмежений характер, і базуються на принципах синергетики. Ці підходи зазвичай об'єднують одним терміном «еволюційна економіка» або «синергетична економіка» [3,7]. Синергетична економіка дозволяє описувати й аналізувати складні економічні явища, що не можуть бути пояснені за допомогою класичних і неокласичних теорій економічної динаміки. Хоча синергетичні методи аналізу дають, як правило, лише якісний опис динаміки економічних процесів, але саме вони дозволили з'ясувати механізми цілого ряду актуальних для сучасної економічної науки феноменів, таких як: швидкий розвиток на основі боротьби «новаторів» і «консерваторів», виникнення криз і «економічних чудес» та ін. [5].

Синергетична економіка підходить до поняття еволюції економічної системи як системи, що розвивається. Це означає, що, по-перше, еволюція протікає нерівномірно, по-друге, достатньо тривалі етапи плавного розвитку («русло») чергуються з короткочасними нестійкими стадіями бурхливого розвитку («перемішаний шар», катастрофа), під час яких система отримує поштовх для позитивних змін. При втраті стійкості причинно-наслідкові зв'язки розриваються і випадкові флуктуації параметрів системи, що виникають, стають порівнянними з їх середніми значеннями. В результаті незначний вплив із зовні може привести до різкого переходу системи в один з можливих нових стійких станів (у синергетиці такі моменти в еволюції систем називаються точками біфуркації). Відповідно, термін «еволюція» розуміється в трьох різних сенсах [9]: а) перехід в один з можливих стаціонарних станів після катастрофи; б) повільний розвиток з відстежуванням змін параметрів аж до наступної біфуркації; в) швидкий перехід із стаціонарного стану в нестаціонарний.

Процеси, що протікають в економічних системах, «описуються нестійкими нелінійними динамічними рівняннями високої розмірності з різними швидкостями встановлення, і ми не можемо сподіватися на повне розуміння поведінки таких систем, якщо використовуємо тільки аналітичні методи» [3]. Тому сьогодні актуальним є розвиток засобів комп'ютерної підтримки моделювання економічної динаміки, адже «без комп'ютерів багато переваг і своєрідна принада еволюційних схем просто не виявилися б» [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Синергетична парадигма сучасної економічної теорії ґрунтується на представленні економічної системи як відкритої динамічної системи, що самоорганізується. У синергетиці під самоорганізацією розуміється утворення впорядкованих структур у складних системах у результаті кооперативної поведінки підсистем. Відповідно, в економіці під самоорганізацією слід розуміти не ринкове балансування цін, як це часто представля-

ють, а утворення просторово-часових структур (наприклад, циклів ділової активності) в результаті дисбалансу ринкових цін [2]. У рамках квазістаціонарного наближення традиційної економічної теорії неможливо задовільно пояснити утворення таких структур на основі аналізу ендогенних механізмів. У синергетичній економіці самоорганізація розглядається як наслідок нелінійної взаємодії ринкових агентів у рамках концепції конкурентної боротьби між фірмами-новаторами і фірмами-консерваторами за ринки збуту та ринки ресурсів. Згідно з цією концепцією у результаті раптової появи інноваційної технології (мутація) новатори активізують свою діяльність, що спричиняє перехід системи із стійкого стану в нестійкий. Далі нестійкість породжує динамічний процес самоорганізації, в результаті якого утворюються нові впорядковані структури, і система переходить в інший стійкий стан. Отже, для повного опису мікроекономічної еволюції, крім еволюційних рівнянь, що описують загальну динаміку фірм, також необхідно визначити [5]: правила породження нових фірм (вхід у популяцію), правила знищення фірм (вихід з популяції), правила взаємодії фірм, механізми накопичування й передачі знань і механізми мутацій як індивідуальних властивостей фірм, так і емергентних властивостей популяції. Крім того, що означені правила і механізми також еволюціонують, завдання ускладнюється ще й тим, що елементам економічних систем, на відміну від фізичних і біологічних систем, властиве усвідомлене прагнення досягти певного стану, що обумовлює цілеспрямованість дій.

Еволюційний підхід до аналізу макроекономічних процесів не отримав такого розвитку, як для мікроекономічних процесів. Макроекономічні еволюційні моделі будуються, головним чином, на основі моделей Ферхюльста і Ріккера, які використовуються в біології під час аналізу динаміки популяцій. Так, наприклад, у роботі Лебедєва В.В., показано, що спрощена макроекономічна модель Кейнса-Фрідмена, що описує динаміку валового національного продукту (ВНП), може бути зведена до однопараметричного дискретного відображення Ріккера [4]:

$$y_{t+1} = \alpha\, y_t \exp(-y_t), \qquad (1)$$

де t і (t+1) – попередній і наступний моменти часу, α — позитивний параметр, що характеризує швидкість росту величини y, яка в динамічних моделях економіки може позначати кількість продукції, що випускається, ціну і таке інше. Хоча ця залежність і випливає з явно детермінованого рівняння, на графіку вона виглядає як випадкова. Це явище в теорії катастроф носить назву «детермінований хаос», оскільки хаос, як проміжний етап при переході з одного стабільного стану в інший, виявляється залежним від попереднього стабільного стану. Часткова детермінованість складних перехідних станів, хоча і обмежує можливості прогнозування, але дає змогу цілком ідентифікувати ознаки виникнення критичних ситуацій і можливі подальші стани порядку.

Наочне уявлення про детермінований хаос можна отримати за допомогою біфуркаційної діаграми, що ілюструє зміну характеру руху динамічної системи на великому часовому інтервалі при зміні одного або декількох параметрів. Ті значення параметрів, при яких змінюються топологічні властивості фазових траєкторій, називаються критичними або біфуркаційними значеннями. На рис.1 а зображена біфуркаційна діаграма відображення (1). По осі абсцис відкладені значення параметру α, а по осі ординат – значення, які набуває y на достатньо великих часових проміжках.

При малих значеннях біфуркаційного параметру α кожному з них відповідає єдине рішення (стан стабільний), потім виникають осциляції змінної y між двома значеннями, далі – між чотирма значеннями і так далі. В результаті експоненціального зростання числа цих значень на малому інтервалі зміни біфуркаційного параметру y хаотично змінює своє значення в межах деякої області (тонована область на діаграмі), тобто відбувається перехід у нестабільний стан. Такий механізм генерації хаосу в динамічних системах носить назву «субгармонійний каскад». При подальшому збільшенні α області

нестабільного стану перемежаються з порівняно вужчими областями, що називають α-вікнами, в яких при малих змінах біфуркаційного параметру спостерігаються осциляції з кінцевим числом мод (граничні цикли). Перехід з α-вікна в зону нестабільності також супроводжується каскадом подвоєння періоду осциляцій при одночасному сильному нелінійному стискуванні інтервалів стійкості на кожному кроці (рис. 1б). При цьому кожне відгалуження, що відповідає одній з циклічних мод граничного циклу, виглядає як спотворена і розмита версія всієї діаграми. Це говорить про те, що біфуркаційна діаграма, тобто механізм виникнення детермінованого хаосу, має фрактальну структуру.

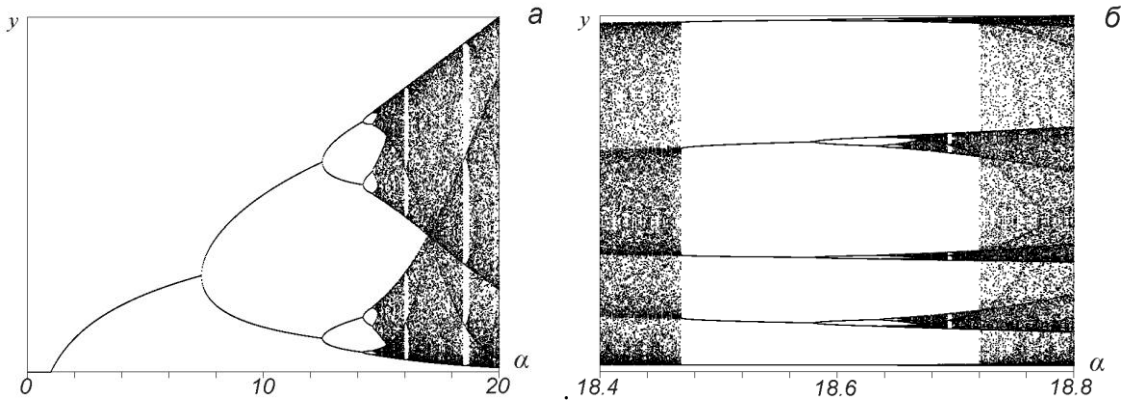


Рис. 1. Біфуркаційна діаграма відображення (1) (а) та її тонка структура в області α-вікна (б)

Отже, приходимо до важливого висновку: структури, що утворюються в результаті самоорганізації систем, в еволюції яких присутні періоди детермінованого хаосу, за своєю природою є фрактальними. Тому представляються невипадковими спроби моделювання економічних систем за аналогією з фізичними процесами, що приводять до формування фрактальних структур. Так, у роботі Єгорова Д. модель процесів, що відбуваються на фінансових ринках, будується на основі рівняння дифузійного розповсюдження тепла в неоднорідному середовищі [2]. Але, якщо й проводити подібні аналогії, доцільніше було б використати теорію перколяції (протікання) хоча б тому, що для переходу економічної системи у нестійкий стан розповсюдження інноваційної технології повинно подолати певний поріг (поріг перколяції), інакше заміщення старої технології новою і, відповідно, перехід системи в інший еволюційний стан не відбудеться.

На даному етапі розвитку синергетики теорія фракталів є найбільш перспективною для аналізу процесів, що відбуваються в складних нелінійних технічних і економічних системах. Більш того, теорія фракталів – єдина теорія, яка здатна доповнити опис топології багатовимірного простору станів складної відкритої системи з урахуванням ступеня розподілу об'єктів (тобто атракторів фазових траєкторій), що розглядаються в цьому просторі. Як і для багатьох фізичних і хімічних кооперативних явищ, фрактальна теорія може бути достатньо плідною при дослідженні економічних систем. Наприклад, Мандельброт (засновник цієї теорії) показав ефективність мультіфракталів (неоднорідні фрактали, що визначаються як сума або різниця множин з різною фрактальною і топологічною розмірністю) для моделювання коливань біржових цін [1]. Висловлюючи відношення реальних графіків біржових котирувань і отриманих модельних кривих, він використовує термін «самоблизькість», що близький до поняття самоподібності. Цікаво, що те ж саме можна сказати і про графічні зображення, які дає відображення (1) при певних значеннях параметру α, і темпи росту фактичного ВНП.

Фрактальність властива достатньо широкому колу математичних множин, що отримуються навіть при точкових відображеннях типу (1). Проте, щоб використати фрактальні уявлення для динамічного моделювання дисипативної системи (системи з атракторами у фазовому просторі), необхідно обґрунтувати фрактальну природу множини ста-

нів системи. Тоді еволюційне моделювання системи можна звести до побудови і дослідження топології її фрактальних атракторів.

Мета

Складна економічна система є відкритою системою, що може бути представлена як сукупність процесів (не тільки економічного характеру), що відбуваються над певною кінцевою множиною типів елементів. Але поведінку системи визначають не властивості її елементів, а характер їх взаємодії (інакше, як пояснити різноманітні колективні ефекти в системах при відносно незмінному їх елементному складі або існування емергентних властивостей). Для складних відкритих систем здебільшого характерною є нелінійність і рефлексивність взаємодії елементів, тобто колективна поведінка елементів (макрокосм) формується завдяки їх взаємодії (мікрокосм), але виникаючі в результаті самоорганізації структури впливають на стан елементів і, відповідно, процеси їх взаємодії. В кінці кінців саме це, на наш погляд, обумовлює здатність таких систем до самоорганізації і характерний вигляд атракторів у їх фазовому просторі.

Отже, з урахуванням вище означених проблем еволюційної економічної теорії випостає питання щодо розробки такої моделі економічної системи, яка б адекватно описувала процеси нелінійної рефлексивної взаємодії агентів системи на мікрорівні і дозволяла б прогнозувати появу точок біфуркації і перехід системи з одного стійкого стану в інший на макрорівні. Для цього така модель повинна принаймні поєднувати в одних рамках динаміку мікроскопічних процесів та макроскопічних параметрів і, окрім адекватного й повного відображення ендогенних механізмів вільного розвитку системи, також враховувати вплив на еволюцію системи змінних у часі екзогенних чинників як стохастичних, так і жорстко детермінованих, у чому власне і полягає основна мета синергетичної економіки і відповідних динамічних моделей.

Результати

Дискретне відображення Ріккера, яке традиційно використовується для моделювання макроекономічної динаміки, як відомо, крім параметру, що визначає швидкість росту за умови відсутності обмежуючих зовнішніх чинників, містить також параметр, що враховує вплив обмежуючих екзогенних чинників:

$$x_{n+1} = \alpha\, x_n \exp(-\beta\, x_n) \qquad (2)$$

Ця модель досить добре вивчена, але зазвичай передбачається, що параметр β – не залежна від часу постійна, і тоді заміною $y=\beta x$ рівняння (2) приводиться до однопараметричного рівняння (1). Проте очевидно, що кінетика еволюційних економічних процесів визначається накладенням збуджуючої дії зовнішнього середовища на взаємодію елементів у середині системи. Інтерес представляють, перш за все, ті екзогенні чинники, які впливають на здатність системи до самовідтворення, тобто «здатність системи за певних межових умов (наприклад, притоці вільної енергії і необхідних початкових речовин, наявності відповідного «апарату») репродукувати себе як органічне ціле» [10]. Для відтворення економічних систем особливе значення має еволюція технологій, яка може бути інтерпретована в першому наближенні як еволюція всієї системи [5]. Дійсно, здібність елементів економічної системи до сприйняття нових технологій (відповідно, для біологічних систем – до мутацій) є необхідною умовою її вільного зростання (у сенсі еволюції), але мають бути задоволені і достатні умови, тобто наявність і доступність необхідних ресурсів, соціально-політичні умови в країні чи регіоні тощо. Крім того, на вільне зростання системи можуть істотно впливати особливі типи взаємодії елементів, зокрема, – процеси поглинання і злиття компаній [8], а також каталітичні й автокаталітичні зв’язки.

Виходитимемо з того, що для однієї і тієї ж системи в різні моменти часу можуть реалізовуватися різні сценарії взаємодії із зовнішнім середовищем: 1) динаміка системи повністю визначається зовнішніми діями (наприклад, в умовах командно-адміністративної системи – екзогенний домінант); 2) динаміка системи повністю визначається її внутрішніми властивостями й інтересами, які повністю пригнічують або підпорядковують дію зовнішніх чинників (наприклад, в умовах вільного ринку – ендогенний домінант); 3) потенціали зовнішніх і внутрішніх чинників, що обумовлюють розвиток системи, є порівнюваними і конкурують між собою (відсутній домінант). Зрозуміло, що в результаті флуктуацій або жорстко детермінованих дій можливі переходи від одного сценарію до іншого так, що кожному з них можна призначити певну ймовірність або, на певних підставах, умовну ймовірність. З урахуванням циклічності економічних процесів усереднювання за часом і ансамблем дасть найімовірніше деякий обмежений спектр значень β, які у будь-який момент часу визначатимуть співвідношення впливу ендогенних і екзогенних чинників.

Отже, нехай β представляється у вигляді суми постійної і змінної складових:

$$\beta = \beta_0 + \varphi(t)\ , \tag{3}$$

де β_0 приймає одне з декількох значень з певною ймовірністю.

У проведеному обчислювальному експерименті розглядалися три найімовірніші варіанти часової залежності для $\varphi(t)$: 1) $\varphi(t) = 0$, 2) $\varphi(t)$ – стохастичні флуктуації, 3) $\varphi(t)$ – періодичний дискретний сигнал виду ($\varphi_0, \varphi_1, \ldots \varphi_{N-1}$), де

$$\phi_i = \sum_{k=0}^{N-1}\left(a_k \cos\frac{2\pi}{N}ki - b_k \sin\frac{2\pi}{N}ki \right),\ i = 0,1,\ldots,N-1, \tag{4}$$

де a_k, b_k – коефіцієнти дискретного перетворення Фур'є, N – число даних у сигналі (для спрощення розрахунків інтервал дискретизації вибірки сигналу обирався рівним одиниці, тому N у даному випадку дорівнює періоду сигналу).

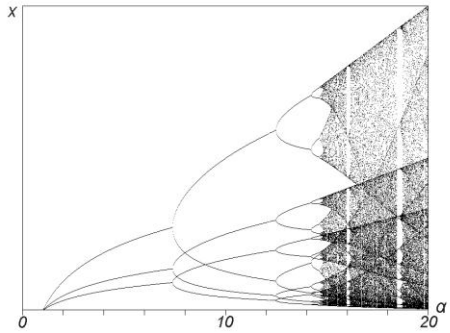


Рис. 2. Біфуркаційна діаграма відображення (2) за умови, що β – рівномірно розподілена випадкова величина зі значеннями 1, 2, 3

При $\varphi(t)=0$, тобто, коли спектр β складається з k постійних значень, біфуркаційна діаграма розщеплюється на k подібних і незалежних один від одного каскадів, які зі зростанням β зміщуються у бік менших значень x і звужуються (рис. 2). Слід зазначити, що ані положення лівого кордону перемішаного шару, ані положення α-вікон при цьому не змінюються. Більш того, загальний вид біфуркаційної діаграми виявляється інваріантним у відношенні до розподілу ймовірностей значень β і їх взаємної кореляції. Це пов'язано з тим, що при достатньо великій кількості ітерацій (для кожного значення α виконувалося 1200 ітерацій) розподілення ймовірностей визначають лише потужності відповідних компонент у вибірці, але не впливають помітно на динаміку субгармонійного каскаду. Таким чином, у разі дискретного спектру біфуркаційного параметру β з постійним кінцевим числом мод біфуркаційна діаграма є суперпозицією субгармонійних каскадів, які спостерігалися б, якби β набував ці значення окремо один від одного.

У випадку ненульових стохастичних флуктуацій β визначальним для субгармонійного каскаду чинником є амплітуда цих флуктуацій. При $|\varphi(t)| << \beta_0$ загальний хід фазових траєкторій такий самий, як і при постійних β, але гілки, що відповідають стабільним станам, зазнають розширення (рис. 3а), причому тим сильніше, чим менше β_0, а лівий край перемішаного шару й α-вікна зміщуються в бік менших значень α. Отже, замість дискретного набору стабільних станів з періодами 1, 2, 4 і т.д. отримуємо практично безперервні, обмежені за величиною серії значень з такими ж періодами. Із зростанням амплітуди флуктуацій до значень, порівнюваних із β_0 (рис. 3б), ширина цих серій зростає настільки, що вони зливаються, утворюючи дві асиметричні смуги (що можна було б назвати гранично обмеженим хаосом), що переходять у перемішаний шар.

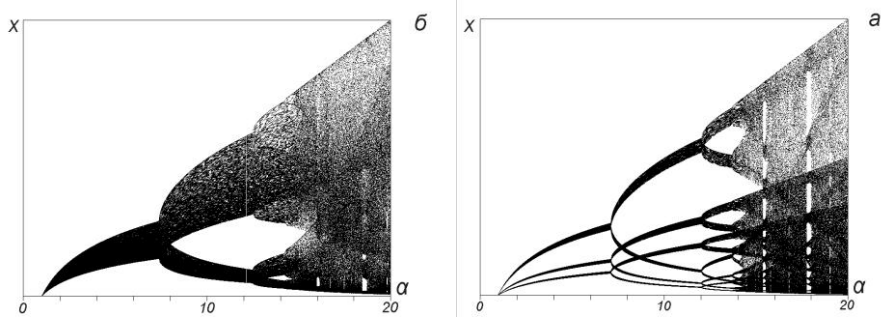


Рис. 3. Біфуркаційна діаграма відображеня (2) при стохастичних флуктуаціях β: а) амплітуда флуктуацій значно менше β_0 (β_0 = 1,2,3); б) амплітуда флуктуацій порівняна з β_0 (β_0 = 1)

У випадку, коли $\varphi(t)$ є стохастичним періодичним дискретним сигналом (коефіцієнти a_k и b_k у виразі (4), початкова фаза і тривалість сигналу – випадкові рівномірно розподілені числа), вигляд біфуркаційної діаграми визначається, як і в попередньому випадку, співвідношенням між постійною складовою β_0 і амплітудою гармонік, але при цьому повинна виконуватися умова $N >> 1$, тобто біфуркації виявляються тільки у тому випадку, коли крок дискретизації сигналу значно менший його періоду. Якщо амплітуда гармонік значно менше β_0 (рис. 4а), кожному значенню β_0 на біфуркаційній діаграмі відповідають дві моди, одна з яких значно товща, але її товщина набагато менша, ніж у фазових траєкторіях, що відповідають неперіодичним стохастичним значенням $\varphi(t)$ з відповідними значеннями β_0 (див. рис. 3а). Звернемо увагу те, що відстань між цими двома модами (із зростанням β_0 вона зменшується) приблизно дорівнює товщині відповідних смуг на рис. 3а.

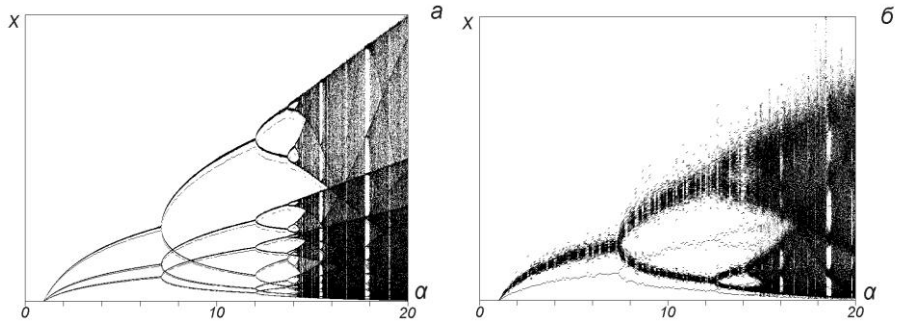


Рис. 4. Біфуркаційна діаграма відображення (2) у разі, коли змінна складова параметру β є випадково-періодичним дискретним сигналом: а) амплітуда гармонік значно менша β_0 (β_0 = 1,2,3); б) амплітуда гармонік порівнянна з β_0 (β_0 = 1)

Бімодальна структура фазових траєкторій зберігається при збільшенні амплітуд гармонік сигналу до значень, порівняних з β_0 (рис. 4б). Тут так само спостерігається збіг міжмодального зміщення на рис. 4б і товщини відповідної смуги на рис. 3б, але, на від-

міну від усіх розглянутих вище випадків, слід відзначити розмитість меж фазових траєкторій і зміщення α-вікон у бік більших значень α.

