МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

№ 3(51)

Чернігів 2011

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

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 5 від 30.05.2011 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:
Виноградов Б.В., доктор технічних наук;
Гутько Ю.І., доктор технічних наук;
Квасніков В.П., доктор технічних наук;
Литвинов В.В., доктор технічних наук;
Мошель М.В., доктор технічних наук;
Нікіфорчин Г.М., доктор технічних наук;
Павленко П.М., доктор технічних наук;
Павленко І.І., доктор технічних наук;
Ступа В.І., доктор технічних наук;
Харченко Г.К., доктор технічних наук;
Хома М.С., доктор технічних наук;
Tõnu Lehtla, Dr. Sc. Techn.

В 3(51) Вісник Чернігівського Державного технологічного університету.
Збірник. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – № 3(51). – 261 с.

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

© Вісник Чернігівського державного технологічного університету, 2011

Зміст

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА **6**

1. **Пилипенко О.І**. **6**
КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ І ПРИВОДІВ
2. **Коваль В.І.** **21**
ПРО ДЕЯКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ

РОЗДІЛ ІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ **27**

3. **Кальченко В.І.**, **Погиба Н.М., Кальченко Д.В.** **27**
ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ГЛИБИННОМУ ШЛІФУВАННІ ОРІЄНТОВАНИМ ЕЛЬБОРОВИМ КРУГОМ З ВРАХУВАННЯМ ДЕФОРМУЮЧИХ КРОМОК
4. **Рудик А.В.** **35**
РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРИ ШЛІФУВАННЯ З ВРАХУВАННЯМ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ
5. **Сахно Ю.О.**, **Сахно Є.Ю.**, **Шевченко Я.В.** **42**
СИСТЕМА КОМПЕНСАЦІЇ ДИНАМІЧНОЇ НЕВРІВНОВАЖЕНОСТІ РОТОРНОГО ВУЗЛА В ГІДРОСТПТИЧНІЙ ОПОРІ
6. **Федориненко Д.Ю.**, **Іванець С.А.**, **Сапон С.П.** **49**
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ ЗАСОБАМИ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ
7. **Кириченко А.М.** **58**
ВПЛИВ ДІАПАЗОНУ КУТІВ ПОВОРОТУ ШАРНІРНИХ ОПОР НА ОБ'ЄМ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ВЕРСТАТА-ГЕКСАПОДА
8. **Бойко С.В., Міхнєв С.С.** **63**
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА УПРАВЛЯЮЧА СИСТЕМА МОБІЛЬНОГО РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМЛЕКСУ
9. **Осмоловський О.І., Ігнатенко П.Л.** **66**
ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ РУХУ ВИКОНУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
10. **Хоменко І. М.** **70**
ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИЙ ЗНОС ДЕТАЛЕЙ І СПРЯЖЕНЬ МАШИН
11. **Веремей Г.А.** **79**
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
12. **Кальченко В.В., Юрченко Ю.Д.** **84**
МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ЗБІРНИХ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ З ОПТИМАЛЬНО ОРІЄНТОВАНИМИ НЕПЕРЕТОЧУВАНИМИ ПЛАСТИНКАМИ В T-FLEX CAD 3D

РОЗДІЛ ІІІ. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ **88**

13. **Болотов М.Г., Болотов Г.П.**, **Рижов Р.М.** **88**
ДИФУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ ДИСПЕРСНОЗМІЦНЕНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ГРУПИ АЛЮМІНІЙ-КАРБІД КРЕМНІЮ

РОЗДІЛ IV. МЕХАНОХІМІЯ **93**

14. **Чередніченко П.І.**, **Бакалов В.Г.**, **Бакалов О.В.** **93**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ПЛОСКОЩІЛИННОЇ ГОЛОВКИ НА ЯКІСТЬ ПЛІВКИ
15. **Кузяев И.М., Митрохин А.А., Рожко Н.А.** **100**
ПОЛУЧЕНИЕ ХИМВОЛОКОН ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА КОМБИНИРОВАННЫХ ЭКСТРУДЕРАХ
16. **Курмакова И.Н., Королев А.А., Сизая О.И.** **106**
ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ БРОМИДА ИМИДАЗОАЗЕПИНИЯ ПРИ КИСЛОТНОМ ТРАВЛЕНИИ СТАЛИ
17. **Внуков А.А., Чигиринец Е.Э.** **112**
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ ЧИСТОГО МЕДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПОРОШКА
18. **Бондарь Е.С., Ткаченко С.В., Демченко А.М., Сизая О.И.** **117**
КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЕДИ И ХРОМИРОВАННОЙ СТАЛИ В СРЕДЕ С БАКТЕРИАЛЬНОЙ СУЛЬФАТРЕДУКЦИЕЙ
19. **Гуменюк О.Л., Квашук Ю.В.** **122**
ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ГЕРБІЦИДНИХ ПРЕПАРАТІВ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ МЕТАЛЕВИХ СПОРУД І КОМУНІКАЦІЙ
20. **Слободян З.В., Маглатюк Л.А., Синіло В.М., Купович Р.Б.** **128**
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІНГІБІТОРА КОРСОЛ–2 ДЛЯ ЗАХИСТУ ЛОКАЛЬНИХ ВОДООБОРОТНИХ СИСТЕМ

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА **132**

21. **Oleksandr Husev**, **Lauris Bisenieks**, **Dmitri Vinnikov** **132**
FRONT-END ACTIVE RECTIFIER FOR GRID-CONNECTED PMSG BASED WIND TURBINES
22. **Здановський В.Г., Шомін О.В., Денисова Н.М.** **139**
ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ САМОДОСТАТНОСТІ РЕГІОНІВ

РОЗДІЛ VI. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ **144**

23. **Казимир В.В.**, **Сіра Г.А., Мушкетик І.І.** **144**
РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ EMS
24. **Павленко П.М., Задонцев Ю.В.** **154**
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМ НАВЧАННЯМ ІТ-ФАХІВЦІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ
25. **Нестеренко С.О.** **161**
АЛГОРИТМ УЩІЛЬНЕННЯ ТРИАНГУЛЯЦІЙ ТРИВИМІРНИХ ПОВЕРХОНЬ
26. **Никитенко Е.В., Силиченко А.И.** **167**
СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА
27. **Єрошенко А.М., Міхнєва Г.П.** **173**
ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ЗАДАЧАХ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ
28. **Заровський Р.В., Бисько Р.О.** **177**
СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРИКОПТЕРАМИ

29. **Поляков А. Ю.** **185**
КРИПТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ДАННЫХ ОТ РЕКОНСТРУКЦИИ АНАЛИЗОМ ДИНАМИКИ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ
30. **Гумен М.Б.**, **Гумен Г.Ф.** **192**
КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ
31. **Бойченко О.В.** **196**
ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ
32. **Двоєглазова М.В.** **201**
УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ВЗАЄМОДІЇ ДВОХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА **208**

33. **Іванишин В.А., Менайлов О.М., Шевченко А.Ф., Прибитько І.О.** **208**
ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ РОЗРИВІВ (У ЗВ'ЯЗКУ З ЇХ ФЛЮЇДНОЮ ПРОВІДНІСТЮ)
34. **Зацерковний В. І.** **215**
МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЕТАЛОННИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ ГІС ЗА ДОПОМОГОЮ ОРТОГОНАЛЬНИХ БАГАТОЧЛЕНІВ
35. **Мережаний Ю.Г.** **221**
ПІДІГРІВ ПОВІТРЯ В ЧИСТИХ ВИРОБНИЧИХ БОКСАХ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНОГО СКЛАДАЛЬННЯ ГІРОСКОПІЧНИХ ПРИЛАДІВ
36. **Демчук І.В., Замай Ж.В., Пустовойт А.М., Волкова І. В.** **226**
ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ДЛЯ АДАПТАЦІЇ РОСЛИН КАРТОПЛІ IN VITRO ДО УМОВ IN VIVO
37. **Іванова Ю., Менайлов О., Гавриленко О., Кириченко Т.** **231**
РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ВАТ «ОБЛТЕПЛОКОМУНЕНЕРГО» ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ ШУХАРТА

АНОТАЦІЇ **240**
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ **259**

МЕХАНІКА

УДК 621.855

О.І. Пилипенко, д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ І ПРИВОДІВ

Представлений комплексний підхід до проектування і реалізації ланцюгових передач і приводів, що базується на врахуванні реальних динамічних процесів, що супроводжують їх роботу, використанні полімерних композитних матеріалів, ресурсозберігаючих технологій і обладнання для їх здійснення, автоматизованому оптимальному проектуванні, в результаті чого конструктор зможе вибирати науково обгрунтовану сукупність значень параметрів, при яких ще на стадії проектування забезпечується висока динамічна якість ланцюгових передач і приводів.

Вступ

Багатомасова ланцюгова передача представляє собою систему, що складається з взаємодіючих та взаємообумовлених неподільних елементів, має багато можливих реалізацій в процесі свого функціонування і тому відноситься до складних систем.

Нові підходи до розрахунку і конструювання ланцюгових передач і приводів повинні базуватися на врахуванні реальних динамічних процесів, що відбуваються під час їх роботи, використанні полімерних композитів для виготовлення зірочок та ланцюгів і переходом на автоматизоване оптимальне проектування, що дасть змогу вибирати сукупність значень їх параметрів, при яких ще на стадії проектування забезпечуватиметься висока динамічна якість передач і приводів.

Більшість машин потребує вдосконалення їх приводів, зокрема ланцюгових, з метою зниження матеріаломісткості та енергетичних витрат на розгін та гальмування ведених деталей. Одним з головних напрямків досягнення цієї мети є перехід на полімерні композити для виготовлення деталей машин.

Актуальність проблеми полягає в тому, що в результаті зміни матеріалу змінюються пружні, інерційні та демпфіруючі параметри динамічної системи, що веде до необхідності зміни розрахунків, традиційних для металевих ланцюгових приводів.

Мета статті полягає у комплексному висвітленні питань, що стосуються підвищення якості ланцюгових передач і приводів.

Публікації та попередні міркування

В [1] закладені і систематично викладені наукові основи синтезу ланцюгових передач на базі нової концепції їх розрахунку, що полягає, насамперед, у тому, що ланцюгова передача розглядається як коливальна система. Робота ланцюгової передачі описується диференціальними рівняннями **крутильних коливань**, рішення яких чисельним методом на ЕОМ дає власні частоти і форми коливань передачі з практично будь-якою кількістю мас. Рішення рівняння **поперечних коливань** ведучої вітки ланцюгового контуру представляє собою суму членів ряду, кожний з яких є так звана стояча хвиля, що відповідає певній формі коливань. Отримані залежності, що пов'язують частоти власних коливань вітки, швидкість руху і її натяг. Досліджені умови стійкості руху ведучої вітки ланцюга при періодичній зміні її натягу шляхом зведення вихідного диференціального рівняння до рівняння Матьє-Хілла, з аналізу періодичних рішень якого визначені області стійкості при **параметричних коливаннях** та резонансні частоти поперечних коливань вітки. В результаті рішення частотного рівняння власних **поздовжніх коливань** ведучої вітки ланцюгового контуру визначені їх власні частоти. Прирівнюванням власних частот і частот вимушених коливань отримані резонансні частоти

для крутильних, поперечних, параметричних і поздовжніх коливань в ланцюговій передачі. В результаті проведеного кінематичного аналізу ланцюгових передач виявлено, що функції збурень, записаних для періоду зачеплення шарніра ланцюга з зубом зірочки, являють собою негармонічні періодичні збурення, викликані **полігональним ефектом зірочок** (конструктивно-кінематичний фактор), **різнорозмірністю кроків ланок і накопиченою похибкою довжини вітки ланцюга** (експлуатаційні фактори), **ексцентриситетами зірочок** (технологічний фактор). Визначені сили удару зуба зірочки, ведучої та ударної ланок ланцюга, тривалість їх дії та відповідні частотні спектри ударних імпульсів, маси, що приймають участь в ударах, а також пов'язані з співударом джерела звуковипромінювання (шуму) в ланцюговій передачі.

В результаті рішення системи диференціальних рівнянь *n*-масової ланцюгової передачі отримані динамічні навантаження у вітках ланцюгового контуру, інерційні навантаження від нерівномірності обертання мас та динамічні нерівномірності їх обертання.

Проведені натурні (на створеному і запатентованому стенді) і машинні (на ЕОМ) експериментальні дослідження показали цілком задовільне співпадання теоретичних величин частот, амплітуд коливань, динамічних навантажень та резонансних частот обертання з отриманими експериментально, що підтверджує справедливість вихідних передумов, прийнятих під час теоретичних досліджень динамічних процесів у ланцюговій передачі, і дає змогу впевнено працювати в напрямі подальшого вдосконалення методів проектування ланцюгових передач на основі розглянутої концепції.

В подальших роботах [2,3,4,5,6,7,8] знайшли своє висвітлення питання практичного виготовлення ланцюгів з полімерних композитів, дослідження ланцюгового зачеплення, застосування відходів виробництва для покращення механічних характеристик полімерних композитів, розвиток теорії не тільки ланцюгових передач, але і приводів у напрямку оптимізації їх структурних, параметричних і експлуатаційних характеристик.

Останні досягнення, що стосуються питань якісного проектування, виготовлення та експлуатації ланцюгових передач і приводів з точки зору розвиненої теорії та застосування новітніх матеріалів і ресурсозберігаючих технологій викладені в монографії [9].

Використання розроблених моделей і систем врахування механічних і термічних властивостей полімерних композитів для деталей ланцюгових передач дозволяє достатньо точно визначити загальну картину деформування полімерних деталей, встановити характер розподілу напружень і температур в тілі деталі та зони їх концентрації в залежності від застосовуваних матеріалів, режимів роботи, типорозмірів і варіантів конструктивного виконання.

Результати дослідження динамічної системи ланцюгової передачі частотними методами

Зниження динамічних навантажень, контактних напружень і зношування можна досягти застосуванням полімерних і металополімерних зірочок та ланцюгів, проте, зміна пружних, інерційних і демпфіруючих параметрів у результаті їх використання неминуче призведе до неузгодженості динамічної системи ланцюгової передачі і зсуву резонансних зон частот обертання. Тому застосування таких деталей передач повино супроводжуватись прогнозуючим динамічним розрахунком, що дасть змогу керувати вказаними параметрами.

Математична модель роботи *n*-масової ланцюгової передачі у загальному вигляді може бути записана наступним чином [9]:

$$I_1\ddot{\varphi}_1 + \eta(\dot{\varphi}_1 R_1 - \dot{\varphi}_2 R_2)R_1 + c_{1,2}(\varphi_1 R_1 - \varphi_2 R_2)R_1 + \eta(\dot{\varphi}_1 R_1 - \dot{\varphi}_n R_n)R_1 +$$
$$+ c_{1,n}(\varphi_1 R_1 - \varphi_n R_n)R_1 = -c_{1,2}(S_{x1} - S'_{x2})R_1 - c_{1,n}(S'_{x1} - S_{xn})R_1 + M_P;$$
. . . . . .

$$
\begin{aligned}
&I_i\ddot{\varphi}_i+\eta(\dot{\varphi}_iR_i-\dot{\varphi}_{i-1}R_{i-1})R_i+c_{i-1,i}(\varphi_iR_i-\varphi_{i-1}R_{i-1})R_i+\eta(\dot{\varphi}_iR_i-\dot{\varphi}_{i+1}R_{i+1})R_i+\\
&+c_{i,i+1}(\varphi_iR_i-\varphi_{i+1}R_{i+1})R_i=-c_{i-1,i}(S'_{xi}-S_{xi-1})R_i-c_{i,i+1}(S_{xi}-S'_{xi+1})R_i;\\
&\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot\\
&I_n\ddot{\varphi}_n+\eta(\dot{\varphi}_nR_n-\dot{\varphi}_{n-1}R_{n-1})R_n+c_{n-1,n}(\varphi_nR_n-\varphi_{n-1}R_{n-1})R_n+\eta(\dot{\varphi}_nR_n-\dot{\varphi}_1R_1)R_n+\\
&+c_{n,1}(\varphi_nR_n-\varphi_1R_1)R_n=-c_{n-1,n}(S'_{xn}-S_{xn-1})R_n-c_{n,1}(S_{xn}-S'_{x1})R_n-M_O,
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

де i = 2,3,4,...,n-1; I_1,..., I_i,...,I_n – приведені моменти інерції мас відносно осей валів; φ_1,..., φ_i,..., φ_n – миттєві кути повороту мас (зірочок); $c_{1,2}$,..., $c_{i,i+1}$, ..., $c_{n,1}$ – жорсткості відповідних віток ланцюгового контуру; R_1,..., R_i,...,R_n – радіуси розташування кінцевих шарнірів віток ланцюгового контуру на зірочках; S_{x1},..., S_{xi} ,..., S_{xn} , $S_x'_1$,..., $S_x'_i$,..., $S_x'_n$ – розкладені в ряди Фур'є функції збурень, що представляють собою періодичні негармонійні поздовжні переміщення кінцевих шарнірів, що набігають і збігають (зі штрихами), віток ланцюгового контуру; η − коефіцієнт демпфірування; M_p , M_o – рушійний момент і момент опору відповідно.