Отже, врахування часової залежності параметру, що відповідає за обмеження вільного зростання популяції, навіть у простій моделі Ріккера робить цю модель більш гнучкою і, відповідно, більш адекватною для опису еволюції відкритої нелінійної системи. Але спрощені моделі на кшталт розглянутої дають лише узагальнений опис макроекономічних процесів і не дозволяють переходити з макрорівня на мікрорівень для деталізації перехідних станів системи.

Поєднання в рамках однієї моделі елементів мікрокосму і макрокосму економічної системи дозволило б усунути основну проблему еволюційної економічної теорії – неузгодженість еволюційної мікроекономічної динаміки і макроекономічних процесів самоорганізації. У роботі Занша В.Б. запропонована концептуальна схема синергетичного аналізу економічної динаміки на основі системи диференційних рівнянь [3]:

$$\frac{dx_{ij}}{dt}=s\,F_{ij}(x_i\,,y)\,,\ \frac{dy_k}{dt}=G_k(x_i\,,y), \tag{5}$$

де x_{ij} – j-та компонента вектора мікроекономічних змінних, що описує стан i-ого (i = 1,..., n) агента системи, s – швидкість встановлення змінних, що характеризує часовий інтервал досягнення ними рівноваги, y_k – k-та компонента вектора макроекономічних змінних, функції F_{ij}, G_k вважаються такими, що безперервно диференціюються. Оскільки розмірність системи може бути дуже великою, систему необхідно редукувати. Механізм редукції базується на принципі підлеглості Хакена (теорема Тарасова), згідно з яким поблизу точки біфуркації поведінку системи в цілому визначає невелика кількість змінних, а решта змінних залежать від них (є підлеглими). У результаті редукування повинні залишитися декілька універсальних класів рівнянь, що описують макроскопічну поведінку системи.

У роботі Маєвського В. розвивається альтернативний підхід, в основу якого покладено ідею засновника теорії еволюційної економіки Шумпетера, який вважав, що суть економічного розвитку полягає не стільки в накопиченні капіталу і прирості робочої сили, скільки в перерозподілі наявного капіталу і робочої сили з менш ефективних сфер економічної діяльності в більш ефективні [5]. Шумпетер розглядав економіку як набір особливих комбінацій виробничих сил, а економічну еволюцію – як заміну старих комбінацій новими, при якій здійснюється перерозподіл виробничих сил на користь нових комбінацій. Зазначимо, що такий перерозподіл породжує конкуренцію і відбір, а останні є невід'ємними рисами самоорганізації [3].

Маєвський В. вводить поняття макрогенерації як кластера шумпетерівських комбінацій. Процедура визначення макрогенерацій, як і схема (5), має ту ж саму проблему – зменшення розмірності системи вихідних диференціальних рівнянь, але проблема полягає в тому, що кількість макрогенерацій і їх параметри апріорі невідомі. Можна підійти до цієї проблеми як до задачі квазіоптимізації, що і пропонується у вченого [5], де параметри макрогенерацій визначаються шляхом підбору так, щоб максимально наблизити розрахункову й реальну траєкторії темпів приросту ВНП, для чого сума продуктів усіх макрогенерацій нормується на реальну величину ВНП у моменти появи нових макрогенерацій (періоди економічного підйому). Маєвський В. досить переконливо доводить існування макрогенерацій і їх економічну природу і на цій основі – еволюційний характер макроекономіки, але алгоритм виявлення макрогенерацій відірваний від мікрокосму системи і тому макрогенерації представляються як абстрактно-математичні формування [5].

Модель макрогенерацій можна неформально звести до схеми (5), якщо співставити макроекономічні параметри останньої з параметрами макрогенерацій і ввести для різних типів змінних відповідні швидкості встановлення, наприклад, наступним чином:

$$\frac{dq_{ij}}{dt} = v_k \Psi(q_i, s_i, y_k), \frac{ds_{ij}}{dt} = w_k \Xi(q_i, s_i, y_k), \frac{dy_{kl}}{dt} = G_k(q_1,...,q_n, s_1,...,s_n, y_k), \quad (6)$$

де q_i,, v_k *і* s_i,, w_k – вектор і швидкість встановлення, відповідно, загальних змінних (загальний процес споживання/виробництва) і технологічних змінних (технологічні уклади), y_k – вектор параметрів k-ої макрогенерації (k = 1,2, …, M), індекси j, l позначають компоненти відповідних векторів. Тоді, оскільки в еволюційній динаміці Шумпетера загальні змінні встановлюються швидше, ніж технологічні, то макрогенерації можна інтерпретувати як такі еволюційні макропроцеси, для яких швидкості встановлення змінних задовольняють обмеженням: $v >> w$ і $v \sim w$ для старих і молодих макрогенерацій, відповідно. Отже, швидкості встановлення змінних v і w, що залежать від різноманітних чинників, є параметрами порядку для даної динамічної моделі.

Суттєвим недоліком схем макроекономічного аналізу, подібних (5) або (6), є те, що використання диференціальних рівнянь приводить до формування систем великої розмірності і, як наслідок, – до необхідності використовувати ті чи інші методи редукування й або ігнорувати прямі взаємодії між елементами системи, або вводити додаткові члени в функціональні форми, що ще більш ускладнює модель. Взагалі, використання систем нелінійних диференціальних рівнянь в якості математичного апарату динамічного моделювання складних систем з практично необмеженою кількістю ступенів свободи недоцільно по причині їх великої розмірності, невеликої точності, залежності рішення від особливостей функцій, що використовуються. Альтернативою для систем диференціальних рівнянь є дискретні різницеві схеми.

Висновки

Підсумовуючи результати проведеного дослідження, відзначимо, що: 1) оскільки субгармонійний каскад має фрактальну природу, еволюційне моделювання дисипативних економічних систем можна звести до побудови і дослідження фрактальних атракторів їх фазових траєкторій; 2) адекватне відображення біфуркаційних фазових переходів і циклічності економічної динаміки неможливе, якщо в моделі відсутні засоби представлення рефлексивної взаємодії між елементами системи і змінного у часі впливу екзогенних чинників; 3) синергетична модель економічної еволюції повинна поєднувати в одних рамках динаміку мікроскопічних процесів і макроскопічних параметрів.

Подальшій розвиток моделювання економічної динаміки на основі синергетичного підходу безумовно пов’язаний з інтеграцією мікроекономічного і макроекономічного напрямків еволюційної економіки в рамках єдиної теорії економічного розвитку Шумпетера. Але, на наш погляд, перехід від абстрактної теорії до прикладних досліджень і моделювання неможливий без відмови від широкого вживання фізичних, біологічних та інших запозичень і розвитку, виходячи з особливостей взаємодії агентів економічних систем, суто економічних схем аналізу з використанням методів еволюційних обчислень і їх програмної реалізації у рамках парадигми апаратного програмування [6].

Список використаних джерел

1. Benoit B. Mandelbrot A Multifractal Walk Down Wall Street.// Scientific American, Feb 1999, p. 50-53.

2. Егоров Д. Моделирование финансовых рынков: синергетический подход / Егоров Д. // Мировая экономика и международные отношения. – 2007. – №5. – С. 31-36.

3. Занг В.Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: пер. с англ. / Занг В.Б. – М.: Мир, 1999. – 335 с.

4. Лебедев В.В. Компьютерное моделирование рыночных механизмов [Электронный ресурс] / Лебедев В.В. – Режим доступа: http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/12_01/MODEC.HTM.

5. Маевский В. Введение в эволюционную макроэкономику / Маевский В. – М.: Издательство «Япония сегодня», 1997. –106 с.

6. Непейвода Н.И. Стили и методы программирования / Непейвода Н.И. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – 316 с.

7. Сайт С.П. Курдюмова [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://spkurdyumov.narod.ru.

8. Серков Л.А. Синергетическая модель экономического роста с учетом слияний и поглощений компаний [Электронный ресурс] / Серков Л.А. – Режим доступа: http://spkurdyumov.narod.ru.

9. Чернавский Д. С. Сопоставление математических основ классической и эволюционной экономики / Чернавский Д. С. // Эволюционная теория, инновации и экономические изменения: доклады и выступления участников международного симпозиума. – М., 2005. – С. 27–54.

10. Эбелинг Вернер Физика процессов эволюции: пер. с нем. Ю. А. Данилова / Эбелинг Вернер, Эягель Андреас, Фяйстель Райнер. – М.: Эдиторнал УРСС, 2001. – 328 с.

УДК 378:005.591.6

І.М. Заплетніков, д-р техн. наук
В.М. Кудрявцев, канд. техн. наук
В.А. Парамонова, канд. техн. наук
Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк, Україна

МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ

Наведено результати аналізу основних факторів, що мають вплив на становлення студентів у інженерних професій,і розглядаються пропозиції щодо підвищення якості підготовки фахівціа та їх практична реалізація на кафедрі обладнання харчових виробництв Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського.

Постановка проблеми та її зв'язок з найважливішими науковими і практичними завданнями. Протягом останніх років дуже багато уваги приділяється якості вищої освіти з точки зору забезпечення її прозорості та більшої самостійності студентів у навчальному процесі, на що основним чином і було спрямовано впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу (КМСОНП). Щорічно за ініціативою Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України проводяться семінари та конференції, присвячені даному питанню [1]. Однак слід відзначити, що під час реалізації даної системи виникло дуже багато запитань з приводу збереження якісної інженерної освіти. Майбутній інженер, який складає іспит чи залік з дисципліни у формі тестування, обмежує творчі підходи до рішення важливих питань лише чотирма можливими варіантами, з яких, найчастіше, один правильний. Тому він не має можливості знайти, проаналізувати й обрати з декількох правильних варіантів найоптимальніший. Все це дуже обмежує кругозір майбутніх фахівців, а отже, й їх цінність для виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На рівні держави управління якістю вищої освіти здійснюється шляхом розробки критеріїв якості освітнього процесу, контролю за змістом навчання, встановлення чітких вимог до студентів і викладачів, організації чіткої та прозорої процедури самоаналізу ВНЗ. Також державою створюються умови для підвищення кваліфікації професорсько-викладацького складу, введення рейтингової системи оцінювання знань студентів та співпраці вищих навчальних закладів з роботодавцями на основі соціального партнерства [2].

Під час підготовки інженерних кадрів, вирішення цих завдань на рівні вузів потребує не лише чіткого виконання, але й розумних підходів їх застосування. Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що вищими навчальними закладами розглядаються не лише загальні формальні сторони реалізації освітянських програм, а й такі питання як впровадження в освітні програми сучасних комп'ютерних засобів і методів активізації навчання, облік специфічних умов регіонів при розробці навчальних планів, організації мовної підготовки, застосуванні сучасних комп'ютерних навчальних систем, значенні природничих наук при підготовці інженерів, вивченні технологій, ефективних як з економічної, так і з екологічної точки зору, різні психологічні аспекти та інші [2, 3, 4, 5].

Метою статті є аналіз основних факторів, що мають вплив на становлення студентів інженерних професій на прикладі спеціалізації 05050313 «Обладнання переробних і харчових виробництв» та визначення напрямків для підвищення якості їх підготовки.

Виклад основного матеріалу досліджень. Сьогодні на денну форму навчання до вищих навчальних закладів набирають абітурієнтів зі шкіл, які ще не мають ні спеціальних навичок, ні навіть чіткої уяви про свою майбутню професію. Якщо уявлення про майбутню професію вони мають можливість отримати на різних вузівських заходах (дні відкритих дверей університетів, інститутів та факультетів, школи фахівців, курси

довузівської підготовки та інші), то проблему отримання спеціальних навичок вирішити не так просто.

По-перше, отримати спеціальні навички людина може лише через власний досвід праці, а отже, отримання робочої професії. Та по-друге, вже близько 15 років йде процес поступового зростання безвідповідальності в учнів та студентів навчальних закладів, якому сприяє все більший вік, в якому вони вступають до самостійного життя. В школі і у вузах все частіше при порушенні людиною правил відповідальність з неї перекладається на батьків, що особливо кумедно, коли людині близько 20 років. У цьому віці багато людей вже має свої сім'ї та дітей. А отже, необхідно створювати умови, за яких вже у школі і, безсумнівно, у ВНЗ людина буде відчувати свою відповідальність за всі свої дії. У вишах такі функції покладено на студентське самоврядування, яке під контролем керівництва університетів може розглядати питання відповідальності осіб, що порушують устав ВНЗ, та брати їх під свою відповідальність або рекомендувати до відрахування. У школах на теперішній час подібних організацій не існує.

Водночас отримати робочу професію та підвищити відповідальність осіб за свої дії можливо через організацію курсів робочих професій, причому цей спосіб використовувався і раніше. Оскільки створити свої майстерні на базах шкіл дуже складно, можливо підписання договорів з різними професійно-технічними училищами або технікумами, які мають свої майстерні та мають право присвоєння розряду з робочої професії. Такі договори дозволять учням 10-11 класів, ще не закінчивши школу, отримати професію, а отже, і чітко зорієнтуватися з майбутньою професією. Оскільки ця стаття присвячена проблемам якості інженерної освіти, а саме машинобудівного профілю, то до переліку робочих професій можуть бути включені, наприклад, такі, що пов'язані з технологічними основами машинобудування (слюсар, токар, зварник), електротехнікою (електромонтер), технологією та обладнанням харчових виробництв (повар) та інші.

Через те, що такої системи на теперішній час немає, кафедрою обладнання харчових виробництв усім бажаючим була надана можливість за власний рахунок отримати робочу професію «Електромонтер з ремонту та обслуговування електроустаткування». Під час курсів студенти змогли попрацювати у майстернях, навчитися ремонту побутових приладів та краще зрозуміти роботу обладнання.

Під час навчання у ВНЗ професійні навички необхідно постійно підтримувати та розвивати (на що і спрямована практична підготовка студентів). З метою підвищення якості підготовки інженерів за спеціалізацією 05050313 «Обладнання переробних і харчових виробництв» у навчальному процесі практикуються виїзні заняття на діючі підприємства міста: ЗАТ "Сармат", ЗАТ ПО "Конті", Торгово-промисловий холдинг «Урожай», до складу якого входять Макаронна фабрика, Донецький комбінат хлібопродуктів, Маргариновий завод та інші. Проходження практик також відбувається на різних підприємствах Донецька та області. Але у зв'язку з тим, що на підприємствах не завжди зацікавлені у тому, щоб давати студентам-практикантам конкретну роботу з оплатою, до того ж не завжди на підприємствах є вакансії, практичні навички студентів залишаються не на достатньому рівні. До того ж поставити на робоче місце людину без відповідних навичок неможливо. Та бувають і приємні виключення: так, студенти, що навчаються в інституті харчових виробництв, мають можливість на період практики, після відповідного інструктажу, працювати з оплатою на ЗАТ ПО «Конті» – одному з найкращих обладнаних підприємств міста Донецька, при цьому багато з них потім залишаються там працювати з можливістю кар'єрного росту. Та все ж таки проблема залишається. І для її вирішення також необхідна робоча професія, яка дозволить керівникам підприємств більш охоче ставити студентів на робочі місця.

Робочими навчальними планами підготовки фахівців за напрямком «Машинобудування» передбачено викладання такого курсу як «Теоретичні основи машинобудування»,

під час якого студенти вивчають не лише основні методи виготовлення різних деталей, розрахунків, складання маршрутних карт та іншого, а й роботу на верстатах. Забезпечити повноцінну робочу практику через брак необхідних матеріалів, кількості робочих місць та часу на базі вищих навчальних закладів неможливо, тому для вирішення цієї проблеми необхідна співпраця з машинобудівними підприємствами. Викладачі кафедри обладнання харчових виробництв уже зробили перші кроки у даному напрямку та організували екскурсії на машинобудівні підприємства, але для подальшої роботи у даному напрямку необхідно вирішувати не тільки питання згоди підприємств надавати таку можливість, але і багато юридичних питань, пов'язаних з погодинним тижневим навантаженням студентів. І ці питання напряму пов'язані з навчальними планами підготовки фахівців, за якими на даний момент неможливо виділити необхідну кількість годин протягом семестру. Після другого курсу студенти проходять ознайомлювальну навчальну практику, під час якої було б доцільно отримання практичного досвіду роботи на верстатах машинобудівних підприємств. Результатом практики повинно бути оформлення відповідних звітів та, можливо, надання робочої професії чи підвищення кваліфікації, якщо така вже є. Та проте, на даний момент це неможливо через вже зазначені проблеми.

Висновки і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Виходячи з вищесказаного, слід зазначити, що основними факторами, які впливають на якість підготовки фахівців, є не лише матеріально-технічна база та професорсько-викладацький склад ВНЗ, але й відсутність практичного досвіду та свідомого вибору професії в абітурієнтів, неможливість більшої кількості підприємств надавати потрібний досвід (адже це не лише робочі місця та наставники, а й висока відповідальність за життя студентів та їх роботу на виробництві). Можливості у вирішенні проблем з якістю інженерної освіти відкривають різні курси робочих професій як у школах, так і у вищих навчальних закладах, та більш тісна співпраця з виробництвами, для чого необхідно заохочувати керівників підприємств на рівні держави. Перспективами подальших розвідок у даному напрямку є робота над робочими планами не лише ВНЗ, але й шкіл, пошук взаємовигідних видів співпраці між ВНЗ і підприємствами та розробка спеціальних програм сприяння держави більш тісній співпраці між наукою та практикою.

Список використаних джерел

1. Про організацію і проведення конференцій та семінарів з проблем вищої освіти і науки у 2011 році: Лист МОН N 1/9-30 від 19.01.2011 р.

2. Інновації і якість вищої освіти: зб. тез доповідей учасн. наук.-метод. конф. ун-ту. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. – 678 с.

3. Режим доступу: www.masters.donntu.edu.ua/2007/fvti/zanjala_d/ind/bulletin_2000/ index06.htm.

4. Режим доступу: www.politik.org.ua/vid/magcontent.php3?m=6&n=57&c=1223.

5. Режим доступу: www.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Dmpd/2004_22/_22/24-27%2022_2004.pdf.

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕРЕВИНИ

УДК 674.047

В.І. Ступа, д-р техн. наук
П.Л. Ігнатенко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Розглянуто способи сушіння деревини, проаналізовано їх особливості та запропоновано прогресивний технологічний процес сушіння.

Вступ

Сушіння матеріалів є енергоємним процесом, пов’язаним зі значною витратою палива, пари, а також електроенергії, а отже, використання високоточної автоматики дозволить значно скоротити терміни сушіння та знизити енергетичні витрати.

На підприємствах,коли планується процес, то сировинний матеріал має вигляд пиломатеріалів (дощок, брусів, заготовок), шпону (тонколистового матеріалу), трісок, стружки і волокон, а інколи круглих лісоматеріалів (деталі опор ліній електропередачі, зв'язки, будівельні деталі).

У результаті сушіння деревина з природної сировини перетворюється в промисловий матеріал, що відповідає найрізноманітнішим вимогам, які висуваються до нього в різних виробничих і побутових умовах. При зниженні вологості деревини поліпшуються її фізико-механічні й експлуатаційні властивості. Відомо, що при зміні вмісту вологи в деревних сортаментах змінюються їхні розміри і форма. У тих випадках, коли під час експлуатації виробів з деревини необхідна сталість розмірів і форми деталей, їхня вологість повинна бути заздалегідь доведена до визначеного рівня, що відповідає умовам експлуатації цих виробів, тобто до експлуатаційної вологості. Зниження вологості деревини приводить до зниження її маси та одночасного підвищення міцності. Суха деревина, на відміну від сирої, легко клеїться, добре піддається обробці. Контроль за кінцевим показником вологості є головним чинником у процесі сушки [1].

Постановка проблеми

Таким чином, деревину висушують з метою попередження розміро- і формозмінності деталей; запобігання псування і загнивання; збільшення питомої міцності; підвищення якості обробки і склеювання.

Вибір способу сушіння і сушильного устаткування визначається рядом факторів: породним і сортаментним складом пиломатеріалів, що висушуються, вартістю енергоносія, необхідною продуктивністю, умовами й інвестиційними можливостями споживачів. Сушильна камера з енергозберігаючими технологіями – обов’язкова умова рентабельної роботи.

Циркуляційна система сушки повинна забезпечувати необхідну швидкість і рівномірність розподілу сушильного агента по матеріалу для різних порід з метою одержання вищої якості й оптимальної тривалості процесу. Для спонукання циркуляції сушильного агента використовують осьові і, в окремих випадках при великому опорі циркуляційного тракту, відцентрові вентилятори. До цього устаткування повинні пред'являтися жорсткі вимоги щодо його надійності під час експлуатації в середовищі з підвищеною температурою і вологістю.

Поряд з традиційними конвективними сушарками певне поширення одержали вакуумні і конденсаційні сушарки.

Вакуумні сушарки доцільно використовувати для сушіння деревини твердих листяних порід великих перетинів (50 мм і більше), коли тривалість процесу є важливим чинником. При купівлі таких камер не можна забувати про великі капітальні вкладення.

Конденсаційні сушарки використовують у тих випадках, коли електроенергія як енергоносій найбільш дешева в порівнянні з іншими видами. ККД таких сушарок найбільш високий при температурі сушильного агента до 45° С. При цих параметрах собівартість процесу невелика, зате термін сушіння значний.

Сучасні лісосушильні камери дозволяють досягти високої якості сушіння. Вони оснащені системою автоматичного керування процесом і є складним комплексом устаткування, що вимагає кваліфікованого обслуговування.

Винятково велике значення має якісне сушіння деревини, без чого неможливий випуск високоякісної продукції. Низька якість сушіння, обумовлена незадовільним технічним станом сушильного устаткування і слабкою технологічною підготовкою обслуговуючого персоналу, приводить до прихованого браку – нерівномірності розподілу кінцевої вологості, що довгий час може залишатися непоміченим і позначитися тоді, коли виріб знаходиться в експлуатації.

Методи і результати

Класифікація способів сушіння ґрунтується на особливостях передачі тепла матеріалу, що висушується, і за цією ознакою можна виділити наступні види сушіння: конвективне, кондуктивне, радіаційне, електричне [2, 3]. Практична мета всіх видів сушіння – це зведення до мінімуму коливань кінцевої вологості деревини. Вибір способу сушіння, устаткування й організація процесу залежать від безлічі факторів як технологічного, так і місцевого значення.

У табл.1 приведені види і способи сушіння.