Рішення чисельними методами на ЕОМ узагальненої алгебраїчної проблеми власних значень дає квадрати власних частот і власні форми коливань ланцюгової передачі з практично будь-якою кількістю мас:

$$p_\varphi^2=[M]^{-1}\cdot[C]\ , \qquad (2)$$

де [M] – діагональна матриця обертових мас; [C] – симетрична матриця жорсткостей віток ланцюгового контура.

Для прикладу на рис.1 представлена частотна діаграма, де показані всі власні частоти 2-масової ланцюгової передачі (горизонтальні лінії: поперечних коливань f_u, крутильних коливань f_φ ,поздовжніх коливань f_x), частоти збурень (від полігонального ефекту зірочок f_z, накопиченої погрішності довжини вітки f_w, $2f_w$, ексцентриситетів зірочок f_d) і відповідні резонансні числа частот обертання (на осі абсцис) $n_z^u, n_z^\varphi, n_d^u, n_w^u, n_z^x$ для ланцюгової передачі, оснащеної ланцюгом ПР-15,875-2270-2 ГОСТ13568-75, натяг ведучої вітки якої S_1= 1 кН, її довжина $l=nt$=33·15,875=523,87мм, число ланок в контурі W=66, передаточне число u=1,8 , моменти інерції I_1=0,13 кгм^2, I_2=0,17 кгм^2.

Як видно з рис.1, резонансні частоти обертання від ексцентриситетів зірочок по поперечних коливаннях n_d^u та від накопиченої похибки довжини вітки по поперечних коливаннях n_w^u лежать у діапазоні 1500...2250 хв$^{-1}$. Резонансні частоти обертання від полігонального ефекту по поздовжніх коливаннях досягають майже 3000 хв$^{-1}$. Що ж стосується резонансних частот обертання від ексцентриситетів та накопиченої похибки довжин вітки по крутильних коливаннях, то вони лежать настільки високо, що не попадають навіть у діапазон швидкостей, практично досяжних для роликових ланцюгових передач на сучасному рівні розвитку техніки. З іншого боку, резонансні частоти обертання по поперечних n_z^u і крутильних n_z^φ коливаннях від полігонального ефекту зірочок лежать у нижньому діапазоні частот обертання (до 375 хв$^{-1}$). Що ж стосується резонансних частот обертання від накопиченої похибки довжини вітки, то їх значення будуть лежати в області частот обертання (8...15)·10^3 хв$^{-1}$, тобто в недосяжному для реальних ланцюгових передач діапазоні. Зазначимо, що резонансні частоти обертання n_z^u, n_d^u при поперечних коливаннях віток ланцюгового контуру і n_z^x при поздовжніх їх коливаннях не залежать від моментів інерції (мас) ланцюгової передачі.

Усі резонансні частоти обертання по крутильних коливаннях суворо залежать від моментів інерції (приведених мас) ланцюгової передачі, причому падають зі збільшенням ведучої маси і при деякому її значенні асимптотично наближаються до осі абсцис,

тобто при подальшому збільшенні її резонансної частоти залишаються майже постійними. На рисунку 1 показані лише резонансні частоти обертання по крутильних коливаннях від полігонального ефекту зірочок, тому що інші (від ексцентриситетів і накопиченої похибки довжини віток) лежать у високому діапазоні швидкостей (від n = 1500 хв$^{-1}$ і вище).

Методи відстроювання від резонансних частот обертання докладно розглянуті в [10]. Практично найбільш можливим є впадання системи в резонанс з основним тоном власних коливань. Тому при будь-яких надрезонансних швидкостях буде спостерігатися зниження динамічних навантажень, що і підтверджується експериментально. Проте, найбільша припустима швидкість диктується ударною міцністю роликів, підвищити яку можна застосуванням полімерних зубчастих вінців зірочок і ланцюгів (або хоча б їх внутрішніх ланок) з полімерних композитів.

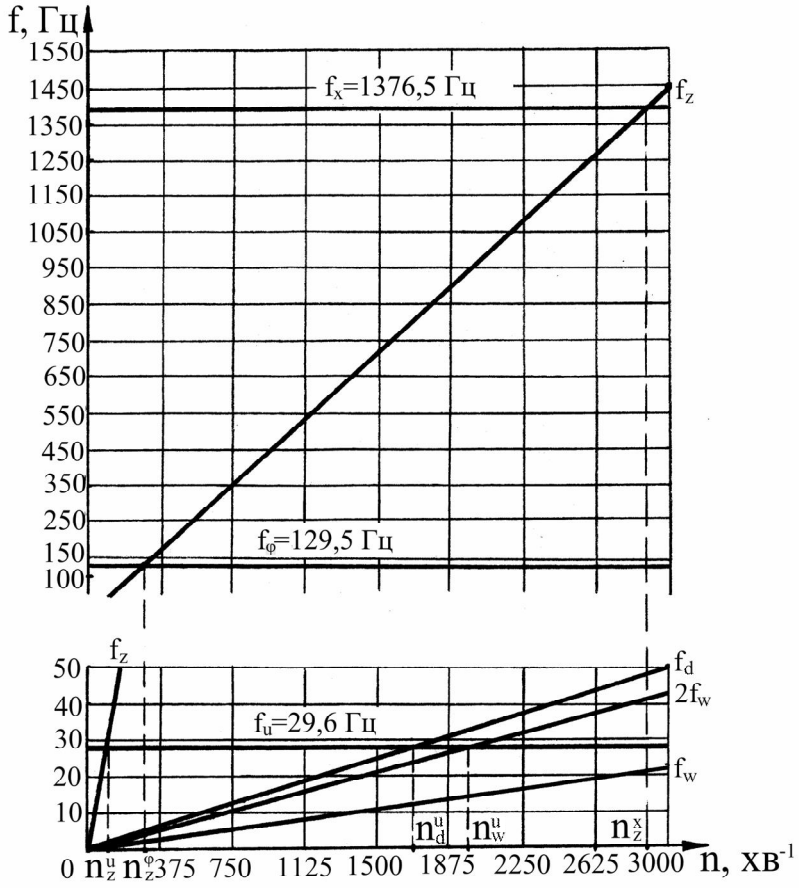


Рис.1. Частотна діаграма

Основні кінематичні і динамічні переваги ланцюгових передач, оснащених полімерними деталями

Розв'язавши систему рівнянь (1) відносно кутових швидкостей ω_1, ω_2 та кутових прискорень ε_1 і ε_2 (перша та друга похідні від φ_1, φ_2) ведучої та веденої обертових мас 2-масової ланцюгової передачі, можна отримати їх графічні залежності. На рис.2,3 зображені зміни вказаних величин під час пуску лише для веденої обертової маси, оскільки вважається, що ведуча маса обертається рівномірно (що не відповідає дійсності, хоча ведуча маса має меншу нерівномірність обертання, ніж ведена [11]).

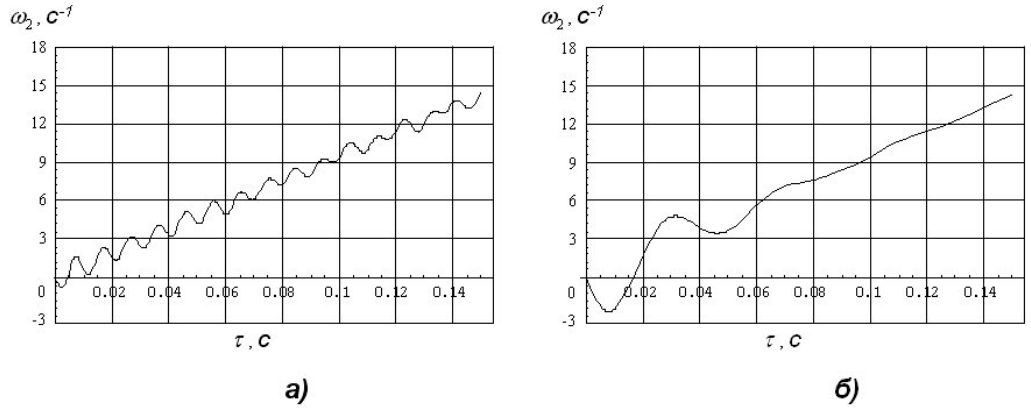


Рис.2. Кутова швидкість веденої обертової маси з металевим а) і полімерним b) ланцюгами

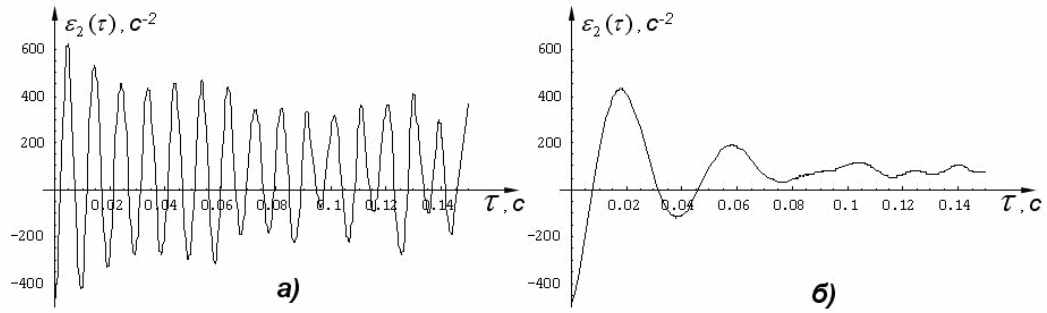


Рис.3. Кутове прискорення веденої обертової маси з металевим а) і полімерним b) ланцюгами

Вигляд кривих кутових швидкостей і прискорень (рис.2,3) свідчить про те, що рух обертальних мас ланцюгового привода не є рівномірним. Значення кутових швидкостей і прискорень у ланцюгового привода, оснащеного полімерним ланцюгом, менші порівняно з цими ж значеннями ланцюгового привода, оснащеного стандартним металевим ланцюгом. Починаючи з 0,08 с після пуску, рух веденої обертової маси стає практично майже рівномірним у випадку застосування полімерного ланцюга, в той час як при застосуванні стандартного металевого – рух продовжує бути нерівномірним.

Розв'язавши систему рівнянь (1) відносно деформації ведучої вітки ланцюга $\varphi_1 R_1 - \varphi_2 R_2$, знайдемо динамічне навантаження у ведучій та веденій вітках (для 2-масової ланцюгової передачі), зумовлене полігональним ефектом зірочок (рис. 4 а, б) [11]:

$$F_{дин1}(\tau) = c_1 \cdot (\varphi_1 R_1 - \varphi_2 R_2 + \frac{t}{\pi}\sum_{k=1}^{5}(-1)^k \frac{\sin(kz_1\omega_1\tau)}{k(1-k^2 z_1^2)}) - \frac{t}{\pi}\sum_{k=1}^{5}(-1)^k \frac{\sin k(z_2\omega_2\tau - 2\pi j)}{k(1-k^2 z_2^2)}), \quad (3)$$

$$F_{дин2}(\tau) = c_2 \cdot (\varphi_1 R_1 - \varphi_2 R_2 - \frac{t}{\pi}\sum_{k=1}^{5}(-1)^k \frac{\sin[k(z_1\omega_1\tau - \xi_1)]}{k(1-k^2 z_1^2)} + \frac{t}{\pi}\sum_{k=1}^{5}(-1)^k \frac{\sin[k(z_2\omega_2\tau - \xi_2 - 2\pi j)]}{k(1-k^2 z_2^2)}).$$

Інерційні навантаження від нерівномірності обертання мас

$$F_{\partial i} = m_i \ddot{x}_i = F_{i,i+1} - F_{i-1,i}\ , \quad (4)$$

де m_i – обертові маси; $\ddot{x}_i$ – їх прискорення ($x_i = \varphi_i R_i$).

Динамічна нерівномірність обертання мас (зірочок)

$$\delta_i = 2\varphi_i z_i \cdot 100\%\ , \quad (5)$$

де z_i − числа зубців зірочок.

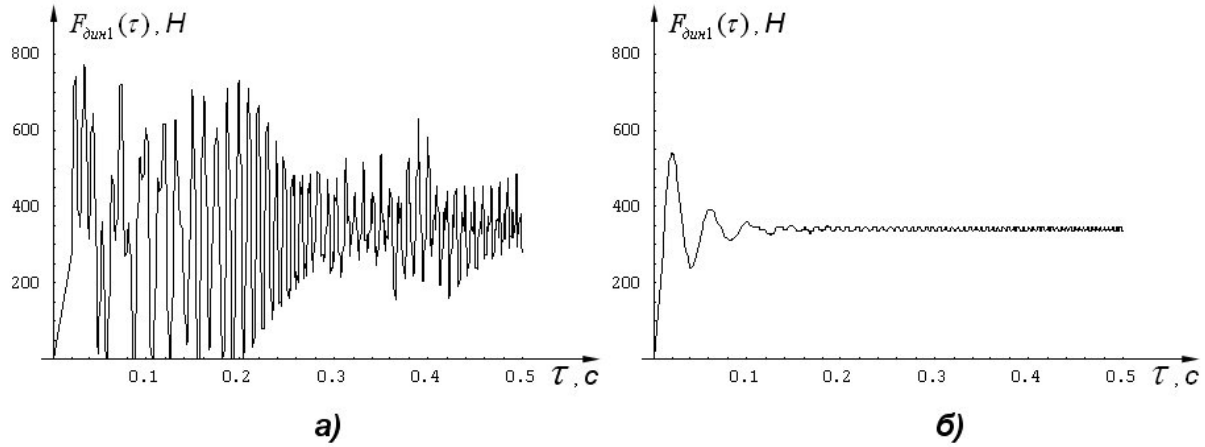


Рис. 4. Динамічне навантаження у ведучій вітці, зумовлене полігональним ефектом зірочок з металевим а) і полімерним б) ланцюгом

З рисунків 4а,б бачимо, що усталений режим роботи ланцюгового привода, оснащеного полімерним ланцюгом, наступає значно раніше (близько 0,15 с), ніж привода, оснащеного металевим ланцюгом (близько 0,45 с). Амплітуда коливань динамічного навантаження у ведучій та веденій вітках ланцюгового привода, оснащеного металевим ланцюгом більша, ніж у привода, оснащеного полімерним ланцюгом. Кількість коливань динамічного навантаження у ланцюговому приводі з металевим ланцюгом значно більше, ніж у приводі з полімерним ланцюгом, оскільки ланка металевого ланцюга складається з 6 деталей, що призводить до різнорозмірності кроків ланцюга, що не відповідає параметрам ланцюга з полімерних композитів, який має дуже малі відхилення по кроку (оскільки ланки ланцюга відливаються під тиском з одної і тієї ж прес-форми на термопластавтоматах).

Зменшення контактних напружень застосуванням полімерних композитів

Однією з причин виходу з ладу приводних роликових ланцюгів є розколювання роликів внаслідок високих контактних напружень, що виникають в момент зачеплення ролика ланцюга з зубцем зірочки. Навіть незначні кути перекосу призводять до значного зростання величини контактних напружень [2]. Один з найефективніших засобів зменшення величини контактних напружень — застосування полімерних композитів як матеріалу для виготовлення зірочок. Розглянемо на конкретному прикладі результати такого застосування і порівняємо їх з традиційними. Вихідні дані: ланцюг ПР–25,4-5760 ГОСТ 13568–75. Потужність N=6,6 кВт. Швидкість руху ланцюга V=1,95 м/с. Число зубців зірочки z=18. Для виготовлення зірочки застосовано склонаповнений поліамід ПА–66–КС (E_2=3,53·10^3 МПа, μ_2=0,38). Для сталі E_1=2,06·10^5 МПа, μ_1=0,3.

В табл.1 наведені контактні напруження, обчислені за відомою формулою Герца.

Таблиця 1

Контактні напруження в залежності від профіля зубців зірочок та матеріалів їх виготовлення

Профіль зубців	$\sigma_{H\,max}$, МПа	
	металева зірочка	полімерна зірочка
ГОСТ 591–69	771,5	136,2
ГОСТ 592–75	982,1	173,3

Як бачимо, використання полімерної зірочки зменшує величину контактних напружень приблизно в 5,7 разів. Вочевидь, таке співвідношення буде справедливим для різних типів ланцюга, а також для різних вихідних даних, бо визначається лише

властивостями матеріалів. Однак, усі наведені розрахунки справедливі лише для "ідеального" випадку, тобто, коли контакт відбувається вздовж твірних циліндричних поверхонь контактуючих тіл, а кут між їхніми осями дорівнює нулю.

На практиці, в зв'язку з особливостями виготовлення приводних роликових ланцюгів, між осями будь-яких двох сусідніх роликів виникають перекоси, величина яких може сягати кількох десятків хвилин. В результаті навантаження розподіляється дуже нерівномірно по довжині ролика, або ж навіть контакт відбувається не по всій його довжині. Як наслідок, навіть незначні кути перекосу призводять до значного зростання величини контактних напружень. Так, у вже згадуваному прикладі, при куті перекосу всього в $5'$ контактні напруження зростають у 3 рази, а при $40'$ — більш, ніж у 9 разів (варіант з металевою зірочкою).