Таблиця 1

Види та способи сушіння деревини

Вид сушіння	Сушильні агенти	Спосіб сушіння	Основні особливості процесів
1	2	3	4
Конвективно-атмосферне	Повітря	На корені	Сушіння з використанням несущої сили крони живого дерева
	Повітря	Атмосферна	Сушіння на відкритих складах чи під навісами
Конвективно-теплове	Повітря, топковий газ, водяна пара та їхні суміші	Газопарова	Сушіння в нагрітому газовому середовищі при атмосферному тиску
		Ротаційна	Газопарове сушіння з додатковим використанням відцентрового ефекту
	Рідини	Вакуумна	Газопарове сушіння при тиску середовища нижче атмосферного
		У рідинах	Сушіння з використанням нагрітих рідких сушильних агентів

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Кондуктивне	Повітря	Кондуктивне	Сушіння з передачею тепла матеріалу за допомогою теплопровідності під час контакту з нагрітими поверхнями
Радіаційне	Повітря	Радіаційне	Сушіння передачею тепла матеріалу випромінюванням
Електричне	Повітря	Діелектричне	Сушіння в електромагнітному полі ТВЧ чи СВЧ з передачею тепла матеріалу за рахунок діелектричних втрат
Електричне	Повітря	Індукційне	Сушіння в електромагнітному полі промислової частоти з передачею тепла матеріалу від розташовуваних всередині штабелю феромагнітних шляхів, що нагрівають індуктивними струмами

Основні фактори з цілим рядом конкретних показників наступні:
- вимоги до якості й обсягів матеріалів, що висушуються;
- забезпечення енергоносіями;
- склад комплектації устаткування;
- умови розміщення сушильних камер;
- фінансові можливості підприємства;
- забезпечення кадрами й ін.

Сушіння в рідинах

У даному випадку сушильним агентом служать гідрофобні і гідрофільні рідини.

Зневоднювання в гідрофобних рідинах, оліях, розплавлених металах, сірці по своєму механізму схоже на конвективне сушіння при високотемпературному режимі. Тому всі негативні наслідки – зниження міцності деревини, великі внутрішні напруження, характерні для високотемпературного режиму сушіння, присутні і тут.

Конденсаційний спосіб сушіння

За принципом дії конденсаційний спосіб відноситься до замкнутого циклу, тобто сушильний агент робить циркуляцію по камері без викиду в атмосферу і, відповідно, без підживлення свіжим повітрям. Повітря, насичене вологою відібраної з деревини, змочує холодну поверхню і вихолоджується до температури нижче крапки роси. Частина вологи, що міститься в повітрі, конденсується, а теплота, виділена при цьому, використовується для підігріву сушильного агента. Як охолоджувач використовується фреон.

Теоретично конденсаційний сушильний цикл з холодильником, що відіграє роль теплового насоса, характеризується нульовою витратою тепла на випар вологи. Витрати електроенергії тут йдуть на прогрів матеріалу і тепловтрати, а також на привод компресора і вентиляторів. Для компенсації теплових втрат агрегат забезпечується додатковим калорифером із зовнішнім електроживленням [1].

За даними закордонних фірм Hildebrand, Brunner, Vanicek енергоспоживання конденсаційних сушарок складає 0,25...0,5 кВт*/год на 1 кг випаровуваної води в залежності від вологості матеріалу, збільшуючись при її зниженні. Це приблизно в два рази менше витрати енергії в звичайних збірно-металевих камерах періодичної дії.

Атмосферне сушіння

Атмосферне сушіння є найбільш дешевим способом. Воно не вимагає таких капітальних витрат, як камерне, але для нього необхідний великий запас матеріалу.

Відомо, що атмосферно висушена деревина може експлуатуватися багато сторіч, якщо її повторно незволожувати.

Основним недоліком атмосферного сушіння є те, що процес некерований: у районах з підвищеною вологістю повітря підвищується ймовірність поразки пиломатеріалів грибками, а на півдні – розтріскуванням.

Згідно з правилами, атмосферне сушіння проводиться в штабелях, що укладаються на спеціальних складах. Стан сушильного агента – нестабільний, на нього впливають кліматичні умови, час року і доби. У результаті взаємодії повітря з деревиною, що висихає, на складах створюється своєрідний мікроклімат: повітря має знижену температуру, підвищену вологість і невелику швидкість циркуляції. Тому процес атмосферного сушіння тривалий. Деревина висушується до вологості 12...20% залежно від кліматичних умов, породи і товщини матеріалу.

Існують способи інтенсифікації процесу, а саме: застосування більш розрідженого укладання, розміщення штабелів відповідно до напрямку пануючих вітрів, використання примусової циркуляції повітря за допомогою вентиляторів. Прискорення процесу, з одного боку, сильно знижує можливість появи хімічних і прокладочних фарбувань, синяв і гнилі, але з іншого боку, сприяє зниженню відносної вологості повітря, що призводить до збільшення залишкових напружень. Прискорене атмосферне сушіння дозволяє довести матеріал до вологості 20...30% за час, що складає від 1/2 до 1/4 тривалості процесу при звичайному атмосферному сушінні.

Камерне й атмосферно-камерне сушіння

Камерне сушіння пиломатеріалу – основний промисловий спосіб зневоднювання деревини, що реалізується у відповідних приміщеннях-камерах.

Звичайно під камерним розуміють конвективно-тепловий вид сушіння, здійснюваний у конвективних камерах різних конструкцій.

Сушильні камери можуть мати будівельні чи металеві огородження; бути стаціонарними чи пересувними; здійснювати безупинне чи періодичне сушіння матеріалу.

Камерне сушіння на деревообробних і меблевих підприємствах стало інтенсивно розвиватися в 1930 р. І дотепер на багатьох підприємствах експлуатуються камери застарілих конструкцій – безвентиляторні з підвальним приміщенням, що працюють за принципом природної циркуляції повітря, типу Грум-Гржимайло, Некар та ін.

Вибір категорії режиму здійснюється відповідно до потреби в сухому матеріалі, тому що тривалості процесу при м'якому і форсованому режимах відрізняються більш ніж у два рази, а також від призначення матеріалу, оскільки підвищення рівня температури висушування веде до втрати міцності деревини.

Переміщення повітря в камерах здійснюється за допомогою осьових чи відцентрових вентиляторів. Значення швидкості циркуляції повітря по штабелю в сучасних камерах коливаються від 1,0 до 5,0 м/с залежно від породи деревини.

Переваги камерного сушіння в порівнянні з атмосферним – це менша тривалість, можливість керування процесом.

У зв'язку з особливостями розвитку внутрішніх напружень у деревині найбільш небезпечним є початковий період сушіння до середньої вологості матеріалу 30%. Тому режими камерного сушіння побудовані так, щоб перша ступінь, а по тривалості вона займає близько 40...45% усього терміну сушіння, була найбільш "волога". Це значить, що ступінь насиченості повітря створюється тут високий, та вимагає великих енерговитрат. При атмосферному підсушуванні по матеріалу циркулює вологе повітря низької температури, тобто створюється мікроклімат, досить безпечний для стану деревини.

Для пиломатеріалів твердих листяних порід підсушування бажано проводити в спеціальних низькотемпературних камерах при температурі до 40 ^{0}С. У цьому випадку процес підсушування керований, тривалість його в 5...8 разів менше, ніж при атмосферному підсушуванні, значно менше і ступінь нерівномірності просихання.

Ротаційний спосіб сушіння

Цей спосіб являє собою механічне зневоднювання деревини в полі відцентрових сил. Здійснюється він у спеціальних карусельних сушарках, причому найкращий ефект досягається при розміщенні штабеля чи пиломатеріалів навіть круглого сортаменту по діаметру обертової платформи. При цьому вектор відцентрової сили збігається з віссю деревного сортаменту, і зневоднювання відбувається уздовж волокон. Природно, що таким способом можна видалити з деревини тільки вільну воду. Вологість свіжої деревини при цьому знижується до 40...45% за невеликий проміжок часу – 10...20 хв. Пиломатеріали початковою вологістю 30...35% і нижче зневоднюванню з використанням відцентрового ефекту не піддаються.

Ротаційне сушіння, таким чином, може замінити першу, найбільш енергоємну і тривалу, ступінь камерного сушіння. Техніко-економічні розрахунки показали, що сполучення карусельного і камерного сушіння забезпечує 1,5-2–кратне скорочення енерговитрат і зниження собівартості сушіння на 25-30%.

Недоліком ротаційного способу є громіздкість конструкцій, складність у виконанні обертової платформи, балансування вантажу. Тому такі сушарки не одержали поширення [1].

Вакуумний спосіб сушіння

Використання зниженого тиску середовища для зневоднювання деревини викликано бажанням прискорити процес за рахунок використання додаткових резервів сушіння – не тільки градієнтів температури і вологості, але і градієнта тиску.

Матеріал, що висушується, поміщають у спеціальний автоклав чи герметичну камеру, де створюється розрідження повітря. Оскільки температура кипіння води у вакуумі нижче, ніж при атмосферному тиску, то, створюючи вакуум глибиною 0,9 кг/см^2, температуру сушильного агента знижують до 40...45°С. У такий спосіб можна вести інтенсивний і, разом з тим, низькотемпературний процес сушіння при повному збереженні природних властивостей деревини.

Безпосередньо вакуумний спосіб сушіння не забезпечує необхідну експлуатаційну вологість матеріалу і застосовується тільки для сушіння пиломатеріалів до транспортної вологості, тобто до W_K = 22%. Сполучення ж даного способу з кондуктивним, конвективним чи діелектричним дозволяє досягти необхідної кінцевої вологості при скороченні тривалості процесу в 2...10 разів.

Вакуумно-кондуктивний спосіб сушіння здійснюється при постійному протягом процесу вакуумі і контактному нагріванні деревини плитами, розміщеними усередині штабеля замість прокладок. За даними закордонних фірм Hildebrand, Citomak такий спосіб скорочує тривалість процесу в 3 рази в порівнянні з камерним сушінням нормальними режимами. Але він має ряд істотних недоліків: велика трудомісткість вантажно-розвантажувальних робіт; значна нерівномірність і розподіли кінцевої вологості по товщині матеріалу і, відповідно, великі внутрішні напруження; мала місткість камер. У силу цих недоліків вакуумно-кондуктивні камери не одержали широкого застосування в промисловості.

Вакуумно-конвективний спосіб сушіння може здійснюватися при циклічному нагріванні і вакуумуванні, тобто зі скиданням тиску, а також при постійному вакуумі .

У першому випадку матеріал спочатку прогрівають, а потім піддають вакууму. У деревині, нагрітій до температури кипіння води, відбувається википання вільної води з порожнин кліток за рахунок акумульованої теплоти. Пара, що утворилася, видаляється

з матеріалу під дією надлишкового тиску. Після припинення пароутворення, тобто охолодження деревини, її знову нагрівають, і цикл багаторазово повторюють до досягнення необхідної кінцевої вологості. Тривалість циклів і їхні параметри залежать від породи, товщини і вологості матеріалу. Такий спосіб дає скорочення тривалості процесу в 4...5 разів у порівнянні з конвективним способом при високій якості сушіння.

Сушіння при постійному неглибокому вакуумі 0,2 кг/см^2 і одночасному конвективному нагріванні дає також гарну якість. Тривалість процесу при цьому не зменшується, а відповідає конвективному сушінню. Собівартість сушіння в 3 рази нижче за рахунок використання теплоти конденсації випаровуваної води і застосування низьких температур сушильного агента.

Вакуумно-конвективний спосіб сушіння останнім часом стає усе більш популярним. На думку авторів, він є найбільш перспективним серед способів, спрямованих на прискорення процесу сушіння [2].

При вакуумно-діелектричному способі сушіння нагрів матеріалу до 45...50°С здійснюється за рахунок енергії високочастотного електромагнітного поля чи при постійному вакуумі. Деревина знаходиться в середовищі майже чистої пари малого тиску, завдяки чому процес відбувається при малому перепаді вологості по товщині сортаментів і незначних внутрішніх напружень. Тривалість сушіння в цьому випадку зменшується в 10-12 разів. Однак вакуумно-діелектричний спосіб не позбавлений істотних недоліків. По-перше, вартість сушіння при такому способі досить велика через дорожнечу і складність устаткування, а також через великі енерговитрати. По-друге, з досвіду експлуатації вакуумно-діелектричних камер СПВД випливає, що поки не вдалося досягти гарної якості сушіння: матеріал через нерівномірність електромагнітного поля має дуже великий розкид кінцевої вологості.

Технологічний процес сушіння деревини

На підприємствах використовується трьохступеневий камерний режим сушіння пиломатеріалів листяних порід (таблиця 2), хвойних (таблиця 3) та модрини (таблиця 4).

Таблиця 2

Трьохступеневий камерний режим сушіння пиломатеріалів листяних порід

Порода	Категорії режиму	Товщина пиломатеріалів, мм							
		До 22	від 22 до 32	від 32 до 40	від 40 до 50	від 50 до 60	від 60 до 70	від 70 до 75	від 75 до 100
Береза, вільха	н	з-д	4-Г	4-В	5-В	6-Б	7-Б	8-Б	9-Б
	ж	2-Д	3-Г	3-В	4-В	—	—	—	—
Осика, липа, тополя	н	3-Г	3-Б	4-Б	5-В	6-В	7-В	8-В	9-В
	ж	2-Г	2-Б	3-Б	4-Б				—
Бук, клен	н	3-В	4-В	5-В	5-Б	6-Б	7-А '	8-Б	—
	ж	2-Г	3-Б	4-В				—	—
Дуб	н	5-Г	6-В	6-Б	7-Б	8-Б	9-В	10-Б	—
	ж	3-Г	4-В	5-В	—	—		—	—
Горіх	н	5-В	5-Б	6-Г	6-Б	7-В	8-Б	9-В	—
Граб, ясен	н	6-В	6-А	7-Б	8-Б	8-Б	9-В	10-В	—

Додаток до таблиці 2

Індекс режиму	Вологість деревини	Номер режиму і параметри повітря																	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		t	Дt	t	Дt	t	Дt	t	Дt	t	Дt	t	Дt	t	Дt	t	Дt	T	Дt
	>30	82	3	75	3	69	3	63	2	57	2	52	2						
А	30...20	87	6	80	6	73	6	67	5	61	54	55	4						
	<20	108	27	100	26	91	24	83	22	77	21	70	20						
	>30	82	4	75	4	69	4	63	3	57	3	52	3	47	2	42	2	38	2
Б	30...20	87	8	80	8	73	7	67	6	61	6	55	5	50	5	45	4	41	4
	<20	108	29	100	28	91	25	83	23	77	22	70	21	62	18	57	17	52	16
	>30	82	6	75	5	69	5	63	4	57	4	52	4	47	3	42	3	38	3
В	30...20	87	10	80	9	73	8	67	7	61	7	55	7	50	6	45	5	41	5
	<20	108	31	100	29	91	26	83	24	77	23	70	22	62	19	57	18	52-	17
	>30	82	8	75	7	69	6	63	5	57	5	52	5	47	4	42	4	38	4
Г	30...20	87	12	80	11	73	10	67	9	61	9	55	8	50	7	45	6	51	6
	<20	108	33	100	31	91	28	83	26	77	25	70	23	62	21	57	20	52	18
	>30	82	10	75	9	69	8	63	7	57	6	52	6						
Д	30...20	87	14	80	13	73	12	67	11	61	10	55	9						
	<20	108	35	100	33	91	30	83	27	77	26	70	24						

Таблиця 3

Трьохступеневий камерний режим сушіння пиломатеріалів хвойних порід — сосни і кедра (по РТМ)

Вологість деревини, %		Номер режиму для пиломатеріалів товщиною, мм							
		1	2	3	4	5	6	7	9
		до 22	23 і 25	26 і 32	33 і 40	41 і 50	51 і 60	61 і 75	76 і 100
Нормальний режим (Н)									
>35	Т і Дt, єС	83 і 9	79 і 7	79 і 6	75 і 5	73 і 5	71 і 4	64 і 3	55 і 2
35 ... 25	t і Дt, єС	88 і 14	84 і 12	84 і 12	80 і 10	77 і 9	75 і 8	68 і 7	58 і 5
<25	t і Дt, єС	110 і 36	105 і 33	105 і 32	100 і 30	96 і 27	85 і 24	85 і 24	75 і 22
Жорсткий режим (Ж)									
>35	Т і Дt, єС	94 і 11	92 і 10	92 і 8	90 і 7	87 і 6	83 і 5	73 і 4	—
35 ... 25	t і Дt, єС	99 і 16	97 і 15	97 і 13	95 і 12	92 і 11	88 і 10	78 і 9	—
<25	t і Дt, єС	125 і 42	123 і 41	123 і 39	120 і 37	115 і 36	110 і 32	98 і 29	—

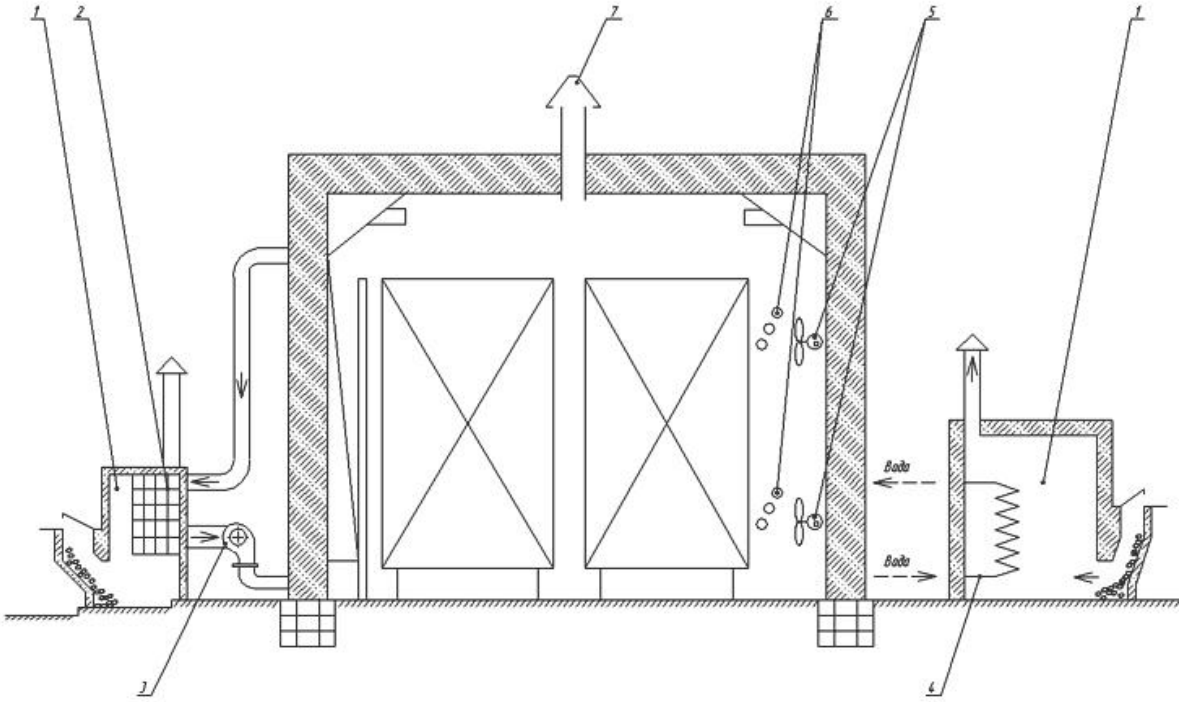
Таблиця 4

Трьохступеневий камерний режим сушіння пиломатеріалів листяних порід з деревини модрини (по РТМ)

Вологість деревини, %	Параметри	Номер режиму для пиломатеріалів товщиною, мм						
		Л1	Л2	Л3	Л 4	Л5	Л6	Л7
		до 22	23 і 25	26 і 22	33 і 40	41 н 50	51 і 60	61 і 75
Нормальний режим (Н)								
>35	Т і Дt, єС	70 і 9	70 і 8	70 і 6	65 і 5	60 і 4	80 і 3	60 і 2
35 ... 25	t і Дt, єС	75 і 15	75 і 15	75 і 15	70 і 10	65 і 9	65 і 7	65 і 5
<25	t і Дt, єС	80 і 25	80 і 25	80 і 25	75 і 20	70 і 19	70 і 18	70 і 15
Жорсткий режим (Ж)								
>35	Т і Дt, єС	90 і 9	90 і 7	82 і 4	75 і 4	75 і 8	72 і 2	70 і 2
35 ... 25	t і Дt, єС	98 і 12	96 і 11	87 і 8	80 і 8	80 і 6	78 і 5	76 і 4
>25	t і Дt, єС	112 і 32	110 і 30	108 і 29	100 і 28	100 і 26	95 і 20	90 і 18

Принцип трьохступеневого режиму сушки полягає в тому, що на кожному етапі збільшується температура повітря по мірі зниження вологості в деревині до певної величини, при якій процес сушки переводиться на наступну ступінь з більшою температурою і психометричною різницею.

Нагрів та утримання потрібної температури в сушильній камері здійснюється на основі трьох теплогенераторів, які працюють на основі спалювання дров, що призводить до нагрівання труб, по яких рухається повітря за допомогою відцентрового вентилятора. Нагріте повітря подається в сушильну камеру (див. рис. 1).



1 – котел; 2 – труби з повітрям; 3 – відцентровий вентилятор; 4 – труби з водою; 5 – вентилятор; 6 – радіатори з гарячою водою; 7 – витяжка

Рис. 1. Технологічна схема процесу сушіння

Другий теплогенератор працює на основі водяного котла та двох радіаторів, які обдуваються вентиляторами. Ці два теплогенератори застосовуються для грубого регулювання температури, а для більш точного регулювання використовують третій – електрокалорифер. Для регулювання вологості в сушильній камері використовують витяжки.

Висновки

Вибір способу сушіння і сушильного устаткування визначається рядом факторів: породним і сортаментним складом пиломатеріалів, що висушуються, вартістю енергоносія, необхідною продуктивністю, умовами й інвестиційними можливостями споживачів. Сушильна камера з енергозберігаючими технологіями – обов’язкова умова рентабельної роботи.

Велике значення має якісне сушіння деревини, без чого неможливий випуск високоякісної продукції. Низька якість сушіння, обумовлена незадовільним технічним станом сушильного устаткування і слабкою технологічною підготовкою обслуговуючого персоналу, призводить до прихованого браку – нерівномірності розподілу кінцевої вологості, що довгий час може залишатися непоміченим і позначитися тоді, коли виріб знаходиться в експлуатації.

Список використаних джерел

1. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины / Кречетов И. В. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 372с.

2. Богданов Е.С. Справочник по сушке древесины / Богданов Е.С., Козлов В.А., Пейч Н.Н. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 191с.

3. Технічна документація HT1621 компанії Holtek Semiconductor Incorporated. – Taiwan, 2001. – 118с.

УДК 691.116

О.М. Чередніков, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна
М.Є. Юрченко, канд. фіз.-мат. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна
С.В. Федоренко, ген. директор
ЧП «Укрінекс-Паркет», м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СКЛЕЮВАННЯ ШПОНА

Перспективний розвиток фанерного виробництва передбачає різке підвищення технічного рівня устаткування з видання нових видів фанери і фанероволокнистих плит, розширення сфери застосування шпону і виробів з неї. Показано можливість використання методу аналізу розмінностей і теорії подібності для визначення залежності часу склеювання від товщини пакета шпона.