Характер залежності величини контактних напружень σ_γ від кута перекосу γ відображено на рис.5, де криві **1** і **2** відповідають залежностям для металевої зірочки з профілями зуба відповідно по ГОСТ 592–75 і ГОСТ 591–69, а криві **3** і **4** — для полімерної зірочки з такими ж профілями.

На графіку чітко помітні дві ділянки: перша — при $\gamma<\gamma_{кр}$, друга — при $\gamma>\gamma_{кр}$. Можна відзначити, що перекоси від $15'$ до $45'$, що найчастіше зустрічаються на практиці, для металевої зірочки цілком припадають на другу ділянку (що відповідає найбільш неприйнятному випадку контактування), у той же час для полімерної — переважно на першу ділянку.

Дуже наочну картину ми отримаємо, порівнюючи залежність коефіцієнта K_γ, що чисельно дорівнює σ_γ / σ_H, від кута перекосу γ. На рис.6 наведено графіки цих залежностей (**1** — для контакту металевого ланцюга з металевою зірочкою, **2** — для контакту того ж ланцюга з полімерною зірочкою).

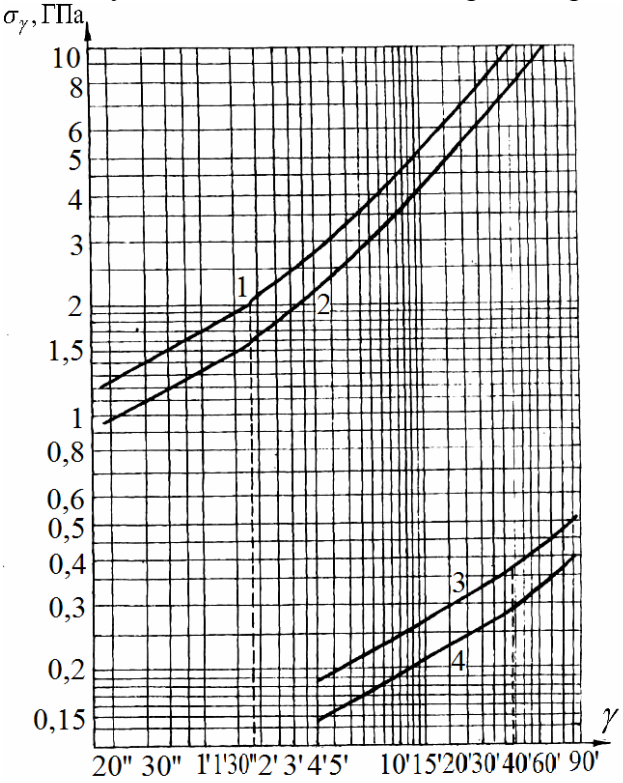


Рис.5.Залежності величини контактних напружень від кута перекосу ролика: 1,3 – металева і полімерна зірочки відповідно за ГОСТ 592-75; 2,4 – металева і полімерна зірочки відповідно за ГОСТ 591-69

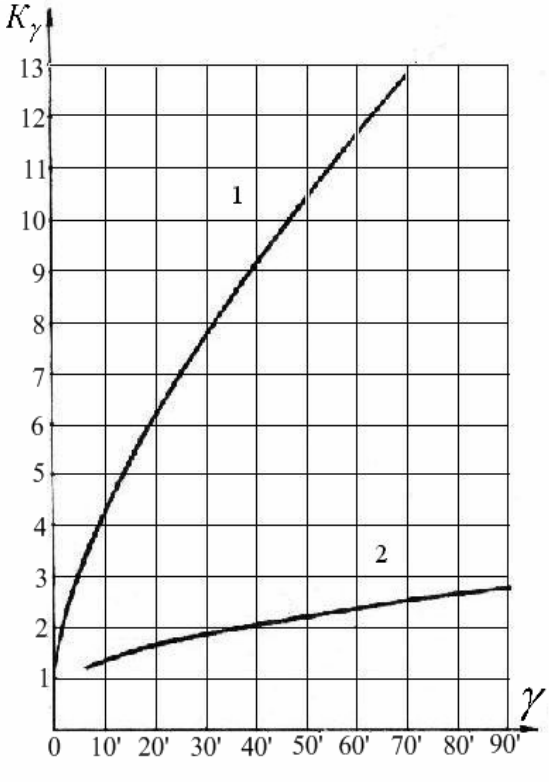


Рис.6. Залежність коефіцієнта K_γ від кута перекосу: 1 – контакт металевого ланцюга з металевою зірочкою; 2 – контакт металевого ланцюга з полімерною зірочкою

Як видно з графіків, вплив кута перекосу на збільшення контактних напружень набагато суттєвіший у випадку з металевою зірочкою. Так, критичний кут перекосу $\gamma_{кр}$, при якому K_γ =2, у разі застосування металевої зірочки складає всього лише 1′50″ , у той час як для полімерної зірочки він дорівнює 44′40″ . Таким чином, при перекосах 15′...45′ , що найчастіше зустрічаються на практиці, в передачах, оснащених полімерними зірочками, контакт відбувається по усій довжині ролика, причому контактні напруження зростають не більше, ніж вдвічі у порівнянні з ”ідеальним випадком”, а в передачах, оснащених металевими зірочками, довжина лінії контакту складає від 28,4 % до 14,7 % відповідно, при цьому контактні напруження зростають у 5,2...9,7 разів.

Певний інтерес становить те, як будуть змінюватись контактні напруження при наявності перекосів для ланцюгів різного кроку. З цією метою проведемо порівнювальний аналіз величини контактних напружень для тих же вихідних даних, що і в розглядуваному прикладі. Щоб умови залишилися такими ж, тобто не змінювався ділильний діаметр зірочки, необхідно для різних значень кроку ланцюга прийняти різне число зубців зірочки. Тому, якщо при t =25,4 мм прийнято z =18, то для значень t , що дорівнюють 19,05 мм, 15,875 мм і 12,7 мм значення z становитиме відповідно 24, 29 і 36 (при таких значеннях z відхилення по ділильному діаметру зірочок не перевищують 0,4 %).

В табл.2 наведено результати підрахунку для профілю по ГОСТ 591–69. Для профілю по ГОСТ 592–75 результати будуть аналогічні, лише $\sigma_{H\ max}$ збільшиться на 27.3 %.

Таблиця 2

Порівняння контактних напружень і кутів перекосу при застосуванні металевих і полімерних зірочок

Тип ланцюга за ГОСТ 13568–75	$\sigma_{H\,max}$, МПа		$\gamma_{кр}$		$\sigma_\gamma^{мет}/\sigma_\gamma^{пол}$ при перекосі		
Матеріал	метал	полімер	метал	полім.	γ= 20′	γ = 40′	γ =60′
ПР-12,7-900-1	2151,8	380,8	46′20″	18°45′	9,4	11,2	13,1
ПР-12,7-900-2	1835,1	324,8	24′30″	9°55′	11,0	14,3	15,7
ПР−12,7-1820-1	1368,8	242,3	9′09″	3°42′	14,8	16,7	18,3
ПР−12,7-1820-2	1142,6	202,2	4′26″	1°48′	16,8	19,8	22,2
ПР−15,875-2270-1	1252,1	221,6	7′37″	3°05′	15,2	17,4	19,2
ПР−15,875-2270-2	1026,0	181,6	3′26″	1°24′	17,8	21,3	24,0
ПР−19,05-3180	891,8	157,8	2′19″	56′20″	19,6	23,9	26,4
ПР–25,4-5670	771,5	136,2	1′50″	44′40″	20,9	25,7	28,0

Як видно з табл.2, збільшення кроку, а також збільшення ширини ланцюга при незмінному кроці суттєво зменшує критичне значення кута перекосу $\gamma_{кр}$, хоча співвідношення $\gamma_{кр}^{пол}/\gamma_{кр}^{мет}$ не залежить від кроку і становить близько 24,3.

Інша відносна характеристика, $\sigma_\gamma^{мет}/\sigma_\gamma^{пол}$, яка, по суті, і є показником ефективності заміни металевих зірочок полімерними, зростає при збільшенні кроку і ширини ланцюга, а якщо крок однаковий — при збільшенні кута перекосу. За умови γ=0 співвідношення $\sigma_\gamma^{мет}/\sigma_\gamma^{пол}$ не змінюється і при будь-якому кроці та ширині ланцюга дорівнює 5,67, тобто визначається лише властивостями матеріалів контактуючих тіл.

Всі наведені розрахунки і висновки справедливі також і за інших вихідних умов (потужності, колової швидкості тощо). Зауважимо, однак, що при зростанні колового зусилля (або потужності) в n разів також в n разів збільшується критичне значення кута перекосу, а величина контактних напружень збільшується в $\sqrt{n}$ разів.

Таким чином, найбільша ефективність по зниженню контактних напружень при заміні металевих зірочок полімерними досягається при найбільших значеннях кроку і ширини ланцюга.

Інтегровані деталі ланцюгових передач

Виробництво деталей ланцюгових передач з полімерних композитів маловідходне та не дуже енергоємне. З них легше виготовити деталі складної форми, вони **є настільки технологічними, що дозволяють створювати так звані інтегровані деталі, виробництво яких з металу набагато дорожче або взагалі неможливе.** Оскільки питома вага полімерних композиційних матеріалів у декілька разів нижче питомої ваги сталі, моменти інерції деталей і споживана енергія під час прискорення і гальмування зменшуються, що дозволяє підвищувати частоту обертання. При цьому вони не вибагливі до змащування, працюють практично без шуму і володіють добротною зносостійкістю.

Окрім вимог, висуваємих до конструкцій деталей з полімерних матеріалів, що виробляються литвом під тиском, **під час створення нових конструкцій елементів ланцюгових передач передбачалась можливість виконання деталей інтегрованими, тобто одна монолітна деталь, що виготовляється за одну технологічну операцію, може включати в себе максимальне число структурно функціональних елементів** (наприклад, 6 деталей ланки стандартного металевого роликового ланцюга)**.**

На рис. 7 показані пружна монолітна ланка з полімерного композиту та ланцюги, складені з таких пружних монолітних ланок. Важливо відзначити, що з таких ланок можна складати дво- , три- і багаторядні ланцюги. Промислові зразки таких ланцюгів і представлені на рис. 7. На цьому ж рисунку показаний також металополімерний ланцюг (знизу), внутрішні ланки якого виконані з полімерного композиту у вигляді одної інтегрованої монолітної деталі (рис. 8), що складається з двох циліндричних елементів з отворами, з'єднаних пластинчастими елементами, і зовнішніх ланок, в ролі яких можуть служити стандартні металеві з'єднувальні ланки, тобто такий ланцюг є повністю розбірним. На рис.8 показана також зірочка з полімерного композиту, інтегрована з барабаном і кришкою кріплення.

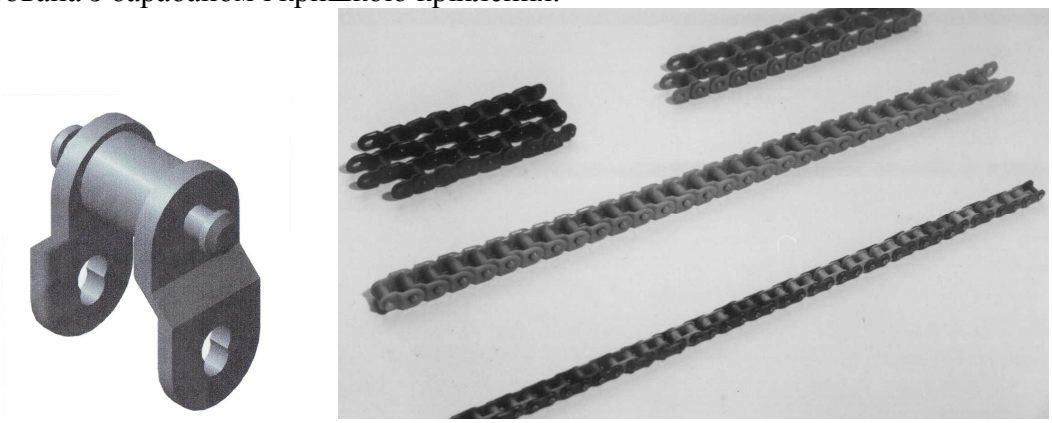


Рис. 7. Пружна монолітна ланка (ліворуч) та металополімерний однорядний (знизу), полімерні одно-, дво- та трирядні ланцюги

Слід зазначити, що в разі заміни металевого ланцюга на полімерний або металополімерний, у якому внутрішні ланки виготовлені з полімерного композиту,

розмірна точність ланцюгів, виготовлених з склонаповнених марок поліамідів, досягає точності кращих зразків зарубіжних фірм, які застосовують селективне складання металевих деталей ланок роликових ланцюгів (англійська фірма Renold і японська – Tsubaki).

Наголосимо також на тому, що представлені інтегровані деталі виготовляються на термопластавтоматах за одну технологічну операцію.

Рис.8. Інтегрована зірочка (з барабаном і кришкою кріплення) і металополімерний ланцюг з інтегрованою внутрішньою ланкою з полімерного композиту

Використання відходів виробництва в полімерних композитах для покращення механічних характеристик деталей ланцюгових передач

Деталі ланцюгових і зубчастих приводів машин, особливо сільськогосподарських, працюють в умовах циклічного згину зубців, великих ударних навантажень, вібрацій, абразивного спрацювання і агресивних середовищ. В таких умовах великотонажні полімерні матеріали, що випускаються серійно, виявляються непридатними до використання. З іншого боку, є великі запаси вторинної сировини, у вигляді спрацьованих шинних виробів і конвеєрних стрічок, які до цього часу не знайшли широкого використання. З метою створення полімерного композиту, який задовольняє умови експлуатації вказаних приводів машин, і економії поліамідів були досліджені полімерні композити, які складаються з поліаміду ПА-6 210/310 по ОСТ 6-06-29-76, гумової кришки з вулканізованих відходів та модифікуючого додатку − мастила циліндрового важкого 52 по ГОСТ 6411-76. В якості наповнювача була використана кришка (фракції від порошку до $2,5 \pm 0,5$ мм), одержувана подрібненням спрацьованих шинних виробів, конвеєрних стрічок (ТУ 38105378-77), що містить натуральний і бутадієновий каучуки, сажу і N-феніл-N’-ізопропіл-n-фенілендіамін у відсотковому співвідношені 46,4:19,7:33,2:0,7 відповідно [4] .

В технології переробки полімерного композиту, що розглядається, процеси формування матеріалу і отримання з нього виробів об’єднані. Композиційний матеріал (позначення ПА6-210 КР) переробляється литвом під тиском на стандартному обладнанні (термопласт-автоматах).

Для визначення механічних властивостей і відпрацювання найкращого співвідношення компонентів були відлиті серії стандартних зразків з різним співвідношенням гумової кришки і поліаміду (по 40 шт.) для випробувань з метою визначення модуля пружності і руйнуючого напруження при згині, границі міцності, модуля пружності при розтягу, ударної в’язкості по Шарпі, динамічного модуля пружності і коефіцієнта механічних втрат. Для проведення випробувань використовувались машини FM-1000, ZD-10/90, ZD-20, маятниковий копер PSW-1,5 і резонансна установка (ГОСТ19873-80). Умови проведення випробувань відповідали ГОСТ 9550-81.

Проведені динамічні випробування з метою визначення пружних і вібропоглинаючих властивостей композиту при циклічних навантаженнях дають більше інформації про матеріал, ніж інші методи. Для розрахунку конструкцій, які зазнають дії вібраційних навантажень, необхідно мати дані не тільки про динамічний модуль пружності, але і про здібності матеріалу гасити вібрації, тобто про внутрішнє тертя в матеріалі. Кількісно внутрішнє тертя, як і динамічну пружність, оцінюють при циклічних процесах деформування, коли найбільш виразно проявляються специфічні особливості динамічних властивостей полімерних матеріалів. При цьому напруження в матеріалі при визначенні пружних та деформаційних властивостей повинні бути одного порядку з напруженнями, що виникають у конструкціях, на які діють вібраційні навантаження. Окрім цього, визначення динамічних характеристик доцільно проводити при тих же частотах (порядку 10-300 Гц), які мають місце в реальних конструкціях. Ці вимоги задовольняє ГОСТ 19873-80 "Пластмассы. Резонансный метод определения динамических модулей упругости и механических потерь при колебаниях консольно закрепленного образца". На рис. 9 показано зміну динамічного модуля пружності при поперечному згині, а на рис. 10 − зміну коефіцієнта механічних втрат в залежності від відсоткового (мас. %) вмісту гумової кришки. Як видно з рисунків, динамічний модуль пружності краще у матеріалі з 10% наповненням, але по коефіцієнту механічних втрат (вібропоглинаючим властивостям) перевагу треба віддати 15% наповненню гумовою кришкою, тим більше, що різниця в значеннях динамічного мудуля пружності не настільки велика. На рис.11 показані амплітудні залежності логарифмічних декрементів коливань δ при поперечному згині від амплітуди навантажень σ_o для базової марки поліаміду і поліаміду, модифікованого гумовою кришкою. Криві побудовані по середніх значеннях, отриманих в результаті обробки віброграм для трьох зразків кожного матеріалу при нормальній температурі. Найбільша амплітудна залежність має місце у гумонаповненого поліаміду, причому із збільшенням амплітуди декремент спочатку зростає інтенсивно, а при значних амплітудах − помітно слабшає.