Вступ

Науково-дослідні роботи щодо оптимізації режимів при впровадженні нових прогресивних технологій виробництва фанери і виробів з неї актуальні, носять комплексний характер та опираються на методи математичного моделювання процесів системи високопродуктивних машин для склеювання фанери холодним способом, комплекс пристроїв по автоматизації і механізації технології виробництва струганого шпона, впровадження нових технологій склеювання шпона і листових матеріалів на його основі, впровадження автоматизованих ліній по виробництву великоформатної фанери із захисними властивостями, малотоксичної фанери та ін.

Постановка проблеми

При розробці оптимальних режимів склеювання шпона варіювати товщиною пакета з ряду причин досить складно. Тому необхідно знайти й обґрунтувати метод, що дозволяє визначити залежність часу склеювання від товщини пакета шпона. Показано можливість використання для рішення цього завдання методу аналізу розмірностей і теорії подібності.

Склеювання шпону в процесі гарячого пресування відноситься до складних фізико-хімічних процесів з великою кількістю факторів впливу.

Як правило, така задача полягає у відшуканні такої області просторових факторів ($X_1^0, X_2^0, ..., X_n^0$), де обраний параметр оптимізації $Y_i = f(X_1^0, X_2^0, ..., X_n^0)$ приймає екстремальне значення при сукупності певних обмежень. У результаті рішення даної оптимізаційної задачі для одержання фанери певної товщини одержують оптимальні режими склеювання шпона. Слід зазначити, що поширити знайдені режими автоматично на фанеру іншої товщини не можна, тому що товщина пакета шпона приймається в якості постійного фактора і не входить у знайдені рівняння зв'язку. Змінювати товщину пакета шпона можна або за рахунок зміни кількості аркушів у пакеті, або за рахунок зміни товщини шпона. При цьому при зміні кількості шарів у пакеті змінюється ступінь анізотропії матеріалу, що істотно позначається на його міцності. Варіювання товщиною пакета за рахунок зміни товщини шпона так само веде до зміни міцності одержуваної фанери.

Отже, якщо прийняти товщину пакета шпона як постійний фактор, можна виявити умови, які забезпечують одержання фанери максимальної міцності.

Важливим фактором під час розв’язку даної задачі є також тривалість часу склеювання.

В опрацьованих роботах було отримано рівняння міцності фанери в загальному виді, що відбиває вплив технологічних факторів на міцність [1, 2]:

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{P}{P0}\right)^{\gamma p} \left(\frac{\nu}{\nu 0}\right)^{\gamma_V} \left(\frac{T}{T0}\right)^{\gamma_T} \left(\frac{Q}{Q0}\right)^{\gamma_Q} \left(\frac{\tau}{\tau 0}\right)^{\gamma_\tau} \left(\frac{K}{K0}\right)^{\gamma_K} \left(\frac{\rho}{\rho 1}\right)^{\gamma_\rho} \left(\frac{\delta 1}{\delta 10}\right)^{\gamma_{\delta 1}} \left(\frac{D}{D0}\right)^{\gamma_D} \left(\frac{\delta}{\delta 0}\right)^{\gamma_\delta} \quad (1)$$

де P – тиск пресування;

T – температура плит преса;

τ – час пресування фанери;

ν – кінематична в'язкість смоли;

Q – витрата смоли на 1 м2 поверхні аркуша шпона;

δ – товщина фанери;

K – умовний коефіцієнт якості шпона;

ρ – щільність фанери;

$\delta 1$ – глибина просочення смолою шпона;

D – коефіцієнт проникності шпона.

Припустимо, що функція міцності фанери τ є функцією незалежних технологічних факторів:

$$\sigma = \sigma 0(P,T,\tau,\nu,Q,\delta,K), \quad (2)$$

то інші фактори в рівнянні (1) є залежними від зазначених в (2).

Значення кожного технологічного фактора визначені на деякій скінченній області їхньої зміни, а їхня сукупність визначає область визначення функції σ.

Область обмеження зазначених факторів можна задати у вигляді:

$$\begin{aligned} &P_{\min} \le P \le P_{\max} \\ &\tau_{\min} \le \tau \le \tau_{\max} \\ &Q_{\min} \le Q \le Q_{\max} \\ &T_{\min} \le T \le T_{\max} \\ &\nu_{\min} \le \nu \le \nu_{\max} \\ &\delta_{\min} \le \delta \le \delta_{\max} \\ &K_{\min} \le K \le K_{\max} \end{aligned} \quad (3)$$

Варто відзначити, що між факторами існують і більш складні заздалегідь невідомі нелінійні залежності:

$$\begin{aligned} &P \ge f_1(K,Q,\nu); \nu \ge f_2(T,\tau); \\ &Q \ge f_3(K,P) \end{aligned} \quad \text{і т.д.} \quad (4)$$

Сукупність лінійних факторів (3) і нелінійних залежностей (4) являє собою результуючу область зміни факторів Ω.

Таким чином, задача визначення максимальної міцності фанери на області Ω зводиться до досить загальної задачі математичного програмування, для рішення якої необхідно, щоб була відома функція $\sigma_0(P,T,..,K)$ і область Ω, яка найчастіше невідома.

Отже, знаходження залежності міцності від технологічних факторів на області Ω є досить складною математичною задачею.

Питання визначення часу склеювання шпона залежно від ряду технологічних факторів розглянуті у низці робіт [1; 2; 3; 4]. Слід зазначити, що в цей час теоретично вирішене тільки завдання визначення часу нагрівання пакета, який склеюється, до бажаної температури в будь-якій точці його поперечного перерізу. Зокрема, Кирилов Н.М. виділяє три способи визначення часу склеювання пакета шпона: експериментальний, заснований на проведенні декількох пробних запресовувань при різному часі склеюван-

ня з наступним визначенням міцності склеювання; розрахунково-графічний, заснований на використанні кривої прогріву пакета даної товщини $t=f_1(\tau)$ і кривої затвердіння клею даної марки $t=f_2(\tau)$; визначення часу склеювання за допомогою спеціального приладу [3].

Достатньо широке поширення одержав також графоаналітичний метод Ковальчука Л.М., в основі якого лежить формула [5]:

$$\tau = 39 \cdot 10^{-4} \frac{\delta^2}{\alpha} \lg(1.273 \frac{T_П - T_0}{T_П - T_K} \cos\frac{\pi x}{\delta}), \quad (5)$$

де $T_П$ – температура плит преса;

T_0 – початкова температура пакета;

T_K – кінцева температура нагрівання даної точки пакета;

α – коефіцієнт температуропровідності пакета шпона;

x – відстань від площини симетрії пакета до крапок, у яких визначають температуру під час прогріву;

δ – товщина пакета шпона.

Під час розрахунку по формулі (5) основні труднощі полягають у визначенні оптимальної кінцевої різниці температур $\Delta T = T_П - T_K$,що визначається дослідним шляхом і тільки для деяких видів смол.

Заслуговує на увагу спосіб, запропонований Кириловим Н.М., відповідно до якого [3]:

$$\tau = \frac{\delta^2}{\lambda\pi^2} \ln\left[\frac{1}{1 - \frac{3.66}{f(T_П - T_к) \cdot \sin\frac{\pi x l}{\delta}}}\right], \quad (6)$$

де xl – відстань до найбільш віддаленого від джерела тепла клейового прошарку;

f – коефіцієнт затвердівання смоли.

Однак для розрахунків по формулі (6) необхідні додаткові дані щодо встановлення залежності величини f від відносної дальності клейового шару від джерела тепла, причому кожна смола має свій коефіцієнт f.

Структура наведених формул (5) і (6) показує, що вони враховують вплив технологічних факторів, що характеризують процес із погляду його інтенсифікації.

Тому користуватись формулами (5) і (6) для вирішення задачі (2), що складається в знаходженні:

$$\sigma\max = \max(P,T,Q,\tau,\upsilon,H),P,T,..,K \in \Omega \quad (7)$$

не можна, тому що вони потребують додаткових відомостей про процес і властивості смоли, яка використовується. Отже, становить певний інтерес знайти спосіб, що дозволяє одержати досить надійні результати і, у той же час, дає можливість визначити τ залежно від товщини пакета шпона.

Визначення оптимального часу склеювання фанери

У роботах Кирилова Н.М. та Ковальчука Л.М. отримано загальне рівняння процесу склеювання фанери на основі методу аналізу розмірностей [3,5]:

$$П_1 = C_0 П_2^{x_2} П_3^{x_3} П_4^{x_4} П_5^{x_5} П_6^{x_6} П_7^{x_7} П_8^{x_8} П_9^{x_9} П_{10}^{x_{10}} П_{11}^{x_{11}} \quad (8)$$

або:

$$П_1 = C_0 \left(\frac{\alpha\tau}{\delta^2}\right)^{x_2} \left(\frac{Q}{\rho\delta 1}\right)^{x_3} \left(\frac{\rho\tau^2}{Q\delta\delta}\right)^{x_4} \left(\frac{c\tau\tau 1}{P}\right)^{x_5} \left(\frac{\delta 1}{V}\right)^{x_6} \left(\frac{P}{\tau}\right)^{x_7} \left(\frac{\delta 1}{\delta}\right)^{x_8} \left(\frac{\rho 0}{\rho 1}\right)^{x_9} \left(\frac{V1}{V}\right)^{x_{10}} \left(\frac{V}{\alpha}\right)^{x_{11}} . \quad (9)$$

Зі співвідношення (1) видно, що аналіз міцності фанери можна робити як по кожному фактору окремо, так і при зміні їхнього будь-якого числа. При постійних значеннях усіх факторів, крім τ і δ, одержуємо:

$$\sigma = A\tau^{\gamma_\tau}\delta^{\gamma_\delta}, \tag{10}$$

звідки

$$\tau = c\delta\frac{\gamma_\delta}{\gamma_\tau}, \tag{11}$$

де *A* и *c* – деякі константи.

Для знаходження показників γτ і γδ необхідно скласти систему рівнянь.

Логарифмуючи рівняння (10), і беручи його для двох станів, одержуємо:

$$\lg\frac{\sigma}{\sigma 0} = \gamma_\tau \lg\frac{\tau}{\tau 0} + \gamma_\delta \lg\frac{\delta}{\delta 0} \tag{12}$$

Змінюючи в (12) кожен параметр окремо, одержуємо шукану систему рівнянь:

$$\lambda_\tau = \frac{\lg\frac{\delta}{\delta 0}}{\lg\frac{\tau}{\tau 0}}; \lambda_\delta = \frac{\lg\frac{\sigma}{\sigma 0}}{\lg\frac{\delta}{\delta 0}} \tag{13}$$

За нульовий рівень комбінації факторів приймемо експериментальні значення, отримані під час оптимізації процесу.

На підставі теореми Кирпичева-Гухмана подібні ті явища або системи, які описуються однаковими рівняннями зв'язку й умови однозначності яких подібні.

Подібність умов однозначності забезпечується рівністю визначальних критеріїв у випадку, якщо явища або процеси якісно однакові.

Дотримання цих двох вимог для даних явищ дозволяє по характеристиках одного процесу робити висновок про інше і, крім того, переносити основні параметри пресування, отримані для однієї товщини пакету шпону, на іншу товщину. Оскільки процеси склеювання фанери різної товщини якісно однакові і описуються одним рівнянням зв'язку (9), і умови однозначності їх подібні, то мають бути рівні і визначальні критерії. Виходячи з фізичних міркувань, а також аналізу загального рівняння процесу (9), перемножимо найбільш істотні критерії даного завдання $П_2$, $П_4$, $П_{11}$ – визначальний критерій теплообміну Фур'є, тобто час, необхідний для перебудови температурного поля усередині тіла.

$П_4$ – технологічний критерій, що характеризує міру відносної ефективності між силами тиску фронту смоли в умовах нестаціонарного процесу.

$П_{11}$ – визначальний критерій Прандля:

$$\Pi_K = \Pi_2 \cdot \Pi_4 \cdot \Pi_{11} = \frac{\alpha\cdot\tau}{\delta^2}\cdot\frac{P\cdot\tau^2}{Q\cdot\delta_1}\cdot\frac{\nu}{\alpha} = \frac{P\cdot\tau^3\cdot\nu}{Q\cdot\delta^2\cdot\delta_1}, \tag{14}$$

звідси

$$\tau = \sqrt[3]{\Pi_к \cdot Q \cdot \delta^2 \cdot \delta_1 / P \cdot \upsilon}, \tag{15}$$

або за умови збереження значень чинників постійними

$$\tau = \sqrt[3]{M \cdot \delta^2},$$

де *M* – є складною фізичною величиною, що враховує властивості смоли, породу деревини, знаходиться із співвідношення τ^2/δ^2. При цьому тривалість склеювання визначається експериментальним шляхом для однієї товщини фанери з використанням методів багатофакторного планування експерименту.

Результати розрахунків по формулі (14) наведені в табл. 1

для $M=1038{,}8\cdot10^{9.}$

Таблиця 1

Сума товщини шпону в $\delta \cdot 10^9$ пакеті, м

Сума товщини шпону, мм	9	10	11	12	13	14	15
Час склеювання, с	438	470	501	531	560	589	616

У таблиці 2 для порівняння приведені нормативи часу склеювання фанери, що діють, з деревини хвойних порід [5]:

Таблиця 2

Сума товщини шпони в $\delta \cdot 10^9$ пакеті, м

Сума товщини шпону,мм	9	10	11	12	13	14	15
Час склеювання, с	480	498	522	552	576	606	630

Порівняння цих даних показує, що розрахункові значення по формулі (14) для відповідної товщини в цілому менше, ніж нормативні.

Це пов'язано з тим, що використовуючи умову (7), час знаходився в позиції забезпечення максимальної міцності склеюваного матеріалу.

Невиправдане зменшення тривалості склеювання веде до міри затвердіння смоли, а внаслідок цього, до зниження міцностних характеристик склеюваного матеріалу. Тому критерієм для оцінки отриманих режимів повинна служити міцність матеріалу. Отже, діючі режими склеювання шпони мають деякі резерви часу.

Висновки

1. Використання рівняння міцності (1) дозволило вирішити завдання визначення часу склеювання шпону при забезпеченні:

$$\sigma_{max}=(P,T,\tau,\upsilon,Q,\delta,K)$$

2. Вживання теорем подібності дозволило:

- отримати просту по структурі формулу для визначення часу склеювання шпону;
- обґрунтувати можливість поширення отриманих оптимальних режимів склеювання пакета шпону для однієї товщини фанери на інші її товщини.

3. Результати досліджень дозволяють стверджувати, що діючі нормативи часу склеювання фанери можуть бути зменшені в межах $0 \leq \tau \leq 60$ *с* залежно від товщини пакета шпону.

Список використаних джерел

1. Кириллов Ю.В. Конструкционная фанера / Кириллов Ю.В. – М.: Наука, 1991. – 196с.
2. Справочник фанерщика / под ред. И. А. Шейдина. – М., 1986. – 638с.
3. Кириллов Н.М. Расчет процессов тепловой обработки древесины при интенсивном теплообмене / Кириллов Н.М. – М.-Я., 1959. – 564с.
4. Севастьянов К.Ф. Интенсификация процесса склеивания фанеры / Севастьянов К.Ф. – М., 1976. – 432с.
5. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций / Ковальчук Л.М. – М.: Наука, 1999. – 461с.

УДК 674.81:621.83

Д.Ю. Федориненко, канд. техн. наук
С.П. Сапон, ст. викладач
В.В. Бережанський, інженер
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГРАНУЛЯТОРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ

Запропонована вдосконалена конструкція прес-гранулятора для переробки відходів деревини, що забезпечує підвищення продуктивності робочого процесу гранулювання та зменшення собівартості його виготовлення.

Постановка проблеми

В умовах сучасної ринкової економіки для держави дуже гостро постає проблема постійного здорожчання енергоносіїв, що, в свою чергу, спричиняє зростання собівартості виготовлення виробів фактично в усіх галузях економіки країни. В цих умовах постає проблема пошуку альтернативних джерел енергії. Одним з таких джерел є пелети – деревні гранули, які виготовляють з подрібнених деревних відходів шляхом їхнього пресування.

Деревообробка та деревопереробка, як відомо, пов’язані з величезними втратами деревини. На етапі заготівлі лісу відходи можуть досягати декількох десятків відсотків від початкового об’єму. Типова лісопилка перетворює близько 60% вихідної сировини в дошки, все інше – відходи технологічного процесу обробки деревини. Споживання відходів деревообробної промисловості, особливо деревних гранул як виду палива зростає в Європейському Союзі щорічно майже на 30%. Запаси сировини для виробництва біопалива в Україні вимірюються в мільйонах кубометрів щорічно, що створює передумови не тільки для його експорту в країни Євросоюзу, але і для широкого використання на внутрішньому ринку.

Отже, використання відходів переробки деревини у якості біопалива та розробка машин для його виготовлення є перспективним шляхом розвитку паливно-енергетичного комплексу та деревопереробної промисловості України.

Аналіз досліджень і публікацій

Застосування паливних гранул є більш ефективним способом у порівнянні з прямим використанням деревних відходів в якості палива [1]. Гранули виділяють більше тепла, ніж тирса і тріска, збільшуючи коефіцієнт корисної дії котелень, не вимагають великих складських площ і при зберіганні не самозаймаються.

Широке використання для виготовлення паливних гранул у промисловості знаходять прес-гранулятори деревної тирси. Основним недоліком конструкції гранулятора SKJ виробництва Zhangqiu Yulong Machine [2] є низька продуктивність (до 0,8 тон/год) та наявність ручного двохступінчастого регулювання вузла гранулювання. Значною мірою позбавлена вказаних недоліків конструкція гранулятора ОГМ 1.5 [3], що має одноступінчасту систему керування та більш високу продуктивність (до 3 тон/год). Конструкція гранулятора AMANDUS виробництва KAHL Group [4,5] має автоматичну систему керування положенням ролика відносно матриці та продуктивність до 5 тон/год. Проте зазначена конструкція вимагає окремого джерела стисненої рідини для гідроприводу системи керування, додаткових вимірювальних та силових засобів, що призводить до здорожчання гранулятора майже в 5 разів по відношенню до ОГМ 1.5.

Проте, незважаючи на накопичений практичний досвід, завдання щодо створення конкурентоспроможних конструкцій грануляторів шляхом підвищення продуктивності одночасно із зниженням їх собівартості виготовлення до сих пір не розв’язане та потребує подальшого дослідження.

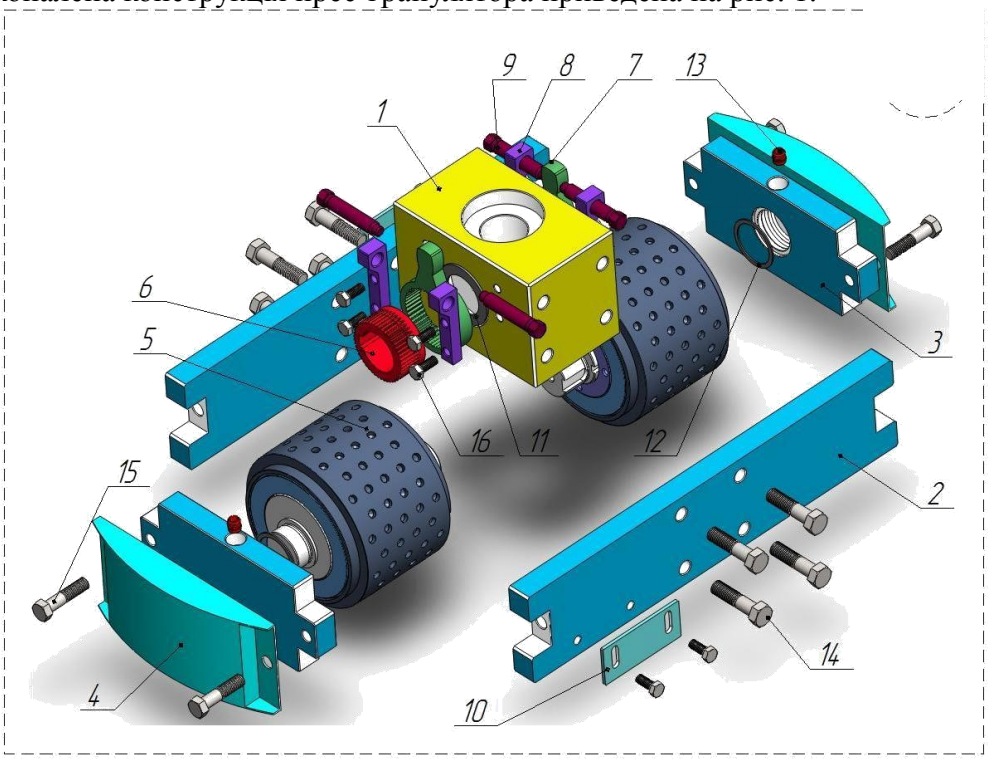
Мета статті

Розробка та аналіз удосконаленої конструкції прес-гранулятора ГДМ для гранулювання відходів деревообробки шляхом підвищення її продуктивності та зниження собівартості виготовлення.

Виклад основного матеріалу

Визначальним з точки зору забезпечення високої якості паливних гранул є вузол гранулювання прес-гранулятора для переробки відходів деревини. Сутність удосконалення базової конструкції полягає у використанні у вузлі гранулювання дискової матриці, що забезпечує підвищення продуктивності робочого процесу формування гранул та одночасно зменшує собівартість конструкції гранулятора.

Удосконалена конструкція прес-гранулятора приведена на рис. 1.

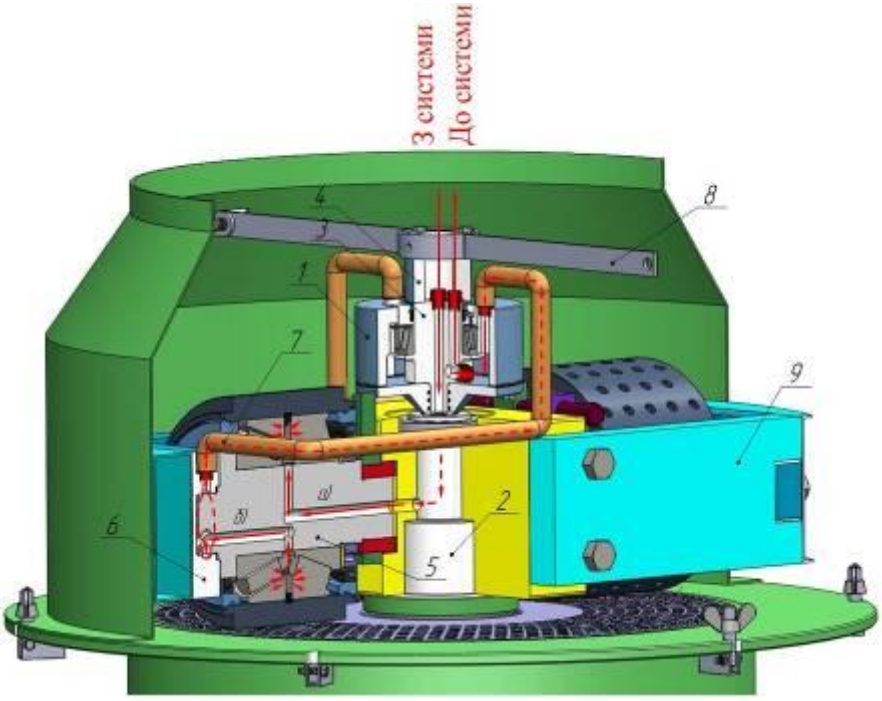


1 – головка, 2 – пластина, 3 – торцева пластина, 4 – пластинка зварна, 5 – ролики. 6 – шестерня, 7 – обойма, 8 – важіль, 9 – гвинт, 10 – пластина, 11,12 – гумові прокладки, 13 – штуцер, 14-16 - болти

Рис. 1. Удосконалена конструкція прес-гранулятора

Виконавчий елемент механізму представляє собою голівку 1, до якої гвинтами 14 кріпляться бічні пластини 2, до яких, у свою чергу, гвинтами 15 кріпляться торцеві пластини 3 та зварні пластинки 4. Між голівкою 1 та торцевими пластинами 3 розташовані ролики 5, зв'язані з системою регулювання за допомогою шпонкового з'єднання. Для запобігання протікання циркулюючого мастила контактуючі елементи ущільнені в торцях валу ролика 5 гумовими прокладками 11 та 12. В торцевих пластинах 3 розташовані штуцери 13 для з'єднання з резервуаром системи мащення підшипників ролика (рис. 2).