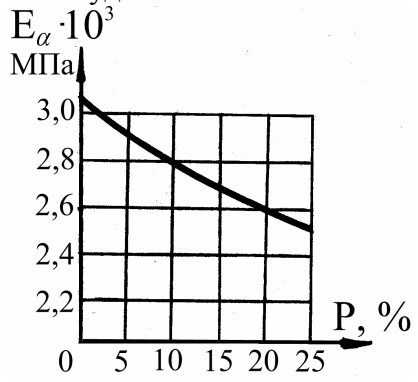


Рис.9. Зміна динамічного модуля пружності при поперечному згині від вмісту гумової кришки

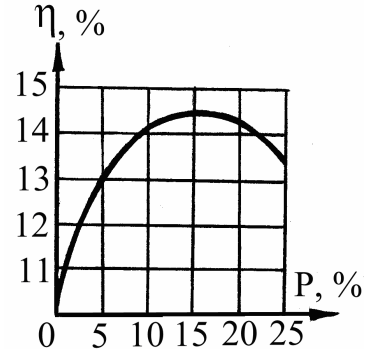


Рис.10. Зміна коефіцієнта механічних втрат від вмісту гумової кришки

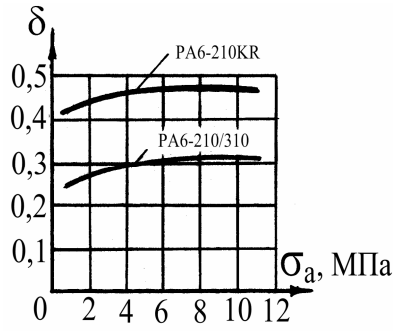


Рис.11. Амплітудні залежності логарифмічних декрементів коливань

Результати випробувань зразків на розтяг, згин, ударну в'язкість, наповнених 15% гумовою кришкою, приведені в таблиці 3. В дужках показані механічні характеристики базової марки поліаміду, за вийнятком ударної в'язкості, яка приведена для склонаповненого поліаміду ПА6-210 КС.

Як видно з таблиці 3, полімерний композит ПА6-210КР трохи програє базовому матеріалу по статичному модулю пружності при розтягу і згині, а також динамічному модулю пружності при поперечному згині і руйнуючому напруженню при розтягу,

проте, по руйнуючому напруженню при згині і вібропоглинаючих властивостях значно виграє.

Таблиця 3

Результати випробувань

Матеріал	Ер $x10^3$, МПа	Еих10^3, МПа	Ед $x10^3$, МПа	σр, МПа	σи, МПа	а, кДж/м^2	η, %
ПА6-210КС	0,9	1,6	2,7	50	133	32	14,5
ПА6- 210КР	1,35	2,65	3,6	66	90	30	10,2

Вказані недоліки можуть бути усунені термообробкою матеріалу в контакті з короткозамкненими обкладинками різнорідних матеріалів (наприклад, мідь-алюміній, тобто поляризацією в електричному полі), що дає збільшення руйнуючого напруження в 1,2-1,8 рази. Це зумовлено збільшенням міцності полімерного сполучника, а також підсиленням адгезійної взаємодії сполучника і наповнювача. Поляризація полімерного матеріалу сприяє і покращенню триботехнічних характеристик металополімерних вузлів тертя, якими є металічний ланцюговий контур, який працює на полімерних зірочках, і полімерні натяжні зірочки на сталевих пальцях. Щодо ударної в'язкості, то у модифікованого гумовою кришкою поліаміду вона навіть вища, ніж у наповненого коротким скловолокном (30%) марки поліаміду ПА6-210КС. Для зменшення коефіцієнту тертя і зносу в композит добавляють поліетилен (ПЭНД до 10%). При підвищенні температури в зоні тертя відбувається плавлення поліетилену з виникненням легкорухливої плівки розплаву (своєрідного третього проміжного тіла), що забезпечує високі антифрикційні характеристики. Для склонаповнених марок поліамідів додають графіт, дісульфід молібдену і політетрафторетилен.

Враховуючи, що наповнення проводиться дешевими відходами по нескладній технології, знижуючи ціну на перероблюваний у вироби матеріал, можна зробити висновок, що застосування полімерного композиту ПА6-210КР з 15% наповненням гумовою кришкою доцільно для зірочок зубчастих коліс, ланок ланцюгів і в приводах машин, що зазнають циклічних навантажень. Підтвердженням цьому служать впровадження зірочок, циліндричних і конічних зубчастих коліс із полімерного композиту ПА6-210КР на ряді підприємств машинобудування по виробництву сільскогосподарських машин і обладнання для переробки сільскогосподарської продкукції.

Проектування *n*-масової ланцюгової передачі

Проектування ланцюгової передачі з **будь-якою кількістю мас** розглядається як сукупність двох основних задач: вибору структури (**структурного синтезу**) і вибору числових значень параметрів отриманої структури (**параметричного синтезу**).

Частина параметрів, які є керуючими в сенсі динамичної якості системи, виділяються як варіюємі. Вибір значень параметрів, які варіюються, складає предмет параметричного синтезу.

Будемо розрізняти **системний, функціональний, конструктивний і технологічний рівні проектування**. На системному рівні здійснюється аналіз роботи динамічної системи ланцюгової передачі в цілому і її декомпозиція за структурним принципом у вигляді самостійних підсистем (двомасових передач − парціальнх систем) для наступних етапів проектування.

На функціональному рівні проектування формується математична модель у вигляді системи диференціальних рівнянь, які описують структуру і функціонування динамічної системи багатомасової ланцюгової передачі. На такій моделі можна

здійснювати імітаційні експерименти, пов'язані з вибором параметрів у діалоговому або автоматичному режимах.

На конструктивному рівні основною задачею є синтез параметрів: координат розташування і орієнтації зірочок (топології), межосьових відстаней, кутів охоплення, типу, кроку та параметрів ланцюга і зірочок. Задачею технологічного рівня проектування є синтез технологічного процесу у вигляді послідовності виробничих операцій обробки поверхонь деталей (для металевих зірочок і ланцюгів), або об'ємного виготовлення деталей за один технологічний цикл з полімерних композитів, складання і контролю якості.

Структурний синтез здійснюється на основі побудови оптимальної структурної схеми, що складається з суми 2-масових модулей (дві зірочки, з'єднані віткою ланцюгового контуру), тобто **парціальних систем, що топологічно формують практично будь-яку множину ланцюгових передач**, з будь-якою кількістю мас, розташованих різним чином в декартовій системі координат. При цьому враховуються різні випадки розташування зірочок в ланцюговому контурі і умови, при яких структурна схема багатомасової ланцюгової передачі є геометрично сумісною, а її конструктивна реалізація – можливою.

В загальному випадку в багатокутнику, утвореному лініями межосьових відстаней, величини кутів їх перетину можна як завгодно змінювати, зберігаючи геометричні параметри. При цьому центри шарнірів ланцюга будуть завжди залишатися в точках дотику крокових ліній з ділильними колами зірочок. Це дає можливість конструктору забезпечити оптимальну структурну схему багатомасової ланцюгової передачі при вибраних остаточно основних геометричних параметрах: межосьових відстанях, довжинах спряжених віток ланцюгового контуру з цілим числом ланок і кутах синфазності. При будь-якій кількості мас (зірочок) в ланцюговому контурі здійснюється розрахунок для кожної зірочки і двох сусідніх з нею, при цьому розрахункові залежності охоплюють всі випадки їх розташування і призначення (приводні, натяжні, відхиляючі). Інакше кажучи, багатомасова ланцюгова передача будується за модульним принципом, згідно якому декілька простих модульних елементів (в даному випадку зірочок, охоплених ланцюгом) топологічно формують практично будь-яку множину ланцюгових передач, розташованих будь-яким чином в декартовій системі координат. При цьому місце кожного модульного елемента точно задано в структурі. Специфіка полягає у виборі вихідних модулей і в порядку їх розташування, тобто в комбінаторному комплектуванні обмеженого числа простих модульних елементів (двомасових ланцюгових передач), топологічно орієнтованих за списком певних залежностей.

Проводиться **параметрична оптимізація** такої модульної ланцюгової передачі по займаному нею об'єму (масі) і параметричній функції, що містить максимальні довговічність, коефіцієнт корисної дії і опір зношуванню (при збереженні мінімального об'єму). В якості цільової функції під час оптимізації ланцюгової передачі з будь-якою кількість мас за критерієм віброактивності прийняті амплітуди динамічних навантажень і **найбільш інтегральна характеристика – коефіцієнт динамічності ланцюгової передачі**, залежний, зокрема, від середньоквадратичних абсолютних значень максимальних динамічних навантажень у вітках ланцюгового контуру.

Розроблений комплекс автоматизованого оптимального проектування ланцюгових передач POSCD, побудований за блочним принципом **модульного проектування** у вигляді пакетів прикладних програм геометричного, силового і динамічного розрахунків, дає можливість конструктору, працюючи в діалоговому режимі з ЕОМ, побудувати ланцюговий контур, що містить від 2 до 24 мас (зірочок), що задовольняє
як технічному завданню, так і вимогам оптимального проектування: мінімальним

вартості, матеріаломісткості, займаному об'єму, масі і високій динамічній якості.

Комплекс дає можливість здійснювати **імітаційне моделювання роботи** ланцюгових передач на ЕОМ, що забезпечує швидкий і всебічний аналіз впливу різних параметрів на якість передачі: координат розташування центрів зірочок, частот їх обертання, умов експлуатації, типу і рядності ланцюга, способу змащування, потужності, терміну служби, величин обертових мас і застосовуваних матеріалів.

Існуючі методи монтажу і настройки ланцюгових передач, зокрема, визначення місця розташування натяжного елемента (зірочки, ролика або шини), не забезпечують мінімізації динамічних навантажень, оскільки під настроюванням ланцюгової передачі чомусь розуміють регулювання натягу віток нерухомої передачі, тобто в статиці. В реальних же умовах динамічного навантаження під час експлуатації ланцюгових передач стає актуальною задача оптимізації розташування натяжного елемента з метою мінімізації амплітуд коливань і динамічних навантажень.

Поставлена задача розв'язується за допомогою **автономного блока побудови карт динамічної навантаженості та настройки** ланцюгової передачі SET, що працює в діалоговому режимі.

Будуються лінії можливих положень центра натяжного елемента для різних рівнів динамічних навантажень. Аналіз сукупності цих ліній (карти динамічної навантаженості) дають можливість вибрати положення натяжного елемента, що забезпечує найнижчі динамічні навантаження. Таким же чином можуть бути побудовані карти розподілу амплітуд коливань, динамічних навантажень у вітках ланцюга, інерційних, ударних навантажень та динамічної нерівномірності руху елементів передачі в залежності від того, яку з перелічених характеристик прийнято за критерій оптимізації.

В результаті отримуємо карти розподілу динамічних характеристик для кожної вітки або маси по границях дільниці, що дає можливість конструктору бачити, як змінюються динамічні характеристики при варіюванні місцеположенням натяжного елемента, і вибрати таке його положення, при якому всі динамічні характеристики або частина з них (наприклад, тільки динамічні навантаження у вітках ланцюгового контуру, що залежить від обраного критерія оптимізації [12]), мінімізуються.

Зниження трудомісткості та скорочення термінів проектування як самих полімерних деталей, так і прес-форм для їх литва під тиском на термопластавтоматах під час серійного виробництва, досягається автоматизацією конструкторських робіт, а також уніфікацією та нормалізацією деталей форм, що дозволило звести завдання конструктора до проектування формоутворюючого профілю матриці з врахуванням різних типів усадок і технологічних допусків.

Висновки

Нові підходи до розрахунку параметрів і режимів роботи, конструювання, монтажу і настройки ланцюгових передач, пов'язані з переходом на автоматизоване оптимальне проектування і застосування полімерних композитів, дають можливість вибрати науково обгрунтовану сукупність оптимальних значень їх параметрів, при яких ще на стадії проектування забезпечується висока динамічна якість ланцюгової передачі мінімальних віброактивності, матеріаломісткості та енергоспоживання.

Список літературних джерел

1. Пилипенко О.И. Научные основы и синтез цепных передач. Дисс… докт. техн. наук., ХПГУ, Харьков, 1996, 467с.

2. Пилипенко О.І., Степенко А.П., Козар І.Ф. Вплив похибок виготовлення ланцюгів на контактну взаємодію елементів ланцюгових передач з різних матеріалів. Вісник

Чернігівського технологічного інституту №3. Машинобудування. Електроніка. Чернігів, 1997. – С.75-84.

3. Пилипенко О.І., Козар І.Ф., Максименко В.А. Дослідження ланцюгового зачеплення в передачах з полімерних композитів. Вісник Чернігівського технологічного інституту №4. Машинобудування. Чернігів,1997.– С.125-133.

4. Pilipenko O.I. Mechanical Behaviour of Polimeric Composites with Utilization of Waste in Driving Machinery Parts. Proseedings of 8-th International Conference on Mechanics and Technology of Composite Materials. Sofia, Bulgaria, 1997. – P.334-339.

5. Пилипенко О.І., Борщов О.О., Степенко А.П., Козар І.Ф. Оптимізація ланцюгової передачі по параметричній функції, що містить максимальні довговічність, ККД і опір спрацюванню. Вісник Чернігівського технологічного інституту №3. Машинобудування. Електроніка. Чернігів, 1997. – С.85-94.

6. Пилипенко О.І., Козар І.Ф. Дослідження розмірної точності приводних ланцюгів з полімерних композитів. Вісник Чернігівського державного технологічного університету №9, серія Технічні науки . Чернігів, 1999. – С.41-46.

7. Пилипенко О.І., Максименко В.А.. Козар І.Ф. Дослідження динаміки перехідного та усталеного режиму роботи привода, оснащеного металевими і полімерними ланцюгами. Вісник ЧДТУ №10, серія Технічні науки. Чернігів, 2000. – С.61-69.

8. Пилипенко О.И., Крищук Н.Г., Козар И.Ф., Максименко В.А. Компьютерное моделирование напряжённо-деформированного состояния деталей передач зацеплением. Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». Выпуск 13. Донецк-Севастополь, 11-17.09. 2000. – С.80-85.

9. Pilipenko O.I. Synthesis of Chain Drives Based on Dynamic Methods, New Materials and Technologies. Machine Design, Monograph. Novi Sad, Serbia, 2007. – P.307-314.

10. Пилипенко О.І., Максименко В.А., Ільїн Д.О. Методи зниження динамічних навантажень і вибору основних параметрів ланцюгових передач. Вісник ЧДТУ №18, серія Технічні науки. Чернігів, 2002. – С.12-21.

11. Пилипенко О.І., Ільїн Д.О. Дослідження динаміки ланцюгового привода чисельними методами. Вісник ЧДТУ №28, серія Технічні науки. Чернігів, 2007. – С.22-28.

12. Пилипенко О.І. Динамічна настройка роликових ланцюгових передач. Вісник ЧДТУ №15, серія Технічні науки. Чернігів, 2002. – С.35-38.

УДК 539.375.5

В.І.Коваль, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна.

ПРО ДЕЯКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Проведений аналіз існуючих способів підвищення надійності роботи високонавантажених конструкцій з точки зору зменшення можливості їх крихкого руйнування. Показані переваги застосування багатошарових конструкцій у порівнянні з монолітними.

Вступ

Характерною особливістю сучасних виробництв є інтенсифікація технологічних процесів. Зростають швидкості, підвищується температура, збільшується робочий тиск та інші параметри новітніх технологій. Таке зростання в цілому призводить до збільшення навантаження на обладнання і висуває додаткові вимоги до його надійності. Важливими критеріями надійності високонапружених конструкцій є міцність і опірність крихкому руйнуванню – відсутність умов для зародження і розвитку в них магістральних тріщин. Ці критерії набирають особливої ваги для великогабаритних технічних об’єктів, до яких відносяться реактори атомних електростанцій, апарати хімічних виробництв, мости, трубопроводи високого тиску, танкери для перевезення нафтопродуктів. Заміна таких об’єктів новими – це трудомісткий і високовартісний процес, а ремонт і відновлення після руйнування технологічно складні і не завжди можливі. Спричинена руйнуванням їх зупинка навіть на короткий час, як правило, пов’язана зі значними матеріальними збитками, а наслідки аварії можуть мати не тільки місцеве, а й регіональне або планетарне значення.

Статистичні дані виходу з ладу великогабаритних технічних об’єктів минулого століття містять ряд прикладів крихкого руйнування нафто-газопроводів, танкерів, великих ємкостей та інших об’єктів, які мали характер аварій і супроводжувалися шкідливим впливом на навколишнє середовище [1]. Враховуючи небезпеку наслідків подібних аварій, можна стверджувати, що підвищення надійності роботи таких конструкцій є актуальним питанням сьогодення.

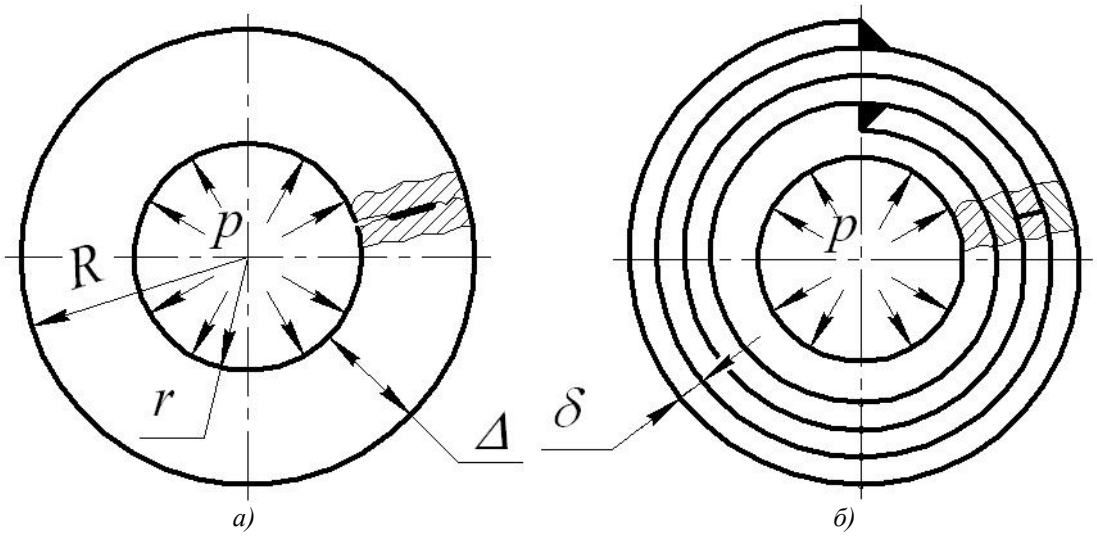
Методи та результати

Зменшення небезпеки руйнування унікальних технічних об’єктів може здійснюватися двома шляхами. Перший шлях пов’язаний з використанням для їх виготовлення спеціальних матеріалів, які завдяки своїй структурі можуть чинити опір зародженню і розвитку в них магістральних тріщин. Метод ефективний, але він висуває додаткові вимоги до галузі матеріалознавства. Відомо, що пластичні матеріали, зокрема, маловуглецеві сталі, менш схильні до крихкого руйнування, але вони мають і нижчі характеристики міцності. Поєднання в одному матеріалі високої міцності з високими пластичними властивостями не завжди сумісне. Тому актуальною постає задача створення технологій виготовлення надійних високонапружених технічних об’єктів не з нових, а з уже існуючих традиційних матеріалів.

В цьому плані заслуговує на увагу другий спосіб боротьби з руйнуванням, який базується на застосуванні конструкторських рішень, що дають можливість керувати процесом руйнування конструкції шляхом сповільнення або повної його зупинки. Одним з варіантів такого рішення є заміна монолітних конструкцій багатошаровими. Реалізація цієї заміни для певних технічних об’єктів дає ряд суттєвих переваг.

Типовим прикладом заміни монолітної конструкції на багатошарову є виготовлення ємкостей і труб високого тиску у рулонному виконанні [2]. Їх виготовляють шляхом

спірального намотування на центральний циліндр сталевої смуги, приєднаної до нього за допомогою зварювання. Для порівняння на рисунку 1 а і б зображені поперечні перерізи, відповідно, монолітного і рулонного трубопроводів, з початковими тріщиноподібними дефектами. Обидва трубопроводи навантажені внутрішнім тиском p.



а) *б)*

Рис. 1. Схема монолітного (а) і рулонного (б) трубопроводів з тріщиноподібними дефектами

Як показано на схемі рисунка 1 а, при появі тріщини в монолітній трубі, за певних умов навантаження вона стає магістральною, проходить через усю товщину стінки конструкції, що призводить до розгерметизації системи і витікання речовини, яка транспортується: нафти, газу та ін. Відомі приклади руйнування магістрального газопроводу, виготовленого з монолітних труб, коли довжина тріщини вимірювалась кілометрами (див. [1]).

У разі появи тріщиноподібного дефекту в одному шарі рулонного трубопроводу, зображеного на рисунку 1 б, процес руйнування сповільнюється, оскільки подальше зростання тріщини тут пов'язане з проникненням її з шару в шар. Границя розділення шарів виступає в ролі бар'єра на шляху тріщини. Наявність локалізованої в одному шарі тріщини може не бути причиною руйнування усієї конструкції і вона залишиться роботоздатною.

Підвищенню опірності руйнуванню багатошарової конструкції сприяє також можливість використання для її виготовлення тонколистового матеріалу. Відомо, що імовірність крихкого руйнування листової сталі зростає із збільшенням її товщини [3]. Зображені на рисунку 1 схеми перерізу трубопроводів показують, що загальна товщина стінки монолітної труби Δ дорівнює товщині матеріалу для її виготовлення. У випадку рулонного виконання загальна товщина стінки, при сумарному числі шарів n, буде $\Delta = \delta \cdot n$, де δ – товщина одного шару матеріалу. Таким чином, зменшення товщини матеріалу буде сприяти підвищенню опірності крихкому руйнуванню конструкції.

Застосування матеріалу малої товщини дає ще одну важливу перевагу багатошаровим конструкціям перед монолітними. Якщо порівняти між собою механічні характеристики листового сталевого прокату різних товщин, а саме, границю текучості σ_T і границю міцності σ_B, то можна відзначити, що вони підвищуються при зменшенні його товщини. Для порівняння в таблиці 1 наведені механічні характеристики двох сталей, які в хімічних виробництвах використовуються для виготовлення ємкостей, що працюють під внутрішнім тиском.

Таблиця 1

Залежність механічних характеристик листового сталевого прокату від його товщини (за ГОСТ 19281-89)

Марка сталі	Товщина прокату δ, мм	Механічні характеристики	
		Границя текучості $\sigma_т$, МПа	Тимчасовий опір $\sigma_в$,МПа
09Г2С	4 80…160	350 270	500 440
10Г2С1	4 80…100	360 300	500 440

Як показують табличні дані, при зменшенні товщини прокату його механічні характеристики зростають. Тонкий прокат має однорідну структуру. Його простіше контролювати відомими способами на предмет виявлення початкових тріщиноподібних дефектів [4]. Таким чином, рулонне виконання трубопроводу передбачає використання тонкого полосового прокату, який у порівнянні з товстолистовим має однорідну структуру і вищі механічні характеристики.

Ще одна важлива перевага високонавантежних рулонних циліндричних конструкцій перед монолітними полягає в більш рівномірному розподілі напружень по товщині стінки. Згідно з формулами Ламе, в стінках товстостінних циліндрів, навантажених внутрішнім тиском *p,* діють колові напруження розтягу σ_θ і радіальні напруження стиску σ_r [5]. Як показано на рисунку 2 а, вони мають максимальне значення на внутрішній поверхні циліндра і зменшуються при переході по його товщині до зовнішнього діаметра. Матеріал циліндра біля внутрішнього діаметра навантажений більше, ніж його зовнішні шари.

Це явище необхідно враховувати при підвищенні внутрішнього тиску (робочого навантаження) трубопроводу. Просте збільшення товщини стінки труб не завжди дає відповідний ефект через нерівномірність розподілу напружень σ_θ і σ_r. Для згладжування цієї нерівномірності російський вчений Гадолін А.В. запропонував застосовувати двошарові труби, утворенні запресовуванням однієї в другу [5]. В такій попередньонапруженій двошаровій конструкції при відсутності внутрішнього тиску, у верхній (зовнішній) трубі діють колові напруження розтягу $\sigma_\theta > 0$, а у внутрішній – напруження стиску $\sigma_\theta < 0$.

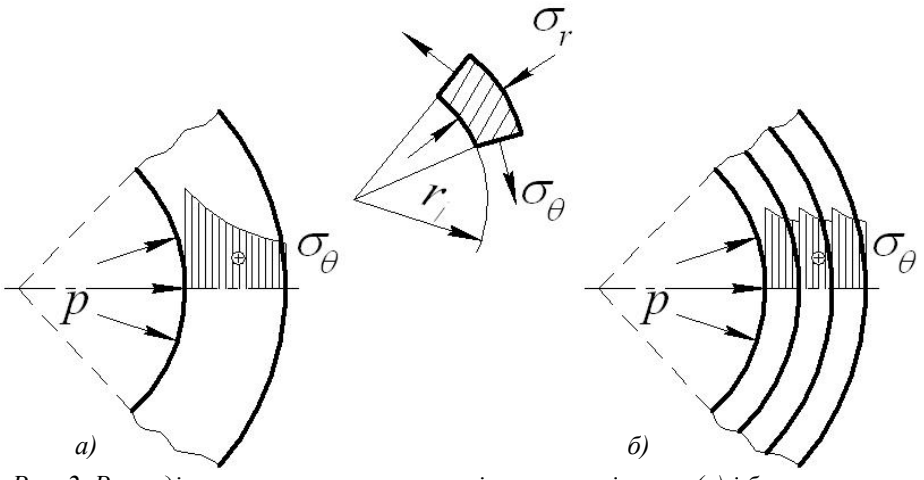


Рис. 2. Розподіл колових напружень у стінках монолітного (а) і багатошарового (б) товстостінних циліндрів

При навантаженні її внутрішнім тиском p стискаючі напруження спочатку нівелюються до нуля, а потім досягають значення $\sigma_\theta > 0$. Таким чином, двошарове виконан-

ня, поєднане з попереднім напруженням конструкції, дозволяє частково вирівняти колові напруження σ_θ по товщині стінки труби під час дії робочого навантаження – внутрішнього тиску. Рулонне виконання товстостінних труб високого тиску дає більше можливостей для вирівнювання напружень σ_θ. Вирівнювання досягається шляхом навантаження сталевої смуги в процесі намотування розтягуючим зусиллям. Попередні напруження розтягу можна розрахувати і реалізувати таким чином, щоб, як показано на рисунку 2 б, сумарні колові напруження σ_θ від внутрішнього тиску і попереднього розтягу були приблизно однаковими на усій поверхні поперечного перерізу труби. Рулонне виконання дає можливість виготовляти рівноміцні циліндричні конструкції. При цьому використовується тонкий прокат з вищими характеристиками механічних властивостей, який менш схильний до крихкого руйнування.

Рулонне виконання спрощує технологію виготовлення великогабаритних циліндричних конструкцій. За даними літератури, сучасні агрегати – реактори, ємкості високого тиску хімічних та інших галузей промисловості можуть досягати в діаметрі до п'яти і більше метрів [6]. Їх виготовлення у кованому або ковано-зварному виконанні знаходиться на грані технологічних можливостей машинобудівних заводів. Виробництво подібних об'єктів, контроль їх якості і доставка на місце експлуатації супроводжуються значними технічними і технологічними труднощами. Транспортування об'єктів до місця установки часто вимагає спеціального транспорту і потужного вантажопідйомного обладнання.

При рулонному виконанні подібного унікального великогабаритного об'єкта процес його виготовлення і транспортування значно спрощуються. Він може споруджуватися шляхом намотування в умовах монтажного майданчика безпосередньо на місці експлуатації. З цією метою туди треба доправити необхідну кількість сталевого прокату, що може бути зроблено звичайним залізничним чи автомобільним транспортом. Таким чином, рулонне виконання не тільки підвищує надійність, а й спрощує технологію виготовлення і транспортування великогабаритних технічних об'єктів.

Руйнуванню багатошарової конструкції перешкоджають границі розділу шарів. В той же час локалізована в одному шарі тріщина може розвиватися в його межах. При цьому значний її розвиток також стає небезпечним. Задача розрахунку умов росту тріщини в одному шарі багатошарової конструкції частково розв'язана в роботі [7], в якій розглянутий частинний випадок руйнування багатошарової панелі з тріщиною в одному шарі, навантаженої розтягуючою силою F. Схема навантаження зображена на рисунку 3.

Згідно з [7] критична сила F_K, при досягненні якої почнеться ріст тріщини в шарі, визначається формулою:

$$F_K = \frac{K_{IC} \cdot \delta \cdot \sqrt{2W}}{\sqrt{tg\dfrac{\pi \cdot a}{2W}}} \left[1 + (n-1)\left(1 - \frac{8W}{\pi \cdot L} \ln \cos \frac{\pi \cdot a}{2W}\right) \right], \qquad (1)$$

де K_{IC} – критичний коефіцієнт інтенсивності напружень матеріалу панелі;

n – число шарів панелі.

Решта позначень зрозуміла з рисунка 3.

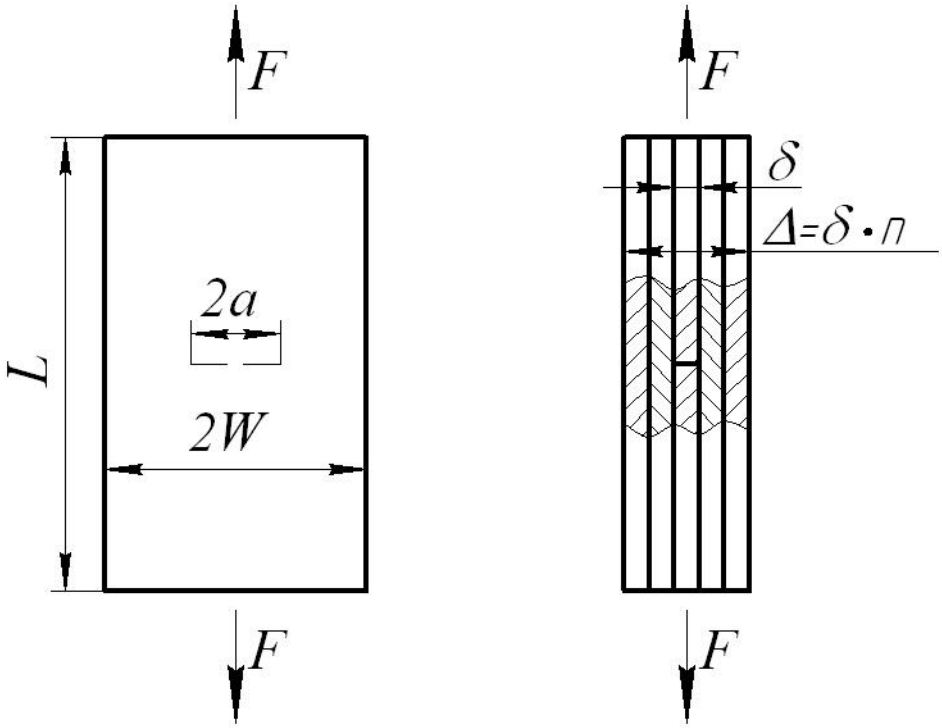


Рис. 3. Схема навантаження багатошарової панелі з тріщиною

Формула (1) отримана на основі положень лінійної механіки крихкого руйнування (див. [3]). На рисунку 4 зображена залежність величини критичної сили F_K, розрахованої за формулою (1), від відносної довжини тріщини $\frac{a}{W}$ для тришарової панелі з тріщиною в одному шарі.

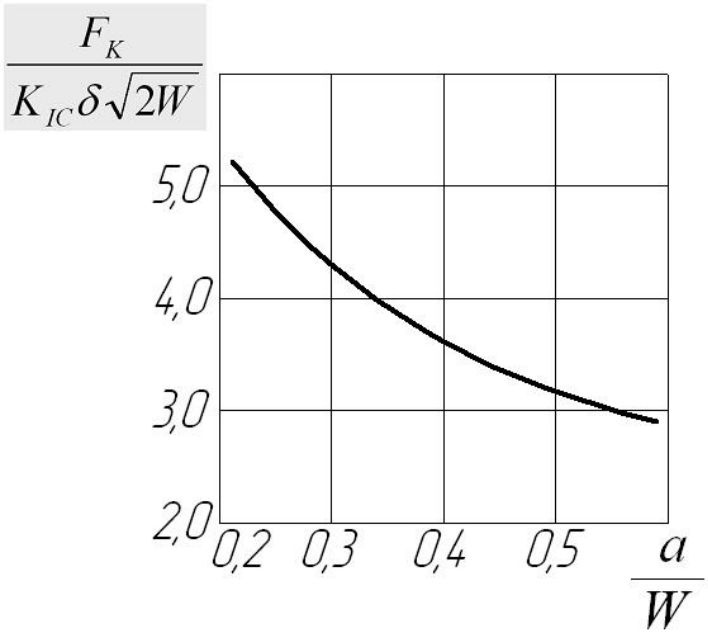


Рис. 4. Залежність величини критичної сили від довжини тріщини для тришарової панелі

При визначенні сили F_K для багатошарової панелі з конкретного матеріалу необхідно знати величину його критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{IC}. Значення K_{IC} для багатьох конструкційних матеріалів наведені в [8].

Розрахувавши величину критичної сили F_K, можна перейти до критичних напружень в багатошаровій панелі:

$$\sigma_K = \frac{F_K}{A} = \frac{F_K}{2W \cdot \delta \cdot n}, \qquad (2)$$

де A – загальна площа перерізу панелі.