Для змащування підшипників ролика було розроблено систему мащення, що надає можливість підвести мастило безпосередньо до вала 2 (див. рис. 2). Вал 2 обертається навколо власної осі разом з прес-голівкою 9 та резервуаром системи мащення 1. Вал 3 з'єднаний через втулку 4 та повідок 8 з кришкою гранулятора.



1 – резервуар, 2 – вал, 3 – вал, 4 – втулка, 5 – вал ролика, 6 – прес-голівка, 7 – трубка, 8 – повідок, 9 – прес-голівка

Рис. 2. Конструкція системи мащення підшипників ролика

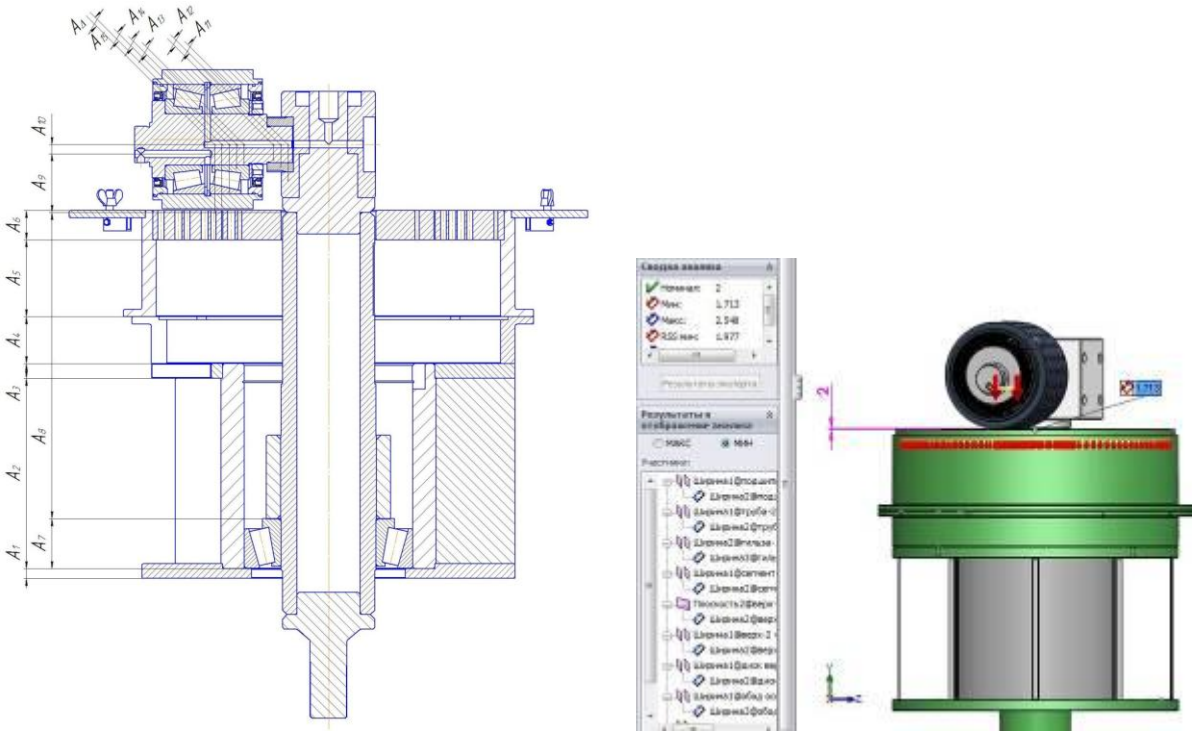
Мастило під тиском потрапляє до маслопідвідних каналів вала 2 через центральний отвір вала 3, звідки через канал голівки та підвідні канали вала ролика 5 надходить до внутрішньої порожнини ролика та, заповнюючи її, змащує підшипники. Відведення мастила здійснюється відвідними каналами вала ролика 5 до проточки торцевої пластини прес-голівки 6. Далі мастило через трубку 7 потрапляє до внутрішньої порожнини резервуару 1, звідки через боковий канал вала 3 знову надходить до системи мащення.

Одним з основних факторів, що впливає на виконання службового призначення удосконаленої конструкції гранулятора, є величина зазору між зовнішньою поверхнею обичайки та матрицею. Величина зазначеного зазору істотно впливає на мікроструктуру і міцність гранул. У процесі складання вузла величина зазору повинна становити $A_{\Delta}= 2^{+0,548}_{-0,287}$ мм.

З метою забезпечення точності складання засобами модуля Tolanalyst програмного середовища SolidWorks виконано розмірний аналіз конструкції вузла гранулювання. На рис. За в якості прикладу приведений розмірний ланцюг, що визначає точність зазору A_{Δ}. За результатами розрахунку розмірного ланцюга A імовірнісним методом (див. рис. 3б) визначені норми точності на складові ланки ланцюга.

Проведено аналіз напружено-деформованого стану вузла гранулювання та визначені фактичні напруження, деформації та переміщення деталей вузла на розрахункових навантаженнях.

В якості прикладу розглянемо знаходження коефіцієнта запасу міцності коробки прес-голівки засобами CAE системи CosmosWorks. Згідно з технічного завдання на проектування гранулятора коефіцієнт запасу міцності деталей вузла повинен знаходитися в межах значень 2,5…3,5. Під час розрахунку коробки прес-голівки вузла гранулювання враховувався крутний момент, створюваний на вихідному валу редуктора гранулятора, робочі навантаження локального характеру, що виникають у процесі гранулювання та сили тяжіння. Розрахункова епюра коефіцієнта запасу міцності приведена рисунку 4.



а) *б)*

Рис. 3. Розмірний ланцюг а: який визначає точність зазору між зовнішньою поверхнею обичайки та матрицею та фрагмент розрахунку ланцюга; б) визначається засобами SolidWorks

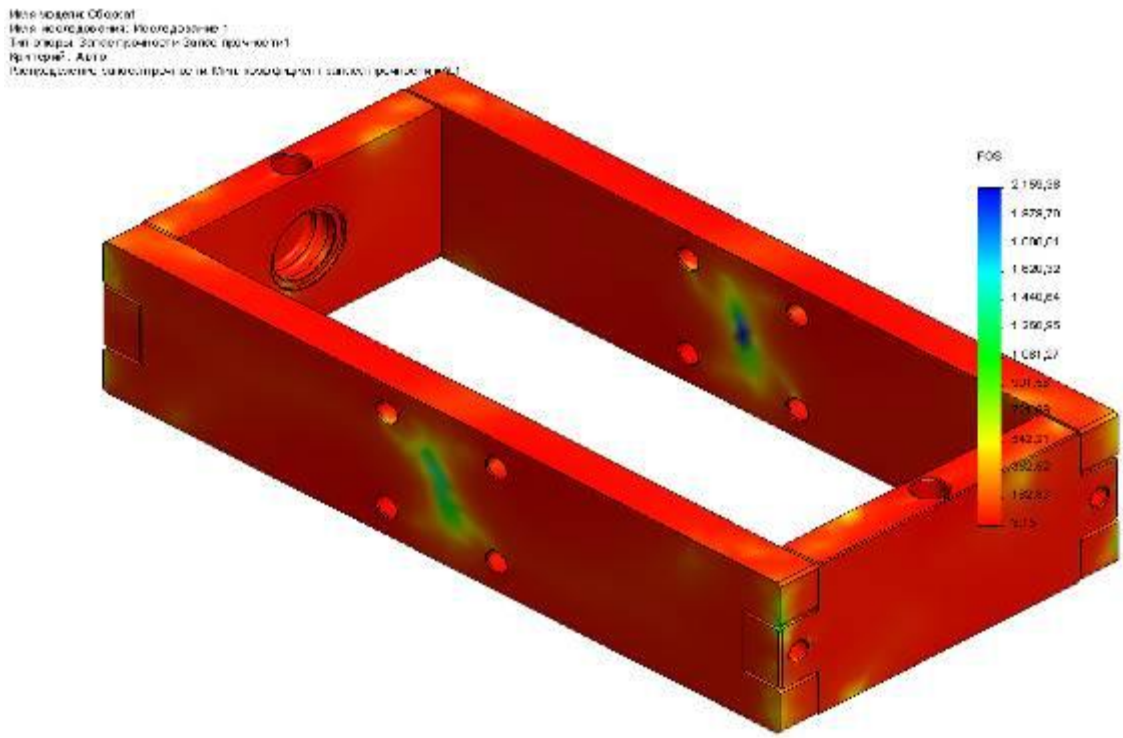


Рис. 4. Епюра коефіцієнта запасу міцності коробки прес-голівки

У результаті аналізу встановлено, що мінімальне значення коефіцієнта запасу міцності становить 3,15, яке відповідає умовам технічного завдання.

За аналогічною методикою здійснюється аналіз інших деталей вузла гранулювання удосконаленої конструкції.

Висновки

У роботі з метою підвищення конкурентоспроможності запропонована вдосконалена конструкція прес-гранулятора ГДМ з плоскою матрицею, що забезпечує підвищення продуктивності переробки відходів деревини та зменшення собівартості виготовлення машини.

Розглянуті в роботі наукові підходи щодо аналізу конструкції засобами програмного середовища SolidWorks можуть бути поширені на технологічні машини широкої номенклатури.

Список використаних джерел

1. Мальований М.С. Створення палива на основі деревної стружки / Мальований М.С., Бать Р.Я. // Перший Всеукраїнський з'їзд екологів: тези доповідей (4-7 жовтня 2006 р.). – Вінниця, 2006. – С. 210.
2. Режим доступу: http://www.woodheat.ru.
3. Режим доступу: http://www.wood-pellets.com.
4. Режим доступу: http://www.akahl.de/akahl/ru/ru_presse/ru_presseinformationen/ru_Holzpelletierung.
5. Долуд М. Современное оборудование и технологии вторичной переработки отходов и производства альтернативного топлива / Михаил Долуд. – Amandus Kahl GmbH &Co. KG. – 67 с.

УДК 674.05

С.В. Бойко, канд. техн. наук
М.Ф. Нікітенко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПЕРСПЕКТИВНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДЕРЕВООБРОБКИ

Проведено аналіз ефективних видів деревообробного обладнання, розглянуто стан сучасного ринку, особливості вибору і планування верстатного парку деревообробного підприємства і перспективи його розвитку.

Постановка проблеми

Сучасний розвиток прогресивних технологій, який до останнього часу майже не торкався деревообробників України, з початком третього тисячоліття прорвався у цю галузь. Про це свідчать експонати, представлені на останніх виставках в Україні. А виробники сучасних оброблювальних центрів з числовим програмним керуванням (ЧПК) на основі новітніх технологій та ноу-хау неминуче стають лідерами у своїх сегментах ринку.

На балансі деревообробного або меблевого підприємства устаткування – один з найважливіших і самих витратних чинників, що визначає ефективність і рентабельність виробництва. Від правильного вибору й організації роботи устаткування залежить собівартість продукції, що випускається підприємством, а отже, й її конкурентоспроможність. Придбання нового устаткування і введення його в експлуатацію вимагають системного підходу, який включає:

- обгрунтований вибір устаткування;
- грамотне складання контракту з виробником (постачальником);
- організацію приймання і зберігання; введення в експлуатацію;
- дотримання заходів безпеки під час експлуатації; відповідність характеристик машини режимам і умовам експлуатації;
- планове технічне обслуговування;
- діагностику;
- відповідність кваліфікації працівників підприємства рівню устаткування;
- постачання запасними частинами й облік їх витрат;
- оперативне та якісне проведення позапланових ремонтів;
- наявність і використання документації; своєчасне списання;
- утилізацію замінюваних машин і вузлів.

Вибір устаткування вітчизняні деревообробники роблять, як правило, виходячи з миттєвих потреб виробництва. Вони не проводять глибокого аналізу поточної ситуації і навряд чи роблять прогнози на найближчі роки, тому закупівлі здійснюються в основному імпульсивно, без врахування перспективи розвитку підприємства. Ось чому основна проблема полягає не стільки в процедурі вибору устаткування, скільки в плануванні його своєчасного придбання.

Аналіз досліджень і публікацій

Конструкції верстатів, загальна компоновка яких була розроблена майже сорок років тому, мають ряд досить серйозних недоліків: обмеження за швидкістю робочого і холостого ходів за рахунок наявності великих рухомих мас як при завантаженні верстатів, так і при знятті оброблених деталей, велика площа, займана устаткуванням і т.д. У той же час вже давно відомі верстати з вертикальним розташуванням деталей під час їх обробки (для розкрою плит, облицювання кромок, фрезерні і т. д.), конструкція яких дозволяє вирішити ряд добре відомих проблем.

Цікаві і перспективні рішення пропонує італійська фірма Brenna Maccine s. r. l., що поставляє своє устаткування під торгівельною маркою Bre. Ma.

Номенклатуру устаткування фірми складають п'ять модельних рядів оброблювальних центрів: Vektor, Arkia, Eureka, Idrak і Krono, а також відповідне устаткування і автоматичні завантажувальні пристрої [1, 2]. На відміну від звичайних оброблювальних центрів, всі ці верстати прохідного типу і засновані на принципі обробки плоских заготовок, закріплених у вертикальному положенні.

Наступний представник деревообробного обладнання – це компанія Koimpex S.r.l. Устаткування, що поставляється ними, – це весь спектр деревообробного устаткування, від первинної переробки деревини, лісопиляння і до устаткування для розкрою плиткового матеріалу і виробництва меблів. Все, включаючи пакувальне устаткування [3].

Проектуванням і виготовленням обробних центрів зайняті ряд фірм Німеччини /Reichebacher, Homag, МАКА, Еіма, SCHEER, Weeke та ряд інших/, Італії, Busellato, SCM, C.M.S, VALERI ELIO та інші/, Японії /Shoda та інші/, США /Thermwood/ та інші), Англії /Wadkin та ін./ та інших країн. Обробні центри компонуються по агрегатному принципу залежно від потрібних завдань обробки і призначення. Так, відома на ринку деревообробного обладнання фірма "Reichenbacher" пропонує оброблювальні центри з модульною компоновкою агрегатів для фрезерування, свердління, пиляння, шліфування, управління яких може проводитись по осях, кількістю до дев'яти [4].

Мета статті

Метою роботи є аналіз сучасного ринку деревообробних технологій, вивчення можливостей, різновидів обладнання і перспектив розвитку деревообробної галузі.

Виклад основного матеріалу

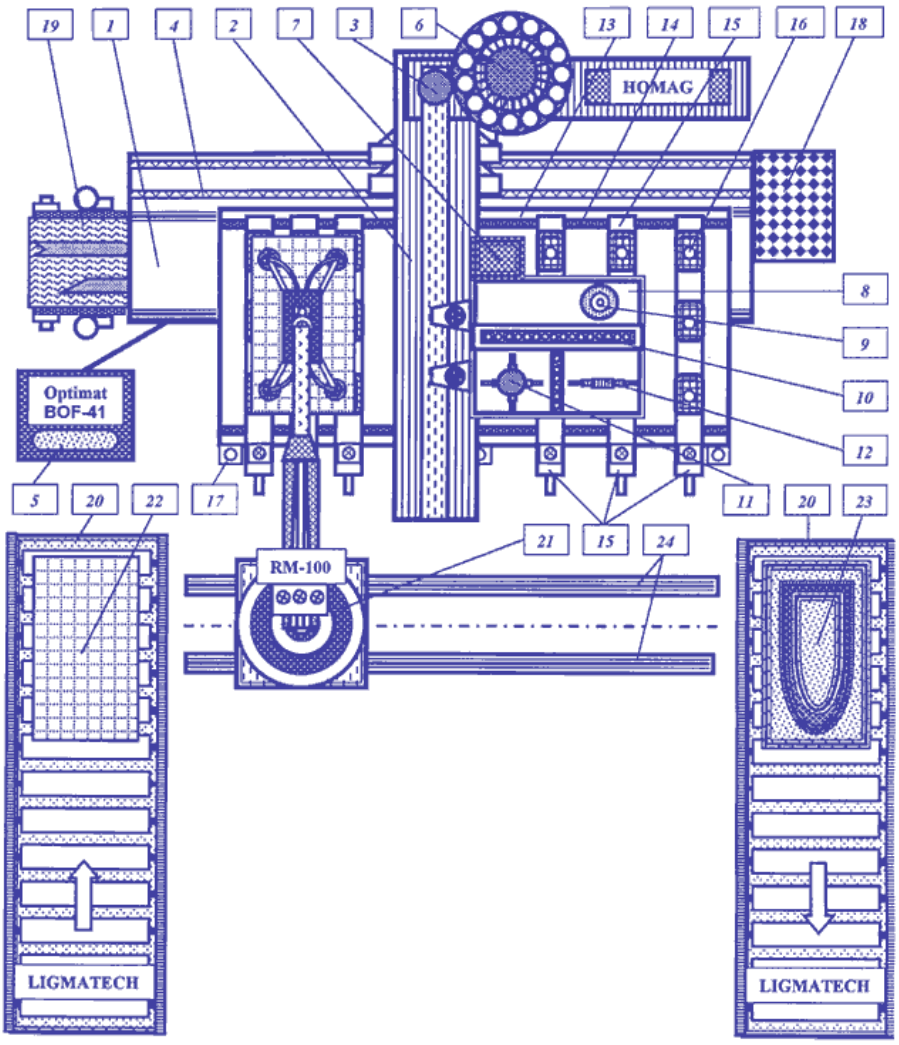
Деревообробні центри з ЧПУ (ДЦ з ЧПК) – гнучке технологічне обладнання, що здатне автономно функціонувати в автоматичному режимі та швидко переналагоджуватись на інший вид об'єкта виробництва. Властива центрам найвища якість оброблення разом з максимальною гнучкістю і оперативністю принципово недосяжні з технологіями минулого століття. Ювелірна точність виготовлення деталей, усунення впливу людського фактора на якість продукції гарантують ліквідність виробів з деревини і високу рентабельність виробництва.

ДЦ з ЧПК є основою гнучких виробничих модулів (ГВМ), тобто придатні для роботи у гнучкій виробничій системі. Наявність у ДЦ числового програмного керування дає змогу програмувати зміст робочого циклу, тобто послідовність дій виконавчих пристроїв ДЦ та величини переміщень робочих органів (режим оброблення – геометричну та швидкісну характеристики).

Для роботи в автоматичному режимі, для випуску виробів широкої номенклатури ДЦ з ЧПК, крім комбінованої системи числового програмного керування, обладнуються багатошпиндельними (6-36 шпинделів) свердлильно-присадочними групами, уніфікованим автоматичним агрегатним вузлом, пристроєм (автооператором) для автоматичної заміни інструментів, уніфікованим автоматичним столом з ЧПК з вакуумною установкою для надійної та швидкої фіксації виробів, системою видалення відходів тощо.

При входженні ДЦ з ЧПК до складу виробничого модулю вони оснащуються допоміжними пристроями – пристроями обслуговування (накопичування, транспортування, завантаження-розвантаження, видалення відходів) і пристроями програмного контролю (контролю оброблювальних деталей, діагностування стану обладнання та інструменту, вимірювання, регулювання та аварійного захисту) та керування (системами логічного керування ДЦ та ГВМ, керування в автоматичному режимі) [5].

Так, ГВМ на основі, наприклад, сучасної моделі OPTIMAT BOF-41 фірми HOMAG з універсальними можливостями для оброблення плоских деталей з деревини та деревних матеріалів має таку будову (рисунок 1).



1 - корпус; 2 - рухома консоль; 3 - кроковий двигун постійного струму для прецизійного оброблення; 4 - гвинтова передача; 5 - комп'ютерний пульт управління; 6 - магазин інструментів; 7 - автооператор для заміни інструментів та агрегатів; 8 - уніфікований агрегатний вузол; 9 - головний шпиндель, 12 кВт; 10 - свердлильно-присадочна група, 17 шпинделів; 11 - чотирибічний горизонтально-свердлильно-фрезерний агрегат; 12 - нахиляюча та повертаюча пилка); 13 - уніфікований консольний стіл маятникового типу; 14 - гвинтові направляючі; 15 - рухомі траверси; 16 - вакуумні присмоктувачі з лазерним наведенням; 17 - висувні упори; 18 - вакуумна установка потужністю 300 м3/год; 19 - стрічковий транспортер для видалення відходів; 20 тактові рольганги; 21 - промисловий робот; 22 - заготовка; 23 - деталь; 24 - рейки

Рис. 1. ГВМ на основі сучасної моделі OPTIMAT BOF-41 фірми HOMAG

Для прикладу можна привести одну з моделей фірми RANC 230 AMC, що має 1-3 робочі шпинделі з приводом потужністю 7,5 кВт., високооборотний інструмент до 18000 об/хв, магазин на 24 інструменти, стіл для закріплювання деталей розміром 3250х1500 мм.

Швидкість подачі – 30 м/хв. по координатах х/у, максимальна швидкість позиціювання до 42 м/хв.

На такому центрі можливо виготовляти елементи оздоблення будівель /двері, вікна, деталі шаф тощо. Для надання форми трьохвимірним об’ємним деталям можуть бути встановлені робочі головки на карданних опорах.

Для особливо відповідальних фрезерних робіт при виготовленні меблів і столярних виробів фірмою "МАКА" пропонуються обробні центри HC,ZBF та інші, що виконані в консольному виконанні, а також з переміщуваною або стаціонарною основою.

Вони дозволяють виконувати операції фрезерування, пиляння, свердління, обробку кромок різноманітними інструментами. Обробний центр HC 55 призначений для обро-

бки деталей внутрішніх дерев'яних сходів та дверей. Модель МАКА ZBF 350, що розроблена для обробки масивної деревини при виробництві дверних блоків, має магазин інструменту на 30 місць.