З деякими обмеженнями можна провести аналогію між руйнуванням багатошарової панелі і рулонної конструкції. Певна аналогія тут має місце, якщо вважати, що критичні напруження σ_K багатошарової панелі аналогічні коловим напруженням σ_θ, які часто є причиною руйнування трубопроводів (див. рисунок 1). Але пряме використання формули (1) для рулонної конструкції вимагає суттєвих уточнень. Зокрема, необхідно визначити вплив на величину σ_K кривизни шарів і напружень їх поперечного стиску σ_r. З врахуванням цих особливостей можна визначити граничне навантаження, при досягненні якого тріщина буде розвиватися в одному шарі рулонної конструкції. В цьому плані доцільними будуть також експериментальні дослідження руйнування багатошарових конструкцій з тріщиноподібними дефектами в умовах, близьких до реальних умов їх експлуатації.

Поєднання результатів як теоретичних, так і експериментальних досліджень в комплексі дозволить визначити граничне навантаження на багатошарову конструкцію як одну із головних умов її безпечної експлуатації.

Висновки

Проведений аналіз показує, що одним із способів зниження імовірності крихкого руйнування великогабаритних унікальних конструкцій є заміна їх монолітного виконання на багатошарове. Крім підвищення надійності роботи, така заміна може дати ще ряд суттєвих переваг. Зокрема, при багатошаровому виконанні спрощуються технологія виготовлення, транспортування і контроль якості таких конструкцій. У кожному конкретному випадку для комплексної оцінки усіх переваг заміни монолітної конструкції на багатошарову необхідні додаткові дослідження і розрахунки.

Список літературних джерел

1. Васильченко Г.С., Кошелев П.Ф. Практическое применение механики разрушения для оценки прочности конструкции. М.: Наука, 1974.-148 с.

2. Рулонированные сосуды высокого давления. Сборник трудов НИИХиммаш. Вып.63.М.,1973.-175 с.

3. Нотт Дж.Ф. Основы механики разрушения. М.: Металлургия, 1978.-251 с.

4. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: Справочное пособие. К.: Наукова думка, 1981.-528 с.

5. Опір матеріалів: Підручник. / За ред. Г.С. Писаренко – К.: Вища школа, 2004.- 655 с.

6. Гусев Ю.И., Карасев И.Н., Кольмен-Иванов Э.Э. и др. Конструирование и расчет машин химических производств. М.: Машиностроение, 1985.-408 с.

7. Коваль В.І. Розрахунок критичного навантаження для багатошарової панелі з тріщинами. Вісник ЧТІ №2, Чернігів, 1996.- с. 160 – 164.

8. Механика разрушения и прочность материалов: Справочное пособие. В 4-х т. Т.3. Характеристики кратковременной трещиностойкости материалов и методы их определения. / С.Е. Ковчик, Е.М. Морозов.- К.: Наукова думка, 1988.-436 с.

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.922

В.І. Кальченко, д-р техн. наук
Н.М. Погиба, аспірант
Д.В. Кальченко, лаборант НДЧ

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ГЛИБИННОМУ ШЛІФУВАННІ ОРІЄНТОВАНИМ ЕЛЬБОРОВИМ КРУГОМ З ВРАХУВАННЯМ ДЕФОРМУЮЧИХ КРОМОК

Пропонується методика розрахунку складових сил різання при глибинному шліфуванні ступінчастих валиків орієнтованим кругом, що сприяє вибору оптимальних режимів обробки поверхонь обертання типу вал за один установ. Приведено приклад розрахунку складових сил різання по даній методиці при глибинному високошвидкісному шліфуванні ступінчастого валика вузьким ельборовим кругом зі схрещеними осями його та деталі з врахуванням впливу різальних та деформуючих кромок, де нормальна складова сили різання розраховується не лише на торці круга, але й на його периферії.

Постановка проблеми

В даний час на автомобільних заводах широко використовуються ступінчасті валики. Як правило, їх обробляють на торцекруглошліфувальних верстатах, зокрема на верстатах моделі 3Т161, де обробка ступінчастих валиків ведеться по всьому профілю методом врізання.

В умовах сучасних ринкових відносин, коли швидко змінюється номенклатура оброблюємих виробів, висуваються вимоги високої гнучкості та продуктивності виробництва. Так, наприклад, верстати фірми Junker Quickpoint 1001 і Quickpoint 1002 обробляють ступінчасті валики вузьким кругом зі швидкістю його обертання до 140м/с і обертання деталі до 12000 об/хв, при цьому обробка ведеться із схрещеними осями інструмента та деталі, що підвищує продуктивність обробки до 5 разів в порівнянні з традиційним способом маятникового шліфування.

На кафедрі Інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету роботи по дослідженню способу зі схрещеними осями шліфувального круга та деталі ведуться на протязі 30 років. Розробляються нові способи і технології шліфування різноманітних поверхонь орієнтованим шліфувальним кругом. Одним з таких способів є спосіб однопрохідного глибинного високошвидкісного шліфування ступінчастих валиків вузьким орієнтованим ельборовим кругом зі швидкістю його обертання 120 м/с, де можлива практично повна обробка деталей типу вал за один установ, що підвищує гнучкість виробництва. При обробці, наприклад, штока за рахунок підвищення швидкості інструмента досягається збільшення продуктивності обробки до 3 разів, що дає можливість даному способу конкурувати в автомобілебудуванні з традиційними способами шліфування.

Використання нових способів шліфування потребує розробки більш точних методів розрахунку сил різання.

Аналіз досліджень і публікацій

Існує два методи визначення складових сил різання [1]: емпіричний і розрахунково-експериментальний. В першому методі під час шліфування зразків сили різання вимірюються динамометрами з наступним отриманням емпіричних залежностей. Однак ем-

піричні залежності можна використовувати лише для розрахунків в умовах, близьких до експериментальних, що обмежує область їх використання. При розрахунково–експериментальному методі визначається сила різання, яка діє на одну різальну кромку круга, число різальних кромок, які знаходяться в зоні контакту круга з деталлю, а потім знаходиться результуюча сила різання. Даний метод більш універсальний, але в ряді випадків менш точний, оскільки потребує в якості вихідної інформації визначення експериментальних даних, які важко виміряти з достатньою точністю.

Існуючі способи визначення сил різання [1,2,3] не враховують: одночасний вплив параметрів робочої поверхні круга, їх зміну під час різання, відносну кутову орієнтацію поверхонь деталі та інструмента, вплив деформуючих зерен, жорсткість обробляючої системи та переривчатість поверхні круга.

Мета статті

Метою даної роботи є розробка методики визначення складових сил різання при однопрохідному глибинному шліфуванні орієнтованим інструментом з урахуванням параметрів робочої поверхні круга, взаємної кутової орієнтації поверхонь деталі та інструмента, жорсткості обробляючої системи та впливу різальних і деформуючих зерен.

Виклад основного матеріалу

Схема процесу глибинного круглого шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі, при якому чорновий припуск зрізається торцем круга, а чистове шліфування і калібрування виконується периферією, зображена на рисунку 1. Сили мікрорізання діють у зоні з обмеженою площею контакту 3 (рисунок 1) між інструментом 2 та деталлю 1, форма та розміри якої визначаються кінематикою процесу різання та величиною припуску, що зрізується.

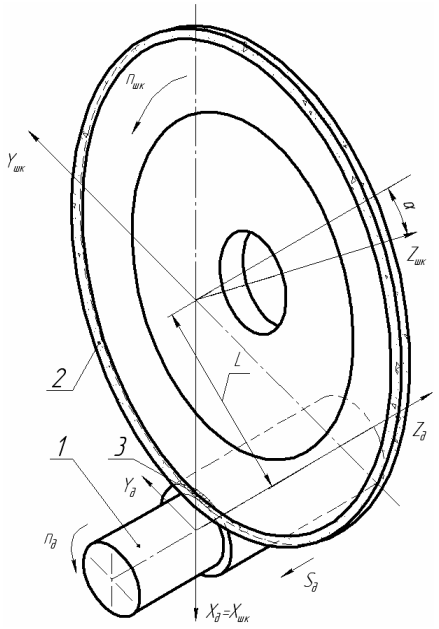


Рис. 1. Схема процесу глибинного круглого шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі

Вибір оптимального кута повороту шліфувального круга описано в роботі [4].

Для характеристики процесу різання в заданій точці плями контакту за основний кінематичний показник було вибрано відношення проекції відносної швидкості V_i на напрямок нормалі n до поверхні інструменту (рисунок 2) до швидкості шліфування $\frac{V_{n_i} - y_{eyc_i}}{V_ш}$. Під час шліфування сили різання викликають деформацію заготовки і приводять до появи додаткових похибок. Найбільшою силою, що впливає на точність, є раді-

альна сила. Для врахування жорсткості системи під час розрахунку складових сил різання використовується податливість y_{eyc_i}, де i – координата вздовж профілю круга (рисунок 3). Як правило, при шліфуванні валів їх радіальна жорсткість значно менша за осьову. Тому для підвищення радіальної жорсткості та точності обробки при шліфуванні нежорстких циліндричних деталей розроблено люнет з адаптивним керуванням [5], де підвищення точності обробки відбувається за рахунок рідинного контакту між люнетом та заготовкою. Регулюючи силу тиску рідини на деталь, можна стабілізувати положення осі обертання деталі з точністю до 1 мкм в процесі круглого шліфування [6]
.

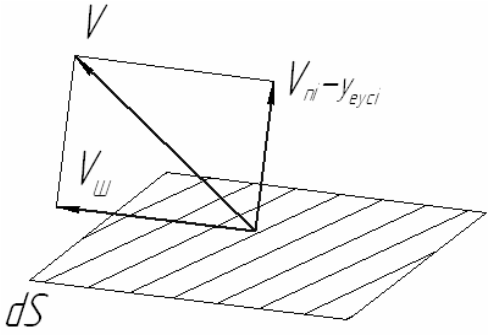


Рис. 2. Схема для визначення товщини шару, що зрізується

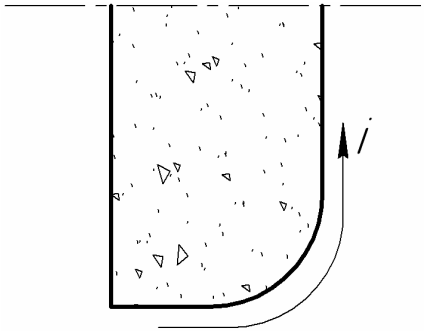


Рис. 3. Координата вздовж профілю круга

При розрахунку товщини шару, що зрізається, поширено два підходи: кінематичний [3] і об'ємний [1]. В першому випадку необхідно знати середню відстань між ріжучими кромками, а в другому – середнє число різальних кромок на одиниці поверхні круга. Оскільки розташування зерен на поверхні інструменту хаотичне і вони мають різну форму, необхідно використовувати об'ємний підхід. Зрізаний конус, яким представлена форма ріжучої кромки, має кут при вершині α та радіус заокруглення ρ (рисунок 4).

При переході від однієї ріжучої кромки до елементарної площадки круга dS необхідно враховувати неоднорідність поверхні ельборового інструменту. Врахувати переривчастість поверхні круга можна за допомогою коефіцієнта $\left[1-\exp\left(-\frac{\sum b(t,\theta)}{b_0}\right)\right]$, запропонованого професором Новоселовим Ю.К. [7].

Таким чином, при шліфуванні на площадку dS (рисунок 5) за одиницю часу підводиться $\left(V_{n_i}-y_{eyc_i}\right)\cdot\left[1-\exp\left(-\frac{\sum b(t,\theta)}{b_0}\right)\right]$dS матеріалу. За той же час площадка dS шліфувального круга, на якій розташовано $N_z(a_z)dS$ різальних кромок, зрізає $N_z(a_z)dS\cdot V_ш\cdot S(a_z,\rho)$ матеріалу. Отже, узагальнене рівняння товщини шару, що зрізається, має вигляд:

$$\frac{V_{n_i}-y_{eyc_i}}{V_ш}=\frac{N_z(a_z)dS\cdot S(a_z,\rho)}{\left[1-\exp\left(-\frac{\sum b(t,\theta)}{b_0}\right)\right]}, \qquad (1)$$

де $N_z(a_z)$ – кількість ріжучих кромок на заданому рівні a_z та розташованих на одиниці площі круга; $S(a_z,\rho)$ – площа поперечного перерізу зерна.

Можливість зняття стружки визначається не лише товщиною зрізу a_z і властивостями металу, але й геометричними параметрами вершин різальних кромок шліфувального круга. Основними характеристиками рельєфу робочої поверхні круга прийнято вважати [1] закони різновисотності ріжучих кромок та радіусів заокруглення їх вершин.

Однак, при будь-яких умовах шліфування лише частина різальних кромок зрізає стружку, а інша частина – пружно або пластично деформує метал. Критерієм переходу від пластичної деформації до початку відокремлення стружки є граничне значення відношення глибини проникнення вершини зерна в матеріал заготовки z до радіусу заокруглення вершини різальної кромки ρ [1]. Для визначення мінімального значення вказаного відношення, при якому процес різання ще відбувається, використано експериментальну залежність [1] товщини зрізаного шару від радіуса заокруглення вершин зерна і швидкості різання. Вказану залежність можна апроксимувати степеневою функцією [8]:

$$\frac{z}{\rho} = B \cdot \rho^{-\alpha} \cdot V_ш^{-\beta}, \qquad (2)$$

де B, α, β – емпіричні коефіцієнти, які залежать від матеріалу інструменту та деталі.

Із (2) можна отримати залежність, яка служитиме нижньою границею при визначенні імовірності різання зерном на глибині z (рисунок 5):

$$z = B \cdot \rho^{1-\alpha} \cdot V_ш^{-\beta}, \qquad (3)$$

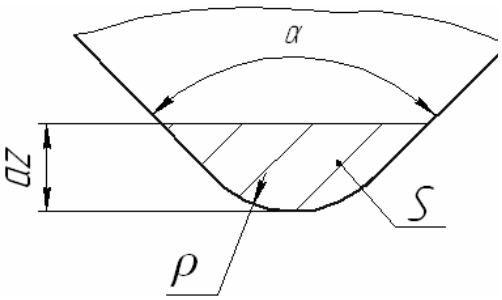


Рис. 4. Форма абразивного зерна

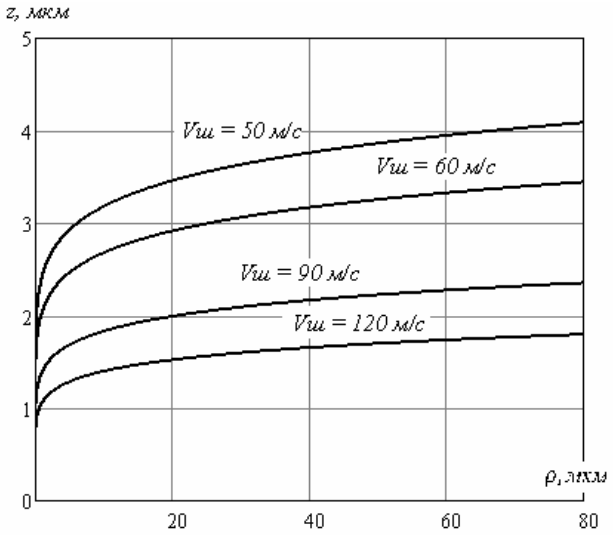


Рис. 5. Графік залежності $z(\rho, V_ш)$, яка визначає початок процесу різання кромкою абразивного інструмента

З графіка на рисунку 5 видно, що при збільшенні швидкості різання мінімальна товщина зрізуваного шару зменшується. Починаючи з деякого значення глибини z, доля зерен, що приймають участь у різанні металу, значно зростає. На малих глибинах різання частина зерен, які приймають участь у шліфуванні, повинна мати найменші значення радіусу заокруглення різальної кромки.

Статистичні розрахунки параметрів робочої поверхні [1] з врахуванням густини розподілу [8] показали, що зерен, які деформують метал в зоні різання, значно більше (область під графіком на рисунку 5), ніж зерен, які ріжуть.

Кромки, які розташовані нижче рівня z проникнення металу в шліфувальний круг, приймають участь в процесі обробки металу (рисунок 6). В певній точці контакту, а точніше для певного відношення $\frac{V_{n_i} - y_{eyc_i}}{V_ш}$ рівень z приймає різні значення. Лінія $z(\rho, V_ш)$ ділить працюючі кромки на різальні (область 1) та деформуючі (область 2).

Кількість різальних і деформуючих зерен, розташованих на одиниці площі та заданій

глибині z (рисунок 9), можна визначити за залежностями:

$$N_z^{різ} = \iint\limits_{S_p} N_n \cdot f_N(z) \cdot f_\rho(\rho) \cdot dS\,, \tag{4}$$

$$N_z^{деф} = \iint\limits_{S_\partial} N_n \cdot f_N(z) \cdot f_\rho(\rho) \cdot dS\,, \tag{5}$$

де N_n – кількість різальних кромок на 1 мм^2 на рівні z [1]; $f_N(z), f_\rho(\rho)$ – густина імовірності розташування різальної кромки на рівні z від зовнішньої поверхні круга та розподілу радіусів заокруглення різальних кромок відповідно [1]; S_p і S_∂ – площі, які відповідають різальним та деформуючим кромкам відповідно.