Фірмою Weeke розроблено обробний центр BP 165 з комп'ютерним керуванням по 8 осях, що дозволяє виконувати операції з деталями складної геометричної форми. Передбачено також адаптований фрезерний шпиндель з інтегрованою С-віссю.

Деякі фірми пропонують спеціалізовані обробні центри. Так, фірмою "Evers Partner" розроблено обробний центр для виконання з'єднання на цвяхах і шурупах зі знімальними та штабелювальними пристроями.

Рис. 2. Обробний центр для виконання з`єднання на цвяхах і шурупах фірми Evers Partner

Пропонуються також різноманітні виконання обробних центрів. Так, фірмою "Rautec" вперше в обробних центрах для деревообробки застосовано трьохгранний призматичний стіл, на гранях якого кріпляться деталі, що обробляються – модель Protos. Знімання обробленої деталі і установка нової здійснюється в позиції завантаження. При цьому на інших двох гранях не переривається розпочата обробка чергових деталей. Обробку не проводять тільки в момент повороту столу, при цьому збір і відвід пилу, стружки і кускових відходів ведеться безперервно.

Обробний центр моделі BC 2000 фірми C.F.Scheer виконано з вертикальним робочим столом, гладка поверхня якого утворює з вертикаллю кут 15. Це полегшує маніпуляції з громіздкими оброблювальними деталями, спрощується збір відходів і зменшується потрібна виробнича площа. При цьому габарити оброблювальних деталей можуть доходити до 1000x2500 мм, для закріплення яких використовується різноманітна вакуумна техніка.

Оскільки обладнання такого типу дороге, для підвищення коефіцієнта його використання можлива комплектація двома робочими столами для почергового завантаження і зняття деталей. Це також покращує умови роботи оператора.

Окремі моделі обробних центрів, наприклад, Rover 20 фірми Biesse-Koch призначені для підприємств малої продуктивності з дрібносерійним виробництвом.

Обробні центри відносяться до обладнання, що безперервно і досить активно удосконалюються. Так, наприклад, для розширення можливостей автоматичного керування процесом обробки деталей пропонується більш широке використання електронних мікрочипів, що характеризують розміщення ріжучих кромок та інші показники по конкретному застосованому ріжучому інструменту. Замість ускладнення програмного керування під час обробки деталей з деревних матеріалів з різними властивостями простіше використовувати конкретні дані в електронному мікрочипі застосованого інструменту по оптимальних швидкостях різання і подачі для даного деревного матеріалу та різання по напрямах відносних осей деревини.

Розроблені системи ідентифікації ріжучого інструмента для оброблювальних центрів після переточки. Для цього на вимірювальному пристрої визначаються положення ріжучих кромок вздовж осі інструмента або по радіусу та інші показники. Всі отримані дані записуються в електронному мікрочипі, що знаходиться на хвостовику інструмента.

Досвід роботи підприємств, що експортують обробні центри, свідчить про ефективність їх застосування. Як приклад, можна навести інформацію про роботу підприємства фірми Zima Edelholzturen GmbH (Німеччина), що спеціалізується на виробництві комбінованих дверей, полотно яких виготовляється з масивної деревини цінних порід, а коробка із загальноприйнятих матеріалів. Основним вузлом верстатного парку, що є на підприємстві, є обробний центр фірми Homag AG з програмним керуванням системи PRS. З допомогою центра здійснюється комплектна обробка дверного полотна. На обробку одного полотна, за даними підприємства, витрачається 6 хвилин. При цьому є автоматичний завантажувальний пристрій, вузли розбирання штабеля заготовок і штабелювання готових дверних полотен, магазин інструменту ємкістю до 50 одиниць.

На Україні даний тип обладнання тільки розпочинає застосовуватись і лише окремі його види. В Українському НДІ механічної обробки деревини проводились дослідження процесу фрезерування деревних матеріалів кінцевим фасонним інструментом з постійно змінним напрямом подачі відносно волокон [6, 7]. Дослідження проводилися на гнучкому виробничому модулі, виготовленому НВО "Ротор". Він складається з верстата СМ-600 ФЧ системи числового програмного керування (ЧПК), "Мікролід" 62-1" пристроїв подачі повітря, охолоджуючої рідини і видалення стружки.

Виконані дослідження показали, що дане обладнання забезпечує якісну профільну обробку деревних деталей і рекомендовано його застосування на деревообробних і меблевих підприємствах при виготовленні декоративних елементів меблів та інших виробів.

Слід відзначити, що не дивлячись на обмежені технічні можливості у порівнянні із зарубіжним, іншого вітчизняного обладнання даного типу поки не існує. Обробні центри зарубіжних фірм, хоч спостерігається деяке зниження цін на них, все ж залишаються досить дорогим обладнанням для вітчизняних підприємств. Для створення ж дійсно конкурентоспроможної меблевої та іншої продукції з деревини необхідне оснащення підприємств новітніми технологіями та обладнанням, у тому числі й обробними центрами.

Висновки

Для створення на підприємстві успішно функціонуючого, збалансованого та ефективного верстатного парку, який виконуватиме всі поставлені перед ним завдання, набуваючи нового устаткування, потрібно комплексно підходити до вирішення питання вибору кожного верстату.

І хоча на сьогодні в Україні є потужний машинобудівний комплекс, підприємства якого ще в 1990 році випускали біля 3200 верстатів з ЧПК і порядку 1800-2000 одиниць у рік промислових роботів, однак для його підтримки необхідна наукова і проектна база, але зараз даний потенціал через економічні обставини залишився не задіяним.

Список використаних джерел:

1. Обрабатывающие центры с ЧПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.stanki.woodex.ua.
2. Режим доступу: www.woodex.ua.
3. Оборудование деревообрабатывающее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tora.com.ua.
4. «ЛесПромИнформ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lesprominform.ru.
5. Деревообробне обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.meblevyk.info.
6. Ринок деревообробного обладнання України 2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.derevo.info.
7. Деревообробник [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.derevo.com.ua.
8. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини / Войтович І.Г. – Львів: Інтелект-Захід, 2004. – 224 с.

УДК 658.516

А.М. Єрошенко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОСОБЛИВОСТІ СЕРТИФІКАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ ДЕРЕВООБРОБЛЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Проведено аналіз метрологічного забезпечення малих і середніх підприємств деревообробльовальної галузі. Визначені особливості впровадження стандартів ISO/IEC 17025 і ISO 9001/ ISO 9002. Проаналізована проблема компетентності й атестації вимірювальних і калібрувальних лабораторій в умовах системи управління якістю.

Постановка проблеми

Одним з головних чинників конкурентоспроможності продукції деревообробних підприємств є її сертифікація.

Основними методами оцінки відповідності продукції, що сертифікується, вимогам нормативних документів вважаються:

1. Вимірювання. Мета методу – визначення значення параметра (величини) і того, наскільки близькі отримані результати вимірювання дійсному значенню. Показники точності визначаються допустимою похибкою вимірювань.

2. Випробування. Мета методу – аналогічна меті вимірювання, тільки при заданих факторах і режимах, які визначають значення параметра (величини) і того, наскільки близькі отримані результати вимірювання дійсному значенню при заданих факторах і режимах випробувань, показник точності визначається сумою похибок факторів, режиму і вимірювань.

3. Контроль. Мета методу – встановлення того, що параметр (величина) при заданих факторах і режимах випробування знаходиться в межах заданого допуску, а також того факту, що ступінь достовірності знаходження величини (параметра) не виходить за допустимі межі. Показник точності визначається ймовірністю помилок I і II роду з урахуванням похибки вимірювань [1].

Особливості застосування кожного з даних методів у першу чергу визначаються завданнями, які покликана вирішувати випробувальна лабораторія в процесі сертифікації продукції.

Завдання сертифікаційних випробувань – отримання якісних або кількісних характеристик продукції, тобто проведення оцінки здатності продукції, що сертифікується, виконувати покладені на неї функції в заданих умовах.

Завдання контролю – встановити, чи відповідають характеристики продукції величинам, що задані в нормативних документах (і за результатами випробувань у тому числі).

Сертифікаційні випробування мають право проводити лише лабораторії, які відповідним чином пройшли акредитацію на здійснення відповідних досліджень. У тому випадку, коли випробувальна лабораторія, що має акредитацію на незалежність і технічну компетентність, знаходиться на значній відстані від реального деревообробного виробництва, ускладнюється доставка зразків, що призводить до подорожчання вартості проведення випробувань і подовження термінів їх проведення. Тому актуальною є проблема сертифікації місцевих лабораторій за стандартом ISO/IEC 17025 – Загальні вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій, який встановлює загальні вимоги до компетентності лабораторій у проведенні випробувань або калібрувань, включаючи відбір зразків, випробування і калібрування, що проводяться за стандартними і нестандартними методиками і методами, розробленими лабораторією.

Аналіз досліджень і публікацій

Роботу з впровадження стандарту ISO/IEC 17025 очолює Національне агентство з акредитації України, яке регулярно проводить науково-практичні семінари і виставки.

Значну увагу проблемі приділяє Асоціація "Українські акредитовані органи з оцінки відповідності", яка розробляє рекомендації з впровадження стандарту і метрологічного забезпечення випробувальних і калібрувальних лабораторій. Проблема впровадження стандарту, незалежності і компетенції метрологічного забезпечення деревообробного виробництва, атестації вимірювальних і калібрувальних лабораторій, визнання результатів їх роботи, активно аналізується метрологами і науковцями, які досліджують проблеми стандартизації, сертифікації та якості. Науковці пропонують свої шляхи розв'язання проблеми і проводять критичний аналіз процесу впровадження, в якості прикладу варто згадати роботи В. Новікова і А. Коцюби [2].

Мета статті

Метою роботи є аналіз проблеми впровадження стандарту ISO/IEC 17025 в умовах вимірювальних і калібрувальних лабораторій і визначення особливостей атестації метрологічного забезпечення деревообробного виробництва.

Виклад основного матеріалу

У деревообробній промисловості контроль лінійних розмірів, форми і вологості деталей і вузлів з деревини в більшості випадків проводиться вибірково, що недостатньо для досягнення необхідної якості виробів. Високі вимоги до якості виробів з деревини під час деревообробки вимагають впровадження у виробництво нових сучасних методів контролю.

Атестація вимірювальних лабораторій регламентується статтями 10, 22, 24, 37, 38 Закону України "Про метрологію і метрологічну діяльність". Організація і порядок проведення атестації в державній метрологічній системі встановлені "Правилами уповноваження і атестації в державній метрологічній системі", затвердженими наказом Держспоживстандарту України від 29 березня 2005 року №71 і зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 13 квітня 2005 року під № 392/10672.

ДП "Укрметртестстандарт" проводить атестацію вимірювальних лабораторій, які виконують вимірювання у сфері та поза сферою поширювання державного метрологічного нагляду на незалежність і технічну компетентність.

Атестація передбачає наступні етапи:

- надання заявок на проведення;
- розгляд заявок і наданих документів, ухвалення рішення;
- укладання договорів на проведення атестації;
- проведення експертизи документації;
- розробка і затвердження програми перевірки;
- проведення перевірки, оформлення матеріалів по її результатах;
- ухвалення рішення про атестації, оформлення свідоцтва про атестацію.

Вимоги до структури і змісту документів, які додаються до заявки, зазначені в додатку 2 до п.5.4 "Правил уповноваження і атестації в державній метрологічній системі", критерії атестації приведені в розділі 4 Правил.

Під вимірювальною лабораторією розуміється підприємство, установа, організація або їх окремі підрозділи, які проводять вимірювання фізичних величин, визначення хімічного складу, фізико-хімічних, фізико-механічних та інших властивостей і показників речовин, матеріалів і продукції, за винятком вимірювань, пов'язаних з оцінкою відповідності продукції, процесів, послуг, з документальним оформленням їх результатів.

Як правило, деревообробне виробництво розміщується на малих або середніх підприємствах, що унеможливлює створення вимірювальних і калібрувальних лабораторій у структурі підприємства. Відкриття подібної лабораторії в умовах деревообробного виробництва є економічно недоцільним. Тому такі підприємства мають звертатися до сторонніх організацій, які мають атестовані лабораторії.

Згаданий стандарт застосовується для всіх організацій, що здійснюють випробування та калібрування. До їх числа входять, наприклад, лабораторії, що є першою, другою або третьою стороною, а також лабораторії, де проводяться випробування та калібрування, що становлять частину контролю і сертифікації продукції.

Стандарт ISO/IEC 17025 розповсюджується на всі лабораторії незалежно від чисельності персоналу або видів їх діяльності в області випробувань і калібрувань. У тому випадку, якщо лабораторія не здійснює один або більше видів діяльності, встановлених стандартом, таких як відбір зразків і проектування або розробка нових методів, вимоги відповідних розділів на них не розповсюджуються.

Стандарт є результатом великого досвіду впровадження Керівництва ISO/IEC 25 і EN 45001, замість яких він тепер діє. У ньому містяться всі вимоги, яким випробувальні та калібрувальні лабораторії повинні відповідати, якщо вони мають намір показати, що в них діє система якості та вони технічно компетентні і здатні отримувати технічно обґрунтовані результати.

Органам з акредитації, які визнають компетентність випробувальних та калібрувальних лабораторій, слід засновувати свою діяльність на цьому стандарті. Розділи стандарту містять вимоги до розумного управління і до технічної компетентності в галузі випробувань або калібрування, які проводить лабораторія.

Запровадження систем якості в цілому посилило необхідність упевнитися в тому, що лабораторії, що входять до складу різноманітних підприємств, можуть використовувати системи якості, що вважаються відповідними ISO 9001 або ISO 9002 і згаданому стандарту (ISO/IEC 17025). Особлива увага зверталася на включення всіх вимог ISO 9001 та ISO 9002, які відносяться до випробувань і калібрування, що проводяться у відповідності з системою якості лабораторії.

Таким чином, випробувальні та калібрувальні лабораторії, які виконують вимоги цього стандарту, будуть діяти і відповідно до вимог ISO 9001 або ISO 9002. Сертифікація за ISO 9001 та ISO 9002 ще не демонструє компетентності лабораторії отримувати технічно обґрунтовані дані та результати. Часто підприємства гарантують якість і безпеку своєї продукції міжнародним сертифікатом ISO 9001.

Між тим, як стандарти серії ISO9000, і зокрема ISO9001, визначають не якість продукції, а систему контролю якості. Цей стандарт не має відношення до якості продукції і тим більше до її екологічної безпеки. Тобто продукт може бути яким завгодно, важливо лише те, що він відповідає якимось технічним умовам, і якість його не змінюється від партії до партії.

Визнанню результатів випробувань і калібрувань різними країнами слід сприяти в тому випадку, якщо діяльність лабораторії регламентується стандартом ISO/IEC 17025 і має акредитацію з органів, які уклали угоди про взаємне визнання з подібними органами в інших країнах на основі цього стандарту.

Застосування цього стандарту має сприяти співпраці між лабораторіями та іншими органами, а також обміну інформацією, досвідом та гармонізації стандартів і процедур [3].

Одна з умов визнання результатів роботи українських випробувальних і калібрувальних лабораторій на міжнародному рівні є підписання угоди про визнання між Національним агентством з акредитації України (НААУ) та Європейською асоціацією з акредитації (ЕА). На жаль, таку угоду до сьогодні не укладено, що спонукає лабораторії, яким потрібно визнання результатів за межами України, акредитуватись в органах з акредитації інших країн.

Згаданий стандарт дозволяє атестувати систему управління якістю, діяльність якої регламентується ISO 9001 та ISO 9002. Управління якістю продукції деревообробного підприємства встановлює, забезпечує й підтримує необхідний рівень якості виробів з деревини під час їх розробки, виробництва й експлуатації або споживання, що забезпе-

чується шляхом систематичного контролю якості й цілеспрямованого впливу на умови й фактори, які впливають на якість деревообробної продукції.

Якість продукції починає формуватися з її розробки (проектування) і навіть з передпроектної стадії – складання технічного завдання на проектування.

Технічне завдання встановлює службове призначення, технічні характеристики, показники якості й техніко-економічні вимоги, виконання необхідних стадій розробки конструкторської документації та її склад, а також спеціальні вимоги до виробу. Система управління якістю примушує виробника проводити ретельний аналіз технічного завдання. Крім того, технічна пропозиція повинна відповідати вимогам ISO 9001 та ISO 9002.

На підставі технічного проекту створюється робоча документація на виріб з деревини. На стадії проектування закладаються всі основні показники якості майбутнього виробу з урахуванням необхідного оптимального рівня якості й технічних можливостей виробництва.

На стадії виготовлення, намічені під час проектування властивості продукції здобувають реальне втілення у виробі. І чим точніше й повніше фактичні показники якості виготовленого виробу збігаються з показниками, зафіксованими в проектній документації, тим ефективніше діє система управління якістю. Контроль фактичних показників якості проводять лабораторії і спеціалісти, які атестовані згідно з стандартами ISO/IEC 17025.

Однак, далеко не всі властивості продукції формуються в процесі її виготовлення. Так, більшість показників призначення (універсальність, вага й габаритні розміри), показники стандартизації й уніфікації, патентно-правові й технологічні показники, частина ергономічних й естетичних показників і ряд інших не залежать від технологічного процесу.

Навпаки, більшість показників надійності, стабільність властивостей виробів у партії, відсоток дефектних виробів, якість обробки й інші практично повністю залежать від досконалості технологічного процесу.

На підставі вищезгаданого була запропонована Єрошенко А.М. схема формування якості продукції (рис. 1), яка цілком може бути екстрапольована і на вироби деревообробного виробництва [4].

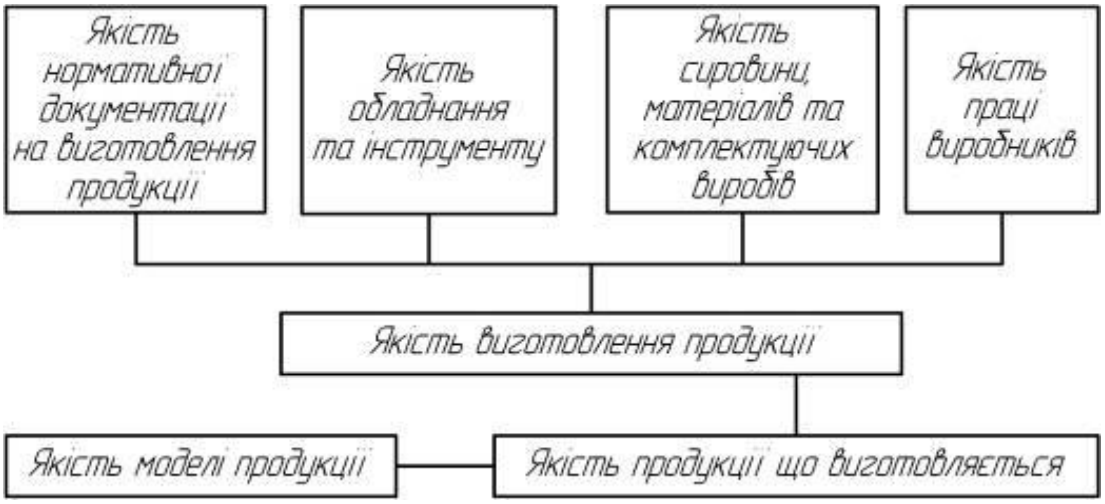


Рис. 1. Структура якості продукції деревооброблювального виробництва

Таким чином, можна визначити основні характеристики технологічного процесу виготовлення виробів з деревини з точки зору його впливу на якість продукції:

- оснащеність виробництва новими і сучасними видами технологічного устаткування, інструмента й обладнання;
- стан технічної оснащеності й організації служб контролю якості продукції;

- якість сировини і матеріалів, що використовуються для виготовлення виробів;
- рівень автоматизації технологічних процесів і контрольних операцій;
- кваліфікація працівників;
- рівень стандартизації, уніфікації й типізації технологічних процесів і технологічної документації.

Висновки

1. Особливістю деревообробного виробництва є те, що воно відбувається на малих або середніх підприємствах і це робить створення вимірювальних і калібрувальних лабораторій у структурі підприємства економічно недоцільним та змушує такі підприємства звертатися до сторонніх організацій, які мають атестовані лабораторії.

2. Сертифікація за стандартом ISO/IEC 17025 дозволить регламентувати єдність вимірювань, що проводяться в Україні, з діяльністю міжнародних метрологічних організацій, і результати вимірювань, що проведені в українських лабораторіях, будуть визнаватися в інших країнах.

3. Впровадження згаданого стандарту потребує особливої уваги органів законодавчої метрології для узгодження вимог стандарту і законодавства України.

Список використаних джерел

1. Леонов Л.В. Технологические измерения и приборы в лесной и деревообрабатывающей промышленности / Леонов Л.В. – М.: Лесная пром-ть, 1991. – 252с.

2. Новіков В. Рекомендації УкрАО з метрологічного забезпечення лабораторій: невідповідності вимогам ISO/IEC 17025 та чинного законодавства / В. Новіков, А. Коцюба // Стандартизація, сертифікація, якість: науково-технічний журнал. – 2007. – № 2. – С. 37-41.

3. ISO/IEC 17025:2006. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Загальні вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій.

4. Єрошенко А.М. Проблема компетентності метрологічного забезпечення сучасного машинобудування / Єрошенко А.М. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: збірник. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – №2 (49). – С. 79-83.

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 677.017.8

І.О. Дудла, д-р техн. наук
О.Б. Хребтань, ст. викладач
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛЬТОВИХ ВОВНЯНИХ ТКАНИН ІЗ СПЕЦІАЛЬНОЮ ОБРОБКОЮ ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВОЛОГО-ТЕПЛОВОГО ОБРОБЛЕННЯ

Досліджено вплив спеціальної обробки на зміну лінійних розмірів та пофарбування вовняних пальтових тканин після проведення волого-теплового оброблення. Встановлено, що спеціальна обробка не змінює лінійних розмірів пальтових тканин після волого-теплового оброблення. Тканини із спеціальною обробкою виявили високу стійкість пофарбування до дії волого-теплового оброблення. Запропоновано подальше використання спеціального оброблення пальтових тканин з метою покращення їх ергономічних властивостей та властивостей надійності.

Постановка проблеми

Здатність пальтових тканин до формостійкості характеризується тим, наскільки легко тканина приймає просторову форму і наскільки довго зберігає цю форму в процесі експлуатації готових виробів.

Формостійкість пальтових тканин залежить від волокнистого складу і структури, застосування обробки та від режиму волого-теплового оброблення.

Різниця між показниками формостійкості тканин з різним волокнистим складом пояснюється різницею в молекулярній структурі їх волокон.

Так, у вовняних пальтових тканинах кератин волокон вовни має сітчасту структуру у вигляді зігнутих ланцюгових молекул з поперечними зв’язками. Під дією пари відбувається розрив дисульфідних зв’язків кератину і збільшується коливання макромолекул. Саме це забезпечує зміну розташування макромолекул. Отже, під час механічної дії (стисканні, розтягуванні) виникає нова форма волокон і тканини в цілому. Ця форма фіксується під час подальшого висушування і охолодження з відновленням нових бічних дисульфідних зв’язків, які забезпечують збереження форми, одержаної під час волого-теплового оброблення [1].

Значний вплив здійснює на формостійкість пальтових тканин їх структура (щільність, переплетення) та вид обробки. Більш формостійкими є тканини з середньою щільністю, з довгими перекриттями у переплетеннях. Обробки не повинні жорстко фіксувати структуру тканин, але і не бути занадто пом’якшуючими.

На етапі заключного оброблення та в процесі пошиття одягу пальтові вовняні тканини обов’язково підлягають стабілізації лінійних розмірів та фіксації форми: відпарюванню, прасуванню – все це входить до комплексу волого-теплової обробки (ВТО).

Одночасна дія температури та вологи має великий вплив на пальтові вовняні тканини і завдає значних змін їх зовнішньому вигляду, зокрема, пофарбуванню.

Зсідання, або зменшення лінійних розмірів, сприяє зміні попередньої форми тканини. Для пальтових виробів показник зсідання тканин верху є дуже важливим з тієї причини, що тканини верху, прокладковий та підкладковий матеріали можуть мати різні ступені зсідання, що приведе до появи деформації готового виробу, зморшок, складок, обвисання деталей одягу.

Сьогодні у більшості випадків для тканин щодо верхнього одягу застосовуються різні види обробок: малозминальна, водовідштовхувальна, малоусадкова, тощо. Актуальним питанням є дослідження впливу спеціальних обробок на зміну лінійних розмірів

(один з показників формостійкості) та стійкість пофарбування пальтових тканин під час технологічних операцій з оброблення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання впливу спеціальних обробок на споживні властивості та показники якості різних за призначенням тканин досліджувалися у роботах науковців: Кричевського Г.Є., Шиканової І.А., Орлова М.Ф., Глубіша П.А., Садикової Ф.Х., Семака Б.Д. та інших. Відсутність наукових досліджень щодо впливу спеціальних обробок на споживні властивості пальтових вовняних тканин зумовлено, на нашу думку, двома причинами: значним зменшенням обсягів виробництва вовняних тканин вітчизняними підприємствами та відсутністю на ринку обробних препаратів вітчизняної продукції. Сьогодні на вітчизняних текстильних підприємствах основний обсяг продукції виробляється на замовлення іноземних фірм-покупців.

Формулювання цілей статті

Метою статті є дослідження властивостей пальтових вовняних тканин із спеціальною обробкою після проведення волого-теплового оброблення у порівнянні з тканинами без обробки та із стандартною обробкою.

Виклад основного матеріалу дослідження

Дослідження проводилися на пальтових вовняних тканинах без обробки, із стандартною обробкою підприємства-виробника – ЗАТ «КСК»ЧЕКСІЛ» та із спеціальною комплексною обробкою.

Було встановлено, що тканини зі спеціальним комплексним обробленням набули більшої густини, наповнення у порівнянні з цими ж тканинами без спеціального оброблення, із стандартним обробленням підприємства. Це значно вплинуло на підвищення теплозахисних властивостей пальтових вовняних тканин при подальших дослідженнях.

Дослідження зміни лінійних розмірів пальтових тканин після волого-теплової обробки (ВТО) проводили за ОСТ 17-790-85 [2]. Випробування проводили на електропаровому приладі – електропаропресі GS – 363 Transrvill виробництва Угорщини. Для проведення дослідження було обрано режим паропресу, наведений в таблиці 1.

Таблиця 1

Технологічні параметри волого теплового оброблення для пальтових тканин за стандартом

Волокнистий склад текстильного матеріалу	Температура верхньої плити паро-пресу, C^0	Поверхнева щільність, г/м^2	Тиск пресування, Па	Час пресування, с
Тканини змішані, неоднорідні, змішано-неоднорідні з натуральних і хімічних волокон і ниток	165	Понад 330 230 – 330 До 230	3×10^4 3×10^4 3×10^4	20 20 15

Зміну лінійних розмірів визначали окремо за довжиною та шириною у підготовлених пробах досліджуваних тканин. На тканинах робили мітки для вимірювання зміни лінійних розмірів після проведення волого-теплового оброблення. Розраховували співвідношення різниці вимірювань між мітками до і після волого-теплового оброблення за формулою:

$$L_{(д,\ ш)} = L_1 - L_0 / L_0 \times 100, \quad (1)$$

де $L_{(д,\ ш)}$ – показник зміни лінійних розмірів за довжиною та шириною;

L_1 – середнє арифметичне значення трьох вимірювань між мітками елементарних проб досліджуваних тканин після волого-теплового оброблення, мм;

L_0 – середнє арифметичне значення трьох вимірювань між мітками елементарних проб досліджуваних тканин до волого-теплового оброблення, мм;

За показниками, регламентованими ОСТ 17-790-85, норматив зсідання для пальтових тканин становить не більше 1,5%.

Результати впливу волого-теплового оброблення (ВТО) на зміну розмірів дослідних пальтових вовняних тканин наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна лінійних розмірів зразків пальтових тканин з різним обробками після волого-теплового оброблення (ВТО)

Дослі-джувані пальтові тканини	Коефіцієнт зсідання досліджуваних пальтових вовняних тканин після ВТО, %					
	без обробки		із стандартною обробкою		із спеціальною обробкою	
	По основі	По утоку	По основі	По утоку	По основі	По утоку
1	1,0	1,0	-1,1*	2,2	1,0	0
2	0	1,09	0	-1,1	0	0
3	2	-2,2	-1,1	-2,3	1,0	2,0
4	2,3	1,0	1,1	0	2,2	1,1
5	-1,0	-6,8	-1,0	1,4	1,0	0
6	1,0	0	-1,1	0	0	1,0
7	2,3	1,0	-1,1	0	0	0

*__Примітка__: зміна розмірів має позначку (-), якщо відстань між мітками елементарної проби тканини зменшилася, а позначка (+) – відстань збільшилася.

Аналізуючи результати, наведені в таблиці 2, встановили, що:

- зсідання по основі спостерігалося у зразків без обробки: 1; 3; 6 – в межах рекомендованих норм, у зразка 2 – зсідання не було, у зразка 5 – відбулося розтягування по основі. У зразків вар. 4 і 7 було незначне збільшення показника зсідання по основі, в межах 0,3 %. По утоку жоден зразок не виявив значного зсідання – всі показники нижче нормативних. У зразка 3 і, особливо, у 5-го виявилося значне розтягування, а у зразка 6 – ні зсідання, ні розтягування не відбулося;
- зразки зі стандартною обробкою виявили незначне зсідання і розтягування після ВТО, як по основі, так і по утоку. У зразка 2 – результати не змінилися після ВТО по основі, а у зразків 4, 5, 6 – не змінилися розміри в напрямку утоку;
- спеціальна обробка сприяла стійкості тканин до ВТО. Зсідання у зразків зі спеціальною обробкою не було:
- у зразків 2 і 7 не було зміни лінійних розмірів по основі і утоку;
- зразки 1, 5 не мали змін по утоку, а по основі дуже незначне зсідання, в межах 1%;
- незначне підвищення показника зсідання по основі спостерігалося у зразка 4 – збільшення лінійних розмірів становило 0,2 %.

Одночасна дія температури та вологи має великий вплив на пальтові вовняні тканини і завдає значних змін їх зовнішньому вигляду, зокрема, пофарбуванню.

Результати досліджень впливу ВТО на стійкість пофарбування пальтових тканин з різними обробками наведені в таблиці 3.

Як бачимо з таблиці 3, у зразків із спеціальною комплексною обробкою, виявилася висока стійкість пофарбування до дії волого-теплового оброблення. Найвищу стійкість пофарбування до дії ВТО мали зразки 3 та 7 і оцінювалися в 5 балів, зафарбовування суміжних матеріалів у них було мінімальним і складало до 1%.

Таблиця 3

Стійкість пофарбування пальтових вовняних тканин з різними обробками до дії волого-теплового оброблення (ВТО)

Зразки тканин з різним обробками		Оцінка стійкості пофарбування зразків після ВТО, бали		Оцінка зафарбовування суміжних матеріалів після ВТО, %	Стан пофарбування поверхні зразка після ВТО
		У порівнянні з еталоном	Суміжної бавовняної тканини		
1	б/о	3	3	15	З'явився зелений відтінок, відбулося посвітління
	ст/о	3	3	10-15	Яскраво виражений жовто-зелений відтінок, колір посвітлішав
	сп/о	4	4	2	Зміна пофарбування незначна, малопомітна
2	б/о	3	2	20	Значне посвітління, з'явився яскравий зелений відтінок
	ст/о	3	3	10	Зразок мав синій відтінок
	сп/о	4	4	2	Зміна пофарбування незначна, малопомітна
3	б/о	3	3	10-15	Жовтуватий відтінок, схід барвника фону на лицьову сторону тканини
	ст/о	3	3	10-15	Посвітління, жовтіший
	сп/о	5	4	1	Чистий яскравий колір
4	б/о	3	2	15-20	З'явилося значне посвітління
	ст/о	4	3	4	Зміна кольору малопомітна, з'явився незначний зеленуватий відтінок
	сп/о	4	4	2	Пофарбування зразка не змінилося
5	б/о	3	2	20	Посвітлішав, з'явився яскраво виражений зелений відтінок
	ст/о	4	3	3-4	Легкий, малопомітний зелений відтінок
	сп/о	4	5	не було	Помітних змін пофарбування не спостерігалося
6	б/о	3	3	15	Поява насиченого жовтого відтінку
	ст/о	4	4	2-3	Посвітління незначне, пофарбування – чистіше
	сп/о	4	4	2	Зміна пофарбування незначна, малопомітна
7	б/о	3	3	10	Посвітління, схід барвника фону на лицьову сторону тканини
	ст/о	3	3	10	Посвітління, з'явився жовтий відтінок
	сп/о	5	4	1	Колір чистий, яскравий, без відтінків

Зразки 1; 4; 5; 6 показали високу стійкість пофарбування, були оцінені в 4 бали. П'ятий зразок не мав сходу барвника на суміжну тканину після волого-теплового оброблення. У 1-го, 2-го та 6-го зразків із спеціальною обробкою зміна пофарбування була дуже незначною і малопомітною, що не погіршило зовнішнього виду цих тканин.

Невисоку стійкість пофарбування до дії волого-теплового оброблення виявили зразки без обробки: всі тканини мали оцінку 2-3 бали, був високий відсоток зафарбовування суміжних матеріалів – від 10% до 20%. Дослідні тканини без обробки після волого-теплового оброблення мали багато сторонніх відтінків різних кольорів, значне, помітне посвітління, деякі зразки мали порушення колірного забарвлення фону (перекриття одного кольору іншим, що виглядає як забруднення).

Зразки 1; 2; 3; 7 зі стандартною обробкою були оцінені в 3 бали. Зразки 4; 5; 6 мали більш високі оцінки пофарбування після волого-теплового оброблення – 4 бали. У всіх зразків із стандартною обробкою спостерігалося зафарбовування суміжних матеріалів від 2 до 15%, з'являлися відтінки різних кольорів, пофарбування світлішало.

Висновки

1. Визначено, що у тканин зі спеціальною комплексною обробкою покращилися показники ергономічних властивостей та надійності.

2. Тканини із спеціальною обробкою не мали змін лінійних розмірів. Спеціальна обробка сприяла стабілізації структури тканин після проведення волого-теплового оброблення. У більшості зразків тканин зсідання було дуже незначним – 0,2 …1%, що значно менше нормативних показників (1,5 %).

3. За результатами проведених досліджень було встановлено, що зразки із спеціальною обробкою не мали суттєвих змін колірних характеристик пофарбування у порівнянні зі зразками-еталонами.

4. Отже, результати досліджень виявили ефективність використання спеціальної комплексної обробки щодо збереження лінійних розмірів та якості пофарбування пальтових вовняних тканин після проведення волого теплового оброблення з метою стабілізації розмірів та структури цих тканин.

Список використаних джерел

1. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов / Кричевский Г.Е. – М.: РосЗИТЛП, 2001. – Т. 3. – С. 101-115, 273-280.

2. ОСТ 17–790-85. Материалы текстильные. Метод определения изменения линейных размеров после влажно-тепловой обработки.

3. ГОСТ 9733.24-83. Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к декатировке. – Взамен ГОСТ 9733-61 в части разд. II, п.41; введ. 01.01.86.

УДК 658.56+504+677.021.125.52

Г.Я. Міневич, аспірант
Львівська комерційна академія, м. Львів, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ВИБІЛЕНИХ БАВОВНЯНИХ БІЛИЗНЯНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто проблему якості бавовняних тканин білизняного призначення як важливого чинника розвитку вітчизняного текстильного ринку та забезпечення конкурентоспроможності текстильної продукції. Досліджено вплив нових рецептур вибілювання бавовняних білизняних виробів на їх якість та екологічну безпечність.

Постановка проблеми

Економічне відродження України неможливе без створення умов, що забезпечують високу якість і безпечність вітчизняних товарів, зростання їх конкурентоспроможності на внутрішньому і світовому ринках. Забезпечення населення товарами, що відповідають вимогам споживачів різних груп населення, – одне з важливіших завдань, які сьогодні стоять перед промисловістю і торгівельними підприємствами. В Україні, як і в усьому світі, екологічна ситуація безупинно ускладнюється. Тому загострення екологічних проблем у вітчизняному текстильному виробництві в останні роки, як і в інших галузях промисловості, диктує нагальну потребу пошуку альтернативних екологічно безпечних видів сировини, посилення екологічної спрямованості технологій виробництва текстильної продукції, зокрема основних етапів оздоблювального виробництва (особливо вибілювання, фарбування, заключного і спеціального оброблення), екологізації асортименту текстильних матеріалів і виробів та формування на їх основі українського ринку екотекстилю. Особливо гостро стоїть питання виробництва екологічно чистої бавовняної текстильної продукції, оскільки значний обсяг білизняних виробів виготовляється з бавовняної сировини.

Виходячи з вищенаведеного, випливають завдання, що стоять перед текстильними виробництвами: створення на основі ресурсозберігаючих технологій продукції високої якості, зниження її собівартості, забезпечення екологічної чистоти технології і текстильних виробів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема якості та екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів складна і багатогранна. Питанням теорії та практики безпечності товарів нині приділяється значна увага, про що свідчить велика кількість публікацій [1-6]. Результати досліджень щодо безпечності текстилю показують, що шкідливі речовини (формальдегід, важкі метали, пестициди тощо), які здатні проникнути у вироби як на стадії вирощування сировини, так і під час технологічних процесів виробництва та оброблення тканин, мігруючи з поверхні текстильних матеріалів у підодяговий простір, можуть справляти шкірно-подразнювальну або загальнотоксичну дію, що веде до захворювань людини. Тому вміст у текстильних матеріалах цих речовин, які досить часто є навіть канцерогенними, суворо регламентується і прописані у міжнародних стандартах серії ISO 14000 та екологічної чистоти продукції Екотекстиль-100.

В Україні ж проблема якості і всі питання, пов’язані зі створенням загальнодержавної системи управління якістю, сьогодні набувають надзвичайної актуальності, однак ще далекі від вирішення. Тому з метою формування в Україні ринку екологічно безпечних текстильних матеріалів та виробів вимагає проведення подальших досліджень у цьому напрямі.

Постановка завдання

Метою роботи було дослідити і порівняти показники споживних властивостей білизняних тканин, вибілених за традиційною (запарний метод) та екологічною низькотемпературною («холодний» метод) технологіями із застосуванням нових рецептур. На основі даного оцінювання виявити оптимальні склади рецептур за показниками споживних властивостей зразки бавовняних тканин білизняного призначення.

Викладення основного матеріалу досліджень

Аналізуючи наукові праці та результати власних досліджень, можемо виділити наступні аспекти екологізації процесу виробництва текстильних матеріалів:

- застосування текстильною промисловістю натуральної сировини;
- використання низькотемпературної ресурсозберігаючої технології вибілювання целюлозовмісних тканин;
- пошук нових екологічнобезпечних текстильно-допоміжних речовин в обробному виробництві.

Якість, що безпосередньо пов'язана з безпечністю виробів, визначається на всіх стадіях життєвого циклу продукції і залежать від сировини та технологічних процесів виробництва.

Велике значення для виготовлення екологічно чистого одягу мають саме бавовняні тканини, заправні дані яких наведено у табл. 1. Використана для вибілювання досліджуваних зразків бавовняних тканин низькотемпературна ресурсозберігаюча технологія була апробована у Херсонському національному технічному університеті, внаслідок чого підтверджено її екологічну та економічну доцільність [7].

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних зразків бавовняних тканин

Вар. тканини	Назва тканини	Артикул	Вид і лінійна густина пряжі, текс		Щільність ниток на 100 мм		Вид переплетення	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м^2	Технологія вибілювання
			основа	уток	основа	уток				
1	бязь	БВ 165	29,0	29,0	250	213	полотняне	0,27	142	класична
2	бязь	-	29,0	29,0	250	213	-//-	0,32	142	Р. 1
3	бязь	-	29,0	29,0	250	213	-//-	0,33	142	Р. 2
4	бязь	-	29,0	29,0	250	213	-//-	0,33	142	Р. 3
5	міткаль	067	20,0	20,0	260	180	-//-	0,26	104	Р. 4
6	міткаль	-	20,0	20,0	260	180	-//-	0,32	104	Р. 1
7	міткаль	-	20,0	20,0	260	180	-//-	0,32	104	Р. 2
8	міткаль	-	20,0	20,0	260	180	-//-	0,32	104	Р. 3

Зразок-еталон (вар. 1), вибілений за традиційною (запарний метод) технологією на ВАТ «Текстерно», а зразок вар. 5 – за низькотемпературною («холодний» метод) технологією у виробничих умовах Донецького бавовняного комбінату. Інші зразки тканин (вар. 2, 3, 4, 6, 7 і 8), вибілені за низькотемпературною технологією на ДП «Хімтекс», при цьому нами обрано нешкідливі рецептури (табл. 2), якість яких засвідчена сертифікатом їх безпечності.

Таблиця 2

Рецептури розчинів для вибілювання бавовняних тканин при температурі навколишнього середовища

Рецептура 1		**Рецептура 2**		**Рецептура 3**	
Їдкий натрій 100 %-ий	7 г/л	Їдкий натрій 100 %-ий	10 г/л	Натрію гіпохлорид	300 мл/л
Натрію силікат	15 г/л	Преколор ВА	8 г/л	Натрію силікат	15 г/л
Коловет АН	1 г/л	Преколор ВР-8	1 г/л	Коловет ПК	0,5 г/л
Колофлок КВ	2 г/л	Колофом	0,5 г/л	Кальцинована сода	5 г/л
Колофом	0,5 г/л	Оптикол конц. С	0,3 г/л	N-метилпіролідон	5 г/л
Оптикол конц. С	0,3 г/л	Водню пероксид 35 %-ий	100 мл/л	Оптикол конц. С	0,3 г/л
Водню пероксид 35 %-ий	100 мл/л			(додається на стадії промивання)	

Ці речовини добре закріплюються на целюлозному волокні, під час потрапляння у навколишнє середовище розкладаються без утворення шкідливих речовин, не є токсичними і відповідають регламентованим вимогам вітчизняного екологічного стандарту ДСТУ 4239-2003 та гармонізованого з ним зарубіжного стандарту Екотекстиль-100 щодо вмісту важких металів, пестицидів, формальдегіду, хлорорганічних носіїв. Цей стандарт розроблено під егідою Міжнародної асоціації з досліджень і тестування у галузі текстильної екології та об'єднує 16 окремих стандартів, зокрема 112-й стандарт розгля-

дає вимоги до постільної білизни, щодо гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин, зокрема текстильно-допоміжних, емісії летких компонентів оброблювальних препаратів. Також слід підкреслити, що екологічний стандарт регламентує вимоги до текстильних матеріалів і виробів на всіх етапах їх виробництва.

Нами співставлено якість досліджуваних текстильних матеріалів до процесу експлуатації і після 60-ти циклів прання, яка визначалась наступними показниками: механічними, фізико-хімічними та естетичними (табл. 3).

Таблиця 3

Показники споживних властивостей бавовняних білизняних тканин

Показники	Кількість циклів прання	Варіанти тканин							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Розривальне навантаження, Н	0	310,2	637,6	535,6	602,4	339,8	476,8	349,2	359,0
	60	423,8	614,2	537,6	773,0	247,2	402,0	480,6	416,0
Стійкість до стирання, цикли	0	1412	2314	1943	1715	807	1074	903	1018
	60	1588	1715	1696	1178	852	818	714	804
Гігроскопічність, %	0	8,8	17,7	8,4	10,5	9,3	8,3	9,4	14,1
	60	7,8	14,4	10,1	10,1	9,8	8,2	9,0	11,3
Капілярність, мм/год	0	83,7	23,7	40,3	62,8	3,3	9,5	18,3	6,5
	60	133,5	143	153,3	162,3	152,5	141,3	171	150,3
Білість, %	0	100,1	109,1	111,0	87,6	110,2	122,7	115,3	101,9
	60	101,0	87,5	87,4	83,8	114,7	88,2	86,1	89,0

Як видно з даних табл. 3, найменше значення розривального навантаження і стійкості тканини до стирання до і після 60-ти циклів прання має місце серед бязей у 1 вар., вибіленому за традиційною технологією. Внаслідок руйнування волокон під дією високих температур у процесі оброблення тканина частково втратила свою міцність. Серед міткалів менше значення зазначених показників – у зразків вар. 5, обумовлене рецептурою вибілювального розчину, використаної на підприємстві.

Високі показники механічних властивостей у всіх інших варіантах тканин пояснюються тим, що вибілювання «холодним» способом проводиться за температури приміщення, внаслідок чого волокно зазнає меншого руйнування. Найбільші значення спостерігаються у тканинах вар. 2 і 6. Досліджувані зразки (вар. 3, 4 і 7, 8), вибілені за низькотемпературною технологією, мають дещо нижчі розривальні характеристики, що зумовлено рецептурою вибілювального розчину. Так, для 4 і 8 вар. це пояснюється дією у вибілюючому розчині натрій гіпохлориду, який здійснює найбільш деструктивну дію на целюлозу, маючи високий окиснювальний потенціал (1400-1550 мВ).

Аналіз даних табл. 3 показує, що найменше початкове значення індексу білості має місце у тканин вар. 4 і 8, що також пояснюється наявністю натрій гіпохлориду.