При визначенні товщини шару, який зрізається, необхідно знати середній радіус заокруглення кромок різальних зерен у даній точці плями контакту. Для спрощення розрахунків приймемо [9]:

$$\rho_{ср} = \frac{\rho'}{3}\,, \tag{6}$$

де ρ' – координата перетину рівня z з лінією $z(\rho, V_ш)$.

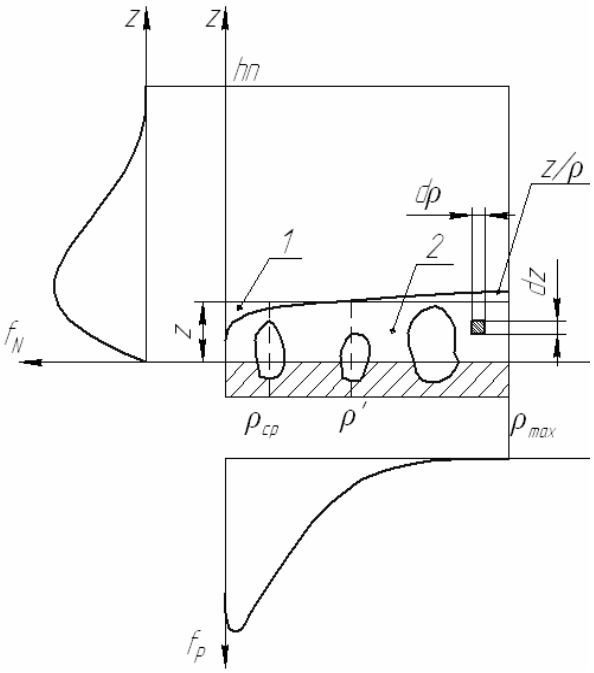


Рис. 6. Розподіл різальних і деформуючих кромок в точці плями контакту

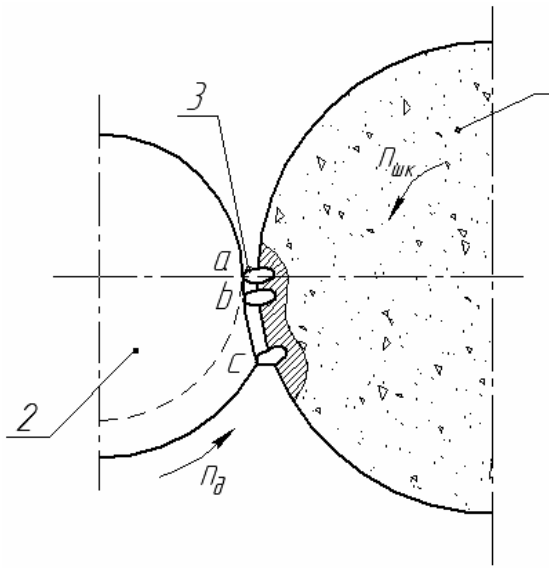


Рис. 7. Схема обробки деталі одиничним зерном шліфувального круга

Як відомо [1], зрізання металу відбувається в процесі поступового проникнення ріжучої кромки зерна 3 (рисунок 7) в поверхню деталі 2, що обробляється: пружне ковзання вершини зерна (положення *a* на рисунку 7) змінюється пластичним відтисненням металу (дуга *ab*) з утворенням напливів і зрізуванням шару металу при досягненні критичної глибини різання (дуга *bc*). Але в процесі глибинного шліфування орієнтованим кругом різальна кромка на дузі *bc* не лише знімає стружку, але й деформує поверхню, що обробляється.

Прийнято вважати [1], що на окрему ріжучу кромку діють сили зсуву $P_{зс}$, тертя $P_{тр}$ та інерції $P_{ін}$. Залежності для визначення нормальної та тангенціальної сил, які діють на ріжучу кромку з врахуванням зазначених складових, приведені в роботі Л.Н. Філі-

монова [1]. Сумарна сила різання знаходиться інтегруванням сил мікрорізання по поверхні плями контакту з врахуванням ріжучих та деформуючих зерен [9].

З урахуванням всього вищесказаного сумарні тангенціальні P_τ^Σ та нормальні P_n^Σ можна визначити за наступними залежностями:

$$P_\tau^\Sigma = \iint\limits_S P_\tau^p \cdot n_p(z,\rho)\cdot dS + \iint\limits_S P_\tau^\partial \cdot n_\partial(z,\rho)\cdot dS\,, \tag{7}$$

$$P_n^\Sigma = \iint\limits_S P_n^p \cdot n_p(z,\rho)\cdot dS + \iint\limits_S P_n^\partial \cdot n_\partial(z,\rho)\cdot dS\,, \tag{8}$$

де $P_\tau^p, P_\tau^\partial$ – сили, які діють в тангенціальному напрямку на ріжучу і деформуючу кромки відповідно; n_p, n_∂ – кількість відповідно ріжучих і деформуючих кромок на елементарній площадці dS; P_n^p, P_n^∂ – сили, які діють в нормальному напрямку на ріжучу і деформуючу кромки відповідно; S – площа плями контакту круга та деталі.

Проекції сумарної сили різання на осі координат шліфувального круга, де нормальна складова P_n враховується як на торці круга, так і на його периферії, можна визначити за наступними залежностями:

$$Px = \int_{u1}^{u2}\int_{i_{\min}}^{i_{\max}} (P\tau(u,i) + Pn(u,i))\cdot \begin{pmatrix}1\\0\\0\end{pmatrix}\cdot Nріз(u,i)\cdot Rшк(i)\cdot du\cdot di + \\ + \int_{u1}^{u2}\int_{i_{\min}}^{i_{\max}} (P\tau(u,i) + Pn(u.i))\cdot \begin{pmatrix}1\\0\\0\end{pmatrix}\cdot Nдеф(u,i)\cdot Rшк(i)\cdot du\cdot di \tag{9}$$

$$Py = \int_{u1}^{u2}\int_{i_{\min}}^{i_{\max}} (P\tau(u,i) + Pn(u,i))\cdot \begin{pmatrix}0\\1\\0\end{pmatrix}\cdot Nріз(u,i)\cdot Rшк(i)\cdot du\cdot di + \\ + \int_{u1}^{u2}\int_{i_{\min}}^{i_{\max}} (P\tau(u,i) + Pn(u.i))\cdot \begin{pmatrix}0\\1\\0\end{pmatrix}\cdot Nдеф(u,i)\cdot Rшк(i)\cdot du\cdot di \tag{10}$$

$$Pz = \int_{u1}^{u2}\int_{i_{\min}}^{i_{\max}} (P\tau(u,i) + Pn(u,i))\cdot \begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix}\cdot Nріз(u,i)\cdot Rшк(i)\cdot du\cdot di + \\ + \int_{u1}^{u2}\int_{i_{\min}}^{i_{\max}} (P\tau(u,i) + Pn(u.i))\cdot \begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix}\cdot Nдеф(u,i)\cdot Rшк(i)\cdot du\cdot di \tag{11}$$

де $P\tau, Pn$ – тангенціальна та нормальна складові сили різання відповідно; $Nріз, Nдеф$ – кількість різальних та деформуючих кромок на поверхні круга; $Rшк$ – радіус шліфувального круга; u, i – кутова та відповідна їй лінійна координата, якими задається профіль шліфувального круга.

Проекції сумарної сили різання на осі координат вузького орієнтованого ельборового круга діаметром 300 мм при шліфуванні ступінчастого валика діаметром 30 мм зі швидкістю обертання круга 125 м/с, поздовжньою подачею деталі 0,1 мм/об та глибиною шліфування 2мм представлено на рисунку 8.

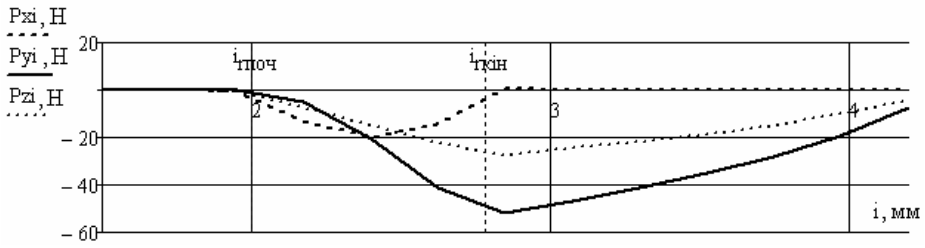


Рис. 8. Проекції сумарної сили різання на осі координат ельборового шліфувального круга

Нормальна питома складова, перенесена на профіль ельборового круга, представлена на рисунку 9.

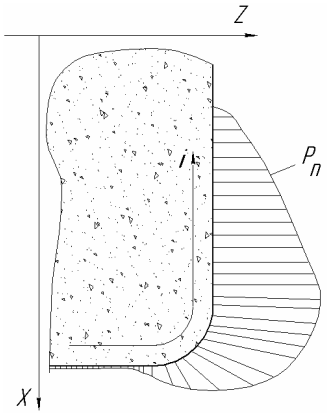


Рис. 9. Нормальна питома складова сили різання перенесена на профіль шліфувального круга

При глибинному шліфуванні орієнтованим інструментом основна частина припуску зрізається торцем круга, тому найбільша складова сили різання *Pn* направлена вздовж осі деталі і практично не впливає на точність її формоутворення.

Висновки

Вперше розроблена методика визначення сил різання під час глибинного шліфування орієнтованим ельборовим кругом з врахуванням різальних та деформуючих зерен, де вплив нормальної та тангенціальної складових сил різання враховується не лише в радіальному напрямку, але й в осьовому. При цьому також була врахована жорсткість обробляючої системи за допомогою податливості, величина якої є змінною внаслідок різних значень радіальної сили в кожній точці профілю шліфувального круга.

В подальшому дана методика може використовуватися для процесів шліфування різноманітних поверхонь зі схрещеними осями деталі та ельборових кругів.

Список літературних джерел

1. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование – Л.: Машиностроение , 1979,248 с.
2. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
3. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей – М., Машиностроение, 1974. – 280с.
4. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Дмитренко М.А. Глибинне кругле шліфування зі схрещеними осями деталі і круга // Вісник Черніг. держ. технолог. ун-ту. – Чернігів, 2009.–№37.–С.64-72.
5. Деклараційний патент України на винахід (кор. модель) № 47458 B24B5/00 Люнет з адаптивним керуванням для шліфування нежорстких циліндричних деталей/ Кальченко В.І., Кальченко В.В., Корж А.О., – опубл. 10.02.2010 бюл.№3
6. Кальченко В.В., Кальченко В.І., Корж А.О. Люнет з адаптивним керуванням для шліфування нежорстких циліндричних деталей // Вісник Черніг. держ. технолог. ун-ту. – Чернігів,2009.–№37.–С.73-80.

7. Кальченко В.В. Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та деталі// Дисертація докт. техн. наук. Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – 489с.
8. Кальченко В.В., Рудик А.В. Теоретичні дослідження товщини шару, який зрізається різальною кромкою при шліфуванні орієнтованим абразивним інструментом// Вісник Черніг. держ. технолог. ун-ту. –Чернігів: ЧДТУ,2005.–№22.–С.67-76.
9. В.И. Кальченко, В.В. Кальченко, А.М. Ярошенко Определение сил резания при шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и детали с профилем в виде дуги окружности// Сучасні технолог. в машинобудув.: зб. наук. праць.–Вип.3–Харків: НТУ«ХПІ», 2009.–С.20-33.
10. В.И. Кальченко, В.В. Кальченко, А.В. Рудик, В.И. Венжега Определение составляющих силы резания при шлифовании ориентированным абразивным инструментом // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ«ХПИ», 2005 – Вып.69.–С.105-110.

УДК 621.923.42

А.В. Рудик, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРИ ШЛІФУВАННЯ З ВРАХУВАННЯМ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

Розглядаються питання визначення температури шліфування при зміні як теплофізичних характеристик так і технологічних. Методика передбачає проводити розрахунки температури з врахуванням дії окремих зерен, що дозволить враховувати зміну робочого стану поверхні круга в процесі обробки.

Вступ

Температура шліфування може досягати значень близьких до температур структурних перетворень, які супроводжуються зміною об'ємів, що у свою чергу викликає появу тріщин та втрату правильної геометричної форми. На фінішних операціях обробки поверхневі шари, які визначають якість виробів, можуть втратити свої механічні та експлуатаційні властивості. Тому велику кількість наукових праць присвячено визначенню температури шліфування як експериментальним так і розрахунковим методами.

Аналіз досліджень і публікацій

При експериментальному визначенні температури розглядають, як правило, її деякі середні значення. Осцилограми коливань температури [1,2], виміряної за допомогою термопар в зоні контакту з кругом, показали, що за час проходження по довжині дуги контакту температура коливалась у великих межах, однак, внаслідок складнощів правильного тарирування термопар, по осцилограмах можна представити тільки відносні коливання. Ще більші розходження спостерігають в дослідженнях при визначенні кількості тепла, що надходить до стружки, деталі, круга і навколишнього середовища. Так, кількість тепла, що потрапляє в деталь, складає, за даними різних дослідників [1,2,3] , від 20 до 80%, іноді більше.

Дослідники використовують аналітичні методи розрахунку для встановлення загальних закономірностей і функціональних зв'язків між температурою та зміною властивостей поверхневих шарів деталей або інтенсивністю зносу зерен шліфувального круга. В розрахункових дослідженнях визначалась як середня, так і максимальна контактна і миттєва температури [1].

Різниця в цілях досліджень обумовила відмінність розрахункових схем та методик. Так, в ряді праць [2,3] в якості джерела тепла приймають не окремі зерна, а всю площадку контакту. Методика розрахунку обумовила отримання сумнівного результату, коли значення густини теплового потоку від дії одиничного зерна менше, ніж від дії площадки контакту.

Як аналітичні методи використовують метод теплових джерел [4,5], функцій Фур'є, операційного обчислення [3] та інші. Головними рисами цих методів є велика кількість припущень та складний функціональний характер отриманих залежностей. Не зважаючи на великий вплив температури при її підвищенні на теплофізичні характеристики, цим доводиться нехтувати, що позначається на точності отриманих результатів.

Для розрахунку продуктивності шліфування та якості обробленої поверхні найбільший інтерес представляє локальна температура, що виникає в поверхневих шарах деталі від дії одиничних зерен круга. Для оцінки оброблюваності важливо знати температуру металу в момент входу в нього абразивного зерна круга.

В роботі [1] температуру розглядають як результат сумарної дії теплових імпульсів, інтенсивність і кількість яких залежить від характеристик круга та заготовки, режиму різання. Враховано вплив температури поверхневих шарів на зміну опору сталі

пластичному деформуванню, а, відповідно, на інтенсивність тепловиділень.

Однак, дана робота має наступні недоліки.

1. Щільність теплового джерела по куту повороту деталі не змінюється, хоча у автора наявний аналіз форм стружок та приведені міркування про початок процесу різання одиничним зерном.

2. Доля теплового потоку, що надходить до деталі, прийнята рівною 100%. Однак відомо, що більша його частина видаляється зі стружкою.

3. Кількість теплових імпульсів пропонується брати з аналізу схеми різання при заданій радіальній силі шліфування, використовуючи таблиці, а не розрахункові дані. Всі теплові імпульси усереднені, мають однакове значення, діють на одній глибині, через рівні проміжки часу без врахування зерен, що перемішують метал без різання.

4. Схема придатна лише для процесу круглого шліфування і не враховує змінну кінематику процесу та стан робочої поверхні круга.

В роботі [1] наведені приклади розрахунку температур для різноманітних граничних и початкових умов. Однак, не врахована дія ряду джерел (зерен), що характерно для шліфування при середніх значеннях теплофізичних величин.

Числові методи обчислення температур, в свою чергу, поділяють на методи скінченних різниць та скінченних елементів. Другий з цих методів більш складний, його ще називають «big gun» – велика пушка – звичайно призначений для вирішення складніших задач.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою даної статті є визначення температури шліфування в поверхневих шарах деталі з врахуванням змінних технологічних і фізичних факторів процесу.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. скласти аналітичну побудову моделі зміни локальної температури металу з врахуванням довільної кінематики процесу та зміни опору сталі пластичному деформуванню в момент входу в нього абразивного зерна круга, а також технологічних факторів;
2. визначити число та товщину зрізу зерен, що контактують;
3. визначити питому щільність теплового потоку, яку створює різальне зерно;
4. скласти алгоритм рішення, виконати розрахунок, проаналізувати отримані дані.

Виклад основного матеріалу статті

Виріжемо в півпросторі деталі $\boldsymbol{x \geq O}$, обмеженому з торця, стрижень (рис.1) з віссю *X,* спрямованою всередину, та поперечним перерізом суттєво меншим розмірів зерна. При зроблених спрощеннях можна вирішити одномірну задачу теплопровідності, коли на торці стрижня на протязі малого інтервалу часу $d\tau^*$ діє джерело тепла:

$$d\tau^* \approx \frac{k \cdot \sqrt{\rho_к^{\,2} - a_z^{\,2}}}{v_{кр}}, \qquad (1)$$

де $\rho_к$ – радіус заокруглення різальної кромки абразивного зерна.

$d\tau^*$ – час дії джерела визначають проходженням кромкою зерна над поперечним перерізом стрижня; a_z – товщина зрізу.

Коефіцієнт k враховує продовження пружного контакту після проходження вершини кромки над стрижнем та попереджуючу дію джерела тепла під площиною зсуву.

Підставивши реальні розміри зерна, товщини зрізу і швидкості шліфування, отримаємо значення 10^{-8} с, таким чином тепло виділяється практично миттєво.

На рисунку 1 показаний стрижень, що підходить до зони обробки зі швидкістю

кругової подачі V_∂. Положення торця по осі X змінюється за часом обробки та визначається траєкторією руху зерен. Показані теплові імпульси різної інтенсивності теплового потоку в залежності від різної товщини зрізу, які впливатимуть на зміну механічних властивостей в функції від температури на торці.

Одновимірну схему дії джерел отримують в площині обертання інструмента. Щільність теплового потоку розподіляється між деталлю та стружкою. Кількістю тепла, що попадає в абразивний інструмент, нехтують з погляду меншої теплопровідності та часу контакту.

Адекватність використання даної схеми може бути підтверджена за допомогою критерію Пекле [3], який характеризує перетікання теплоти між «ізольованими» стрижнями.

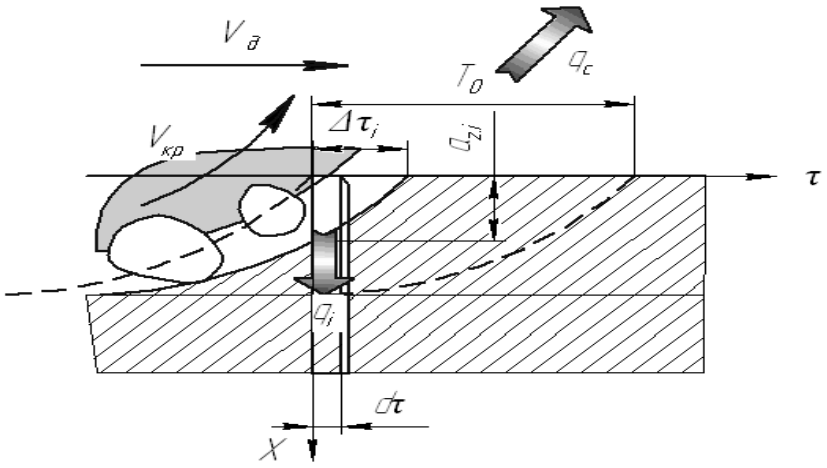


Рис. 1. Одномірна схема дії джерел тепла

Рівняння теплопровідності для одномірної задачі відображає тепловий баланс одиниці об'єму тіла з врахуванням зміни кількості тепла, яке викликане його перенесенням, та дією теплових джерел [3]

$$c(\theta)\cdot\gamma\cdot\frac{\partial T}{\partial\tau}=\lambda(\theta)\cdot\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+q \qquad (2)$$

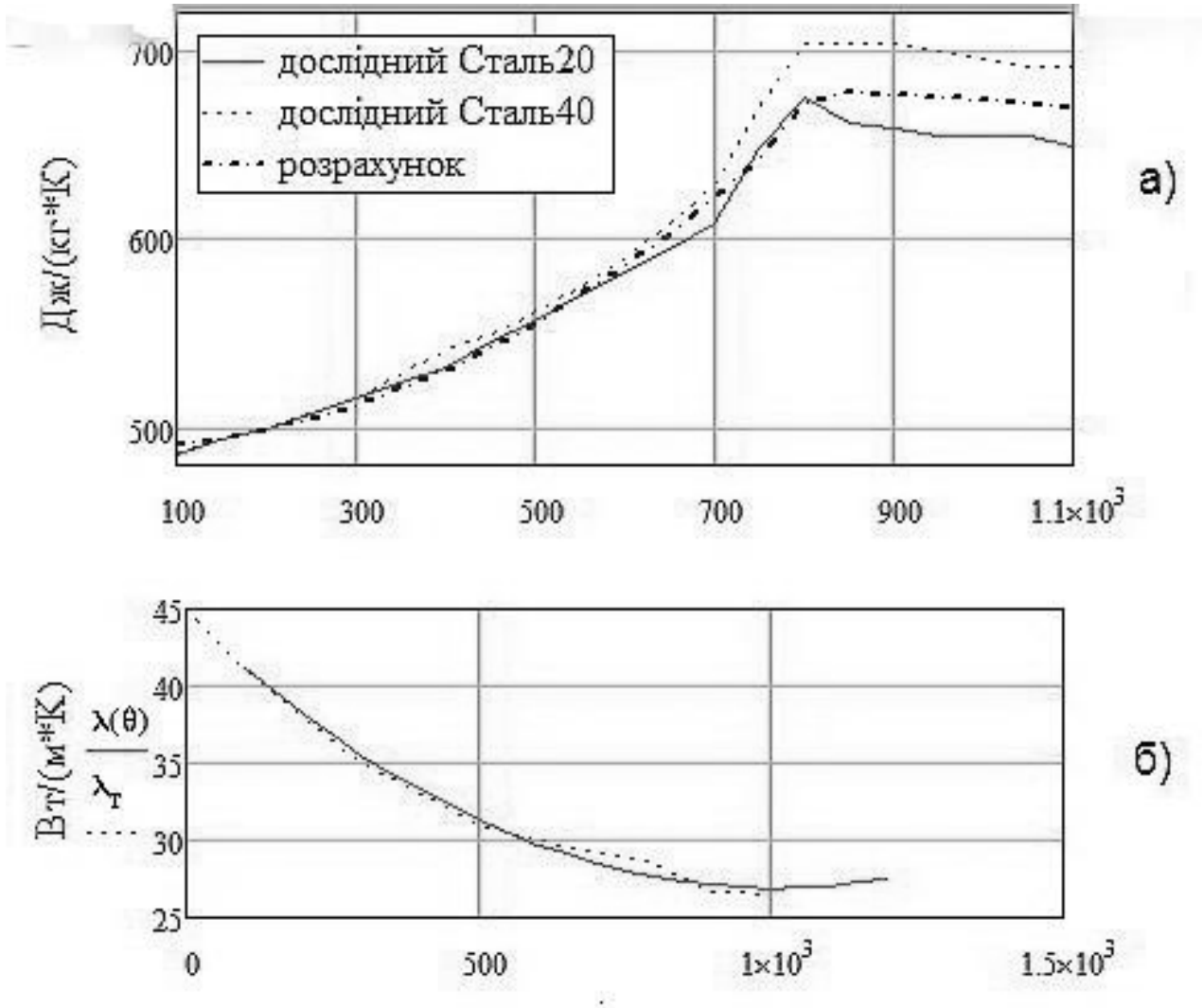
де q – потужність внутрішніх об'ємних джерел (стоків) тепла. Дж/м3, наприклад, при дії зерен, об'ємному тепловиділенні, та т.п., при їхній відсутності q = 0; c(Θ) – питома теплоємність в функції температури (рис.2,а), Дж/(кг·К), значення її як і наступних функцій, апроксимовано;

$$C(\Theta)=\begin{cases}490-164\cdot(\Theta/100)+293\cdot(\Theta/100)^2, & \Theta<800\\ 680-\dfrac{\Theta-800}{30}, & \Theta\geq 800\end{cases}, \qquad (3)$$

γ=7870 кг/м^3 – щільність матеріалу заготовки (для сталей),
λ(Θ) – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м*К) (рис.2,б):

$$\lambda(\Theta)=\begin{cases}44.5-3.5\cdot(\Theta/100)+0.17\cdot(\Theta/100)^2, & \Theta<1000\\ 27, & \Theta\geq 1000\end{cases}, \qquad (4)$$

x – координата, м.



а – теплоємність; б – теплопровідність

Рис. 2. Графіки теплофізичних характеристик вуглецевих сталей в залежності від температури

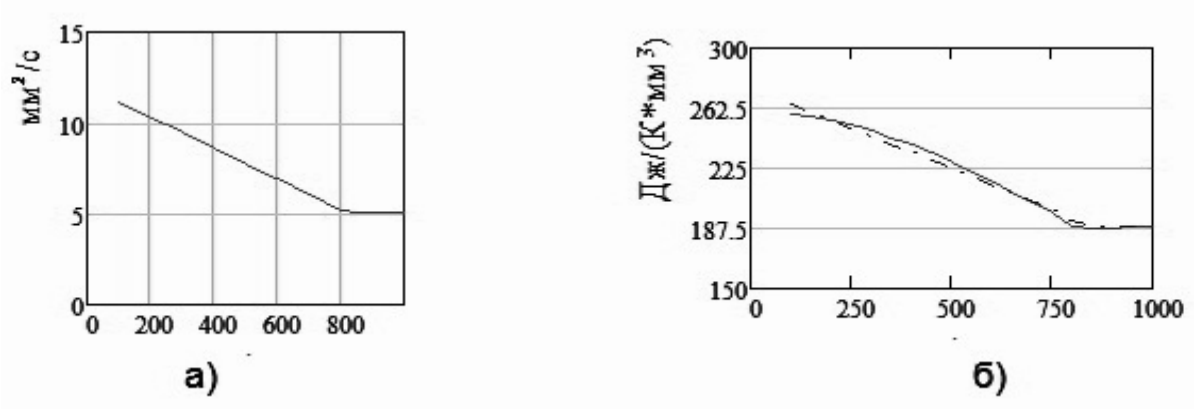


Рис. 3. Графіки зміни температуропровідності (а) та величини зворотної теплоємності ZC_v (б) від температури

Вираз (2) зручніше подати у наступному вигляді та змінити одиниці вимірювання з урахуванням малих значень товщини зрізу при шліфуванні

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \chi(\theta) \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + ZC_v(\theta) \cdot q, \tag{5}$$

де $ZC_v(\theta) = \dfrac{1}{\gamma \cdot c(\theta)} = \begin{cases} 275 - \dfrac{\theta}{10}, & \theta \le 800 \\ 184, & \theta > 800 \circ \end{cases}$ – величина, зворотна до питомої об'ємної теплоємності (рис.3,б).

Коефіцієнт температуропровідності $\chi(\Theta) = \lambda(\Theta) / c(\Theta) \cdot \gamma$, мм^2/с (рис.3,а):

$$\chi(\Theta) = \begin{cases} (12 - (\Theta/100) \cdot 0.85), \Theta < 800 \\ 5.1\cdot, \Theta \ge 800 \end{cases} \tag{6}$$

Як видно з графіків при підвищенні температури дані теплофізичні характеристики матеріалу заготовки значно зменшуються (у 2,5 та 1,4 рази відповідно). При температурах, близьких до фазового переходу кришталевої гратки, вид функціональних залежностей змінюється. Дані залежності з достатньою для практики точністю можуть бути замінені лінійними, похибка не перебільшуватиме 3%.

Як показано в роботі [4], температура задньої поверхні різального леза викликана результатом дії трьох джерел теплоти (рис.4):

- зони утворення стружки, нахиленої до лінії зрізу під кутом φ_y (позиція 1),
- області пластичного застою (позиція 2), де утворюється бічне видавлювання стружки вздовж різальної кромки у вигляді «вуса», що дотикається до лінії зрізу на ділянці h_2,
- фаски зносу h_3 (позиція 3).

Подібна схема наведена в роботі [7].

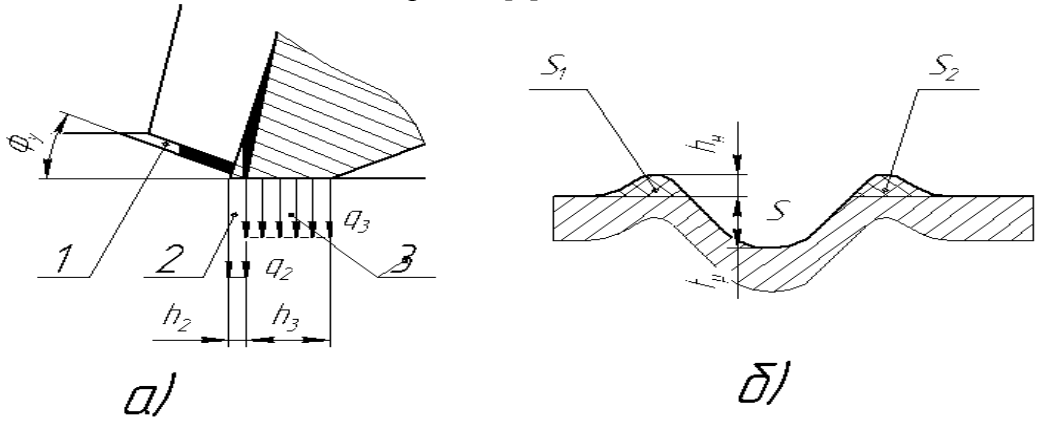


Рис. 4. Схема розподілення щільності теплового потоку на задній поверхні інструмента та поперечний профіль шліфувальної риски

Вплив першого джерела теплоти, розташованого під кутом φ_y до лінії зрізу, несуттєвий. Ця теплота більшою мірою передається стружці навіть при лезовій обробці.

На основі експериментальних даних про теплові потоки, отриманих калориметричним методом, можна стверджувати, що врахування впливу джерела теплоти, розташованого на ділянках пластичної області застою, має принципове значення. Про його вплив на процес шліфування говорить той факт, що поперечний профіль

риски, утвореної мікрорізанням та шліфуванням, має напливи по краях з підвищеною твердістю [6]. Таким чином, відбувається процес витіснення металу в поперечному напрямку. Розміри напливів по боках риски є меншими від товщини зрізу (рис.4,б).

Отже, закон розподілення щільності теплових джерел [4] визначає їх потужність та може бути представлений або у вигляді двох джерел теплоти різної щільності на ділянці $(h_1 - h_3)$, де діють на поверхні деталі, або вибраним середнім з них з урахуванням малості розмірів джерел тепла.

Пропонується формулу, запропоновану в роботі [4], доповнити коефіцієнтом $K(\theta)$, що враховує зміну механічних властивостей сталі під час дії високих температур.

$$q(a_z,\theta) = q_m \cdot h_2 \cdot K(\theta), \tag{7}$$

де q_m – коефіцієнт, що визначає щільність джерела теплоти в даних умовах обробки, який залежить від пари матеріалів заготовка-круг, охолодження та швидкості деформації; коефіцієнт $K(\theta)$ визначають з виразу (рис.5)

$$K(\theta) = \frac{S(\theta)}{S_0}, \tag{8}$$

$S_0, S(\theta)$ – інтенсивність напружень в функції температури [1],

$$S(\theta) = \begin{cases} 215 + \dfrac{\theta}{3}, & \theta \le 400 \\ 860 - 1.6 \cdot \theta + 8.13 \cdot \left(\dfrac{\theta}{100}\right)^2, & \theta > 400 \end{cases} \tag{9}$$

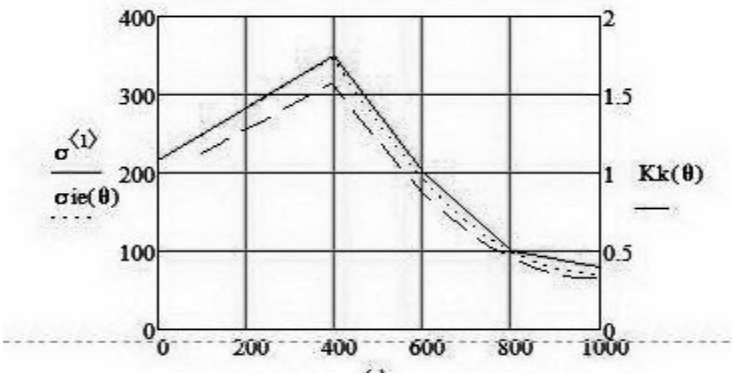


Рис. 5. Зміна механічних властивостей сталі 30 під дією високих температур

Отримані калориметричним методом залежності висоти застійної зони h_2 від товщини зрізу a_z і швидкості різання добре узгоджуються з результатами металографічних вимірювань та були узагальнені [4]

$$h_2 = 0.3 \cdot a \cdot K_v \tag{10}$$

де $K_v = 1.4 \cdot \exp\left[-\dfrac{0.35 \cdot (v \cdot a)}{(v \cdot a)_0}\right]$ – коефіцієнт; добуток швидкості різання на товщину зрізу $(va)_0$ знаходять для раціональної температури задньої поверхні.

Отже, згідно методу кінцевих різниць (сіток) дифференційне рівняння (2) з частковими похідними може бути наближено заміненим рівнянням у кінцевих різницях. Тоді операція знаходження похідних може бути представлена лінійними рівняннями [3]. При такій заміні безперервна функція температури $T(x,\tau)$ наближено

може бути замінена дискретною функцією $\theta(x,\tau