Найбільше початкове значення індексу білості серед бязей – у тканини вар. 3 (рецептура 2), а серед міткалів – у вар. 6 (рецептура 1), дещо поступаються зразки тканин вар. 1, 2, 5 і 7. Вибілюючий розчин усіх вищезазначених варіантів тканин містить водень пероксид. Вищий ступінь білості зразків вар. 2 і 7 порівняно зі зразками-еталонами можна пояснити наявністю кращого за своїми властивостями оптичного вибілювача фірми ДП “Хімтекс” [8].

Після проведення 60-ти циклів прання індекс білості досліджуваних тканин знижується внаслідок вимивання оптичного вибілювача, що є закономірним процесом. Попри це, білість бавовняних білизняних тканин залишається досить високою.

Усі досліджувані зразки текстильних матеріалів «холодного» способу вибілювання відзначаються низьким початковим рівнем капілярності, що обумовлено наявними у бавовняних тканинах восками, температура плавлення яких становить більше 50 ^{o}C, які не видаляються у процесі вибілювання (за температури навколишнього середовища). Вирізняється тканина вар. 1 (традиційна технологія вибілювання), капілярність якої є найвищою (83,7 мм/год), проте нормі теж не відповідає [9].

Проте після прання, як показує аналіз даних табл. 3, капілярність бавовняних білизняних тканин значно підвищується, що пов'язано з вимиванням супутніх речовин целюлози внаслідок взаємодії з пральним засобом при підвищеній температурі.

Як видно з даних табл. 3, усі зразки характеризуються високим значенням початкової гігроскопічності, на відміну від зразків вар. 2 і 8 (гігроскопічність 17,7 % і 14,1 % відповідно). Оскільки зразки вар. 1-4 і 5-8 однакові за волокнистим складом, то на поглинання вологи бавовняними волокнами впливає рецептура вибілюючого розчину. Під час процесу вибілювання сорбційні властивості зменшуються за рахунок ущільнення структури пряжі внаслідок осідання силікатів на поверхні волокон.

У процесі експлуатації під дією багаторазового прання гігроскопічність досліджуваних тканин зменшується, що зумовлено ущільненням структури пряжі та руйнуванням волокон. Найменшим показником гігроскопічності після 60-ти циклів прання відзначився зразок вар. 1 (7,8 %) і вар. 6 (8,2 %). Попри це, за сорбційними показниками досліджувані тканини відповідають встановленим вимогам [9].

Висновки

1. Узагальнено напрямки екологізації сировинних ресурсів і технологій текстильного виробництва бавовняних тканин шляхом впровадження в окремих підгалузях низькотемпературної ресурсозберігаючої технології їх вибілювання.

2. Експериментально досліджено вплив нових вибілюючих рецептур на споживні властивості бавовняних білизняних тканин. Встановлено, що за механічними, естетичними показниками і гігроскопічністю текстильні матеріали, вибілені за «холодною» технологією, не тільки не поступаються, а й значно переважають зразки-еталони. Досліджувані зразки тканин дещо поступаються перед еталонним за капілярністю. Однак, враховуючи, що після проведених циклів прання (вже після перших) капілярність різко зростає у всіх зразках і відповідає регламентованій нормі, то даним фактом можна знехтувати, оскільки догляд за білизняними виробами передбачає багаторазове прання.

У цілому, застосування нових ресурсозберігаючих та екологічних технологій вибілювання і текстильно-допоміжних речовин в обробному виробництві робить можливим для вітчизняного виробника випускати продукцію, яка б змогла конкурувати з іноземними аналогами на світовому ринку.

Список використаних джерел

1. Осипенко Н. І. Безпечність товарів як передумова формування вітчизняного споживчого ринку / Н. І. Осипенко, Г.Ф. Пугачевський // Товарознавство та інновації: зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2010. – Вип. 2. – С.8-15.

2. Пахолюк О. В. Роль екологізації виробництва й асортименту одягових целюлозовмісних тканин у формуванні їх ринку / О. В. Пахолюк, Б. Б. Семак // Товарознавство та інновації: зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2010. – Вип. 2. – С. 96-107.

3. Семак Б. Б. Роль торгівлі у формуванні вітчизняного ринку екологобезпечних текстильних матеріалів і виробів / Б. Б. Семак // Актуальні проблеми економіки. – 2010. – № 9 (111). – С. 76-82.

4. Галик І. С. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів: монографія / Галик І. С., Концевич О. Б., Семак Б. Д. – Львів: Вид-во ЛКА, 2006. – 232 с.

5. Проданчук М. Г. Текстильні матеріали та одяг – сучасні проблеми безпеки / М. Г. Проданчук [та ін.] // Легка промисловість. – 2004. – № 4. – С. 36-41.

6. Ємченко І.В. Проблеми гармонізації національної стандартизації щодо міжнародних вимог у сфері екологічної політики текстильної промисловості / І.В. Ємченко, О.І. Корж, Г.Я. Міневич // Торгівля, комерція і підприємництво: зб. наук. праць. – Львів: ЛКА, 2005. – Вип. 7. – С. 223-226.

7. Сльозко Г. Ф. Ресурсозберігаюча низькотемпературна технологія вибілювання бавовняних тканин / Г. Ф. Сльозко [та ін.] // Легка промисловість. – 1999. – № 4. – С. 57.

8. Поліщук С.О. Про механізм вибілювання бавовняних матеріалів пероксидом водню / С.О. Поліщук, В.І. Барановський, Н.І. Ксенжук // Легка промисловість. – 2002. – №3. – С. 53.

9. Склянников В. П. Потребительные свойства текстильных товаров / В. П. Склянников. – М.: Экономика, 1982. – 160 с.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ДО ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Об'єм статті – обсяг статті з анотацією, рисунками, таблицями, списком літератури – 5-10 повних сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Статтю набирають у текстовому редакторі Word for Windows 98/2000/XP шрифтом Times New Roman (кегель 12) без автоматичної розстановки переносів (переноси у назві статті не допускаються). Розміри полів сторінок: зліва, знизу, зверху, справа – 25 мм.

Стиль **УДК**: шрифт Times New Roman (кегель 12), вирівнювання по лівому полю без абзацу, відступ знизу 6 пт.

Стиль **НАЗВИ**: шрифт Times New Roman (кегель 12), вирівнювання по центру без абзацу, відступ зверху 6 пт, 12 кегель, великі літери, напівжирний.

Стиль **АВТОРІВ І ОРГАНИЗАЦІЙ**: шрифт Times New Roman, ініціали, прізвища авторів (розміщення по лівому краю, кегель 12, малі літери, напівжирний), науковий ступінь (звичайний). Місця роботи авторів, електронні адреси (вирівнювання по лівому краю без абзацу, відступ зверху 6 пт, кегель 10). Кількість співавторів, по можливості, не повинна перевищувати трьох. У збірнику можна розміщувати не більше однієї статті на кожного автора.

Стиль **тексту**: текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац 0,5 см, кегель 12). Назва статті повинна бути максимально стислою (до 12 слів, 3 рядка). Ключовим словом у назві статті має бути іменник у називному відмінку. Анотація мовою основного змісту статті (вирівнювання по ширині без абзацу, відступ зверху і знизу 6 пт, відступ зліва і справа 0,5 см, кегель 10, курсив). В анотації в стислій формі викладається основний зміст статті. Обсяг анотації не повинен перевищувати 14 рядків. Виклад матеріалу статті має бути ясним, без повторів, без дублювання в тексті даних таблиць та їхніх заголовків, рисунків та підписів до них. У статті необхідно використовувати термінологію, прийняту Державним стандартом. За науковий зміст викладеного матеріалу і термінологію відповідають автори. Відступи заголовків розділів статті (напівжирний шрифт, кегель 12) від тексту зверху – 6 пт, знизу – 3 пт. При виборі одиниць фізичних величин слід дотримуватися Міжнародної системи одиниць (СІ). Абревіатуру розшифровують у тексті статті, починаючи з місця, де вона вперше зустрічається.

Стиль **посилань**: назва **Список використаних джерел** (вирівнювання по ширині без абзацу, кегель 12). У списку використаних джерел, який формуєтся в порядку посилання, згідно вимог щодо оформлення бібліографічного опису ВАК України. Бібліографічні записи повинні бути пронумеровані і мати посилання на джерела в тексті статті в квадратних дужках. Посилання на неопубліковані роботи не допускаються.

Стиль **рисунків**: рисунки виконують у вигляді растрових зображень у форматах TIFF, JPG, BMP (окремий файл). Не рекомендується використання закладеної графіки Microsoft Word. Елементи зображення повинні бути якісними (300–600 dpi), чорно-білими або відтінками сірого, товщина основних і допоміжних ліній має відрізнятися у 2 рази (наприклад, товщина основної лінії 2 pt, допоміжної – 1 pt). Деталі ілюстрації нумерують арабськими цифрами (кегель 12), починаючи з цифри 1, без пропусків і повторень або за годинниковою стрілкою, або по горизонталі зліва направо, або по вертикалі зверху вниз. Написи на рисунках заміняють літерами (кегель 11), а криві на графіках позначають цифрами (кегель 12), які роз'яснюються в підписах до рисунків. Усі рисунки повинні мати підписи, які вирівнюють по центру. Підписи до рисунків –кегель 10 (курсив).

Стиль **формул**: хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках справа. Обов'язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation: 1) змінні, латинські літери – курсив, Times New Roman; 2) функції, цифри, українські літери – прямий, Times New Roman; 3) матриці, вектори – напівжирний, прямий, Times New Roman; 4) грецькі літери, символи – прямий, Symbol; 5) розміри: звичайний 11 пт, великий індекс 7 пт, малий індекс 6 пт, великий символ 14 пт, малий символ 11 пт.

Стиль **таблиць**: розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 10) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці (по центру, кегель 10, курсив). Усі рисунки і таблиці повинні мати посилання в тексті і бути розташовані після них.

Стаття повинна бути структурована (поділена на розділи з заголовками) і відповідно до вимог ВАК України мати такі елементи (Бюл. ВАК України. – 2003. – №1. – С. 2): постановку проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Примітка. Статті, що не відповідають зазначеним вимогам, не розглядаються. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без узгодження з автором.

До статті обов'язково додаються:

Для публікації статті необхідно надіслати до редакції наступні матеріали: друкований текст статті з підписами авторів в одному примірнику; рецензія доктора наук з зазначенням наукового ступеня рецензента, вченого звання, посади, місця роботи, завірена печаткою; відомості про авторів подаються на мові написання статті (окремий файл і надрукована сторінка): прізвище, ім'я, по батькові, рік народження, повна назва і дата закінчення вищого навчального закладу, факультет, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи (кафедра, факультет, інститут – без скорочень), службова й електронна адреси, службовий номер телефону; анотації українською, російською, англійською мовами; диск зі статтею, анотаціями та відомостями про авторів. Обсяг електронного файла статті – не більший 1 МБ. Рисунки подаються окремими файлами. Допускається надсилання електронної копії статті, анотацій та відомостей про авторів електронною поштою.

Адреса редакції: вул. Шевченка, 95, корп. 1, кімн. 242,
м. Чернігів, Україна, 14027, тел.: (04622)3-42-44
E-mail: cstu@stu.cn.ua

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ
ДЛЯ ВЕСТНИКА ЧЕРНИГОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Объём статей – 5-10 полных страниц с аннотацией, рисунками, таблицами, списком литературы (последняя страница должна быть заполнена не менее, чем на 3/4).

Статью набирают в текстовом редакторе Word for Windows 98/2000/XP шрифтом Times New Roman (кегель 12) без автоматической расстановки переносов (переносы в названии статьи не допускаются). Размеры полей страниц: слева, снизу, сверху, справа – 25 мм, через единичный межстрочный интервал на белой бумаге формата А4.

Стиль **УДК**: шрифт Times New Roman (кегель 12), выравнивание по левому полю без абзаца, отступ снизу 6 пт.

Стиль **НАЗВАНИЯ**: шрифт Times New Roman (кегель 12), выравнивание по центру без абзаца, отступ сверху 6 пт, большие буквы, полужирный.

Стиль **АВТОРОВ И ОРГАНИЗАЦИЙ**: шрифт Times New Roman (кегель 12), размещение по левому полю, малые буквы, полужирный), научная степень (обычный). Место работы авторов (выравнивание по левому полю без абзаца, отступ сверху 6 пт, кегель 10) размещаются непосредственно после фамилии автора. Количество авторов, по возможности, не более 3-х. В сборнике можно размещать не более одной статьи на каждого автора.

Стиль **текста**: текст статьи с заголовками (выравнивание по ширине, абзац 0,5 см, кегель 12). Название статьи должно быть максимально сжатым (до 12 слов, 3 строки). В аннотации в сжатой форме излагается основное содержание статьи. Объём аннотации не должен превышать 14 строк. Изложение материала статьи должно быть ясным, без повторов, без дублирования в тексте данных таблиц и их заголовков, рисунков и подписей к ним. В статье необходимо использовать терминологию, принятую Государственным стандартом. За научное содержание материала статьи и терминологию ответственность несут авторы. Отступы заголовков разделов статьи (полужирный шрифт, кегель 12) от текста сверху –6 пт, снизу –3 пт. При выборе единиц физических величин следует придерживаться Межнародной системы единиц (СІ). Абревиатуру расшифровывают в тексте статьи, начиная с места, где она впервые встречается.

Стиль **ссылок**: название **Список использованных источников** (выравнивание по ширине без абзаца, кегель 12). В списке использованных источников, который формируется в порядке ссылки согласно требований к оформлению библиографического описания ВАК Украины. Библиографические записи должны быть пронумерованы и иметь ссылки на источники в тексте статьи в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Стиль **рисунков**: рисунки выполняют в виде растровых изображений в форматах TIFF, JPG, BMP (отдельный файл). Не рекомендуется использование заложенной графики Microsoft Word. Элементы изображения должны быть качественными (300–600 dpi), чёрно-белыми или с оттенками серого, толщина основных и вспомогательных линий должна отличаться в 2 раза (например, толщина основной линии 2 pt, вспомогательной – 1 pt). Детали иллюстрации нумеруют арабскими цифрами (кегель 12), начиная с цифры 1, без пропусков и повторений или по часовой стрелке, или по горизонтали слева направо, или по вертикали. Надписи на рисунках заменяют буквами (кегель 11), а кривые на графиках обозначают цифрами (кегель 12), которые разъясняются в подписях к рисункам. Все рисунки должны иметь подписи, которые выравнивают по центру. Подписи к рисункам – кегель 10 (курсив).

Стиль **формул**: химические формулы набирают прямым шрифтом. Формулы, на которые есть ссылки, нумеруют арабскими цифрами в круглых скобках справа. Обязательно подают расшифровку буквенных обозначений величин в формулах. Для набора обозначений физических величин используют редактор формул Microsoft Equation: 1) переменные, латинские буквы – курсив, Times New Roman; 2) функции, цифры, украинские буквы – курсив, Times New Roman; 3) матрицы, векторы – курсив, Times New Roman; 4) греческие буквы, символы – курсив, Symbol; 5) размеры: обычный 11 пт, большой индекс 7 пт, малый индекс 6 пт, большой символ 14 пт, малый символ 11 пт.

Стиль **таблиц**: Размер текста таблиц – кегель 12. Все таблицы должны иметь заголовки. Нумерационный заголовок таблиц (кегель 10) выравнивают по правому краю таблицы, тематический заголовок таблицы (по центру, кегель 10, курсив). Все рисунки и таблицы должны иметь ссылки в тексте и быть размещены после них.

Статья должна быть структурирована (поделена на разделы с заголовками) и в соответствии с требованиями ВАК Украины иметь такие элементы (Бюл. ВАК України. – 2003. – №1. – С. 2): постановку проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими заданиями; анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешённых раньше частей общей проблемы, которым посвящается статья; формулирование целей статьи или постановка задачи; изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов; выводы (заключение).

Примечание. Статьи, не соответствующие указанным требованиям, не рассматриваются. В статью могут быть внесены изменения редакционного характера без согласования с автором. Ответственность за содержание статьи несут авторы публикации.

К статье обязательно подаются:

Печатный текст статьи с подписями авторов в одном экземпляре; рецензия доктора наук с указанием научной степени рецензента, учёного звания, должности, места работы, заверенная печатью; сведения об авторах подаются на языке написания статьи (отдельный файл и напечатанная страница): фамилия, имя, отчество, год рождения, полное название высшего учебного заведения, научная степень, учёное звание, должность, место работы (кафедра, университет – без сокращений), служебный адрес, служебный и мобильный номера телефонов; аннотации на украинском, русском, английском языках; диск со статьёй, аннотациями и сведениями об авторах. Кроме наличия рисунков в тексте статьи, рисунки подаются отдельными файлами. Допускается пересылка электронной копии статьи, аннотаций и сведений об авторах электронной почтой. Авторы других государств могут подавать статьи на русском и английском языках.

Материалы присылать по адресу: ул. Шевченка, 95, корп. 1, комн. 242,
г. Чернигов, Украина, 14027, тел.: (04622)3-42-44
E-mail: cstu@stu.cn.ua

REQUIREMENTS TO SHAPING OF ARTICLES
FOR THE JOURNAL OF THE CHERNIGOV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Volume of articles - 5-10 full pages with the summary, illustrations, tables, the literature list (last page should be filled not less, than on 3/4).

Article compose in text editor Word for Windows 98/2000/XP font Times New Roman (type size 12) in a mode of automatic arrangement of carryings over (carryings over to article name are not supposed). The sizes of fields of pages: at the left, from below, from above, on the right - 25 mm, through an individual line spacing on a white paper of format A4.

Style **of UDC**: font Times New Roman (type size 12), alignment on the left field without the paragraph, a space from below 6 pt.

Style **of the NAME**: font Times New Roman (type size 12), alignment on the centre without the paragraph, a space from above 6 pt, the big letters, semiboldface.

Style **of AUTHORS And the ORGANIZATIONS**: font Times New Roman (type size 12), placing on the left field, small letters, semiboldface), scientific degree (usual). A place of work of authors (alignment on the left field without the paragraph, a space from above 6 pt, type size 10) take places directly after a surname of the author. Possibly quantity of authors no more than 4.

Style **of the text**: the text of article with headings (alignment on width, paragraph 0,5sm, type size 12). Article name should be as much as possible compressed (to 12 words, 3 lines). In the summary in the compressed form the basic maintenance of article is stated. The summary volume should not exceed 14 lines. The statement of a material of article should be clear, without repetitions, without duplication in the text of the given tables and their headings, drawings and signatures to them. In article it is necessary to use the terminology accepted in State standard. For the scientific maintenance of a material of article and terminology responsibility is born by authors. Spaces of headings of sections of article (a semiboldface font, type size 12) from the text from above-6 pt, from below-3 pt. At choice units of physical sizes it is necessary to adhere to International system of units (CI). Abbreviation decipher in article text, since a place where it meets for the first time.

Style **of references**: the name The list of literature sources (alignment on width without the paragraph, type size 12). In the list of literature sources (to 10 names) which is formed as the reference it agree requirements to registration of bibliographic description BAK of Ukraine. Bibliographic records should be numbered and have references to sources in article text in brackets. References to the neopublished works are not supposed.

Style **of illustrations**: illustrations carry out in the form of raster images in formats TIFF, JPG, BMP (a separate file). Use of put in pawn drawing Microsoft Word is not recommended. Image elements should be qualitative (300-600 dpi), black-and-white or with shades grey, the thickness of the basic and auxiliary lines should differ in 2 times (for example, a thickness of the basic line 2 pt, auxiliary - 1 pt). Illustration details number in the Arabian figures (type size 12), since figure 1, without admissions and repetitions either clockwise, or across from left to right, or on a vertical. Inscriptions in illustrations replace with letters (type size 11), and curves on schedules designate in figures (type size 12) which are explained in signatures to illustrations. All illustrations should have signatures which level by a center. Signatures to illustrations - type size 10 (italics).

Style **of formulas**: chemical formulas compose a direct font. Formulas on which there are references, number in the Arabian figures in parentheses on the right. Necessarily submit decoding of letter designations of sizes in formulas. For a set of designations of physical sizes use the editor of formulas Microsoft Equation: 1) variable, Latin letters - italics, Times New Roman; 2) functions, figures, the Ukrainian letters - italics, Times New Roman; 3) matrixes, vectors - italics, Times New Roman; 4) the Greek letters, symbols - italics, Symbol; 5) the sizes: usual 11 pt, the big index 7 pt, a small index 6 pt, the big symbol 14 pt, a small symbol 11 pt.

Style **of tables**: the size of the text of tables - type size 12. All tables should have headings. Numerical heading of tables (type size 10) level by a table right edge, thematic heading of the table (on the centre, type size 10, italics). All illustrations and tables should have references in the text and to be placed after them.

Article should be structured (is divided into sections with headings) and according to requirements BAK of Ukraine to have such elements (Бюл. ВАК України. - 2003. - №1. - С. 2): problem statement in a general view and its communication with the important scientific or practical tasks; the analysis of last researches and publications in which there is begun the decision of the given problem and against which the author leans, allocation unresolved before parts of the general problem which article is devoted; a formulation of the purposes of article or problem statement; a statement of the basic material of research with a full substantiation of the received scientific results; conclusions (conclusion).

The note. Articles mismatching specified requirements, are not considered. Changes of editorial character can be made to article without the coordination with the author. Article maintenance responsibility is born by authors of the publication.

To article necessarily give:

The printing text of article with signatures of authors in one copy; the review of the doctor of sciences with indication of scientific degree of the reviewer, an academic status, a post, the work place, assured by the press; data on authors move in language of a writing of article (a separate file and the printed page): a surname, a name, a patronymic, year of the birth, the full name of a higher educational institution, scientific degree, an academic status, a post, a work place (chair, university - without reductions), a direction of scientific activity, the office address, office and mobile phone numbers, E-mail; summaries in the Ukrainian, Russian, English languages; a disk with article, summaries and data on authors. Except presence of illustrations in article text, illustrations give separate files. Transfer of an electronic copy of article, summaries and data on authors is supposed by e-mail. Authors of other states can submit articles in Russian and English languages.

Materials to send to the address: Shevchenko str., 95, build. 1, r. 242,
Chernihiv, Ukraine, 14027.
E-mail: cstu@stu.cn.ua. **Phone for inquiries:** (04622)3-42-44

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

№ 4(53)

Головний редактор:	В.В. Казимир
Відповідальний за випуск:	О.І. Пилипенко
Літературний редактор	Л.М. Сила
Коректор	О.С. Смєлова
Комп'ютерний набір і верстка	С.В. Бойко
	В.М. Олефіренко
	Т.В. Коваленко
	М.С. Шадріна
	С.В. Козловський

Підписано до друку 29.11.2011 р. Формат 60х84/8. Папір типовий. Друк офсетний.
Гарнітура Tames New Roman. Умов. друк. арк. – 31,74. Обл.-вид. арк. – 26,48.
Тираж 300 прим. Замовлення № 65/11.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського державного технологічного університету
вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, Україна, 14027.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру України суб'єктів видавничої справи ДК №840
від 04.03.2002 р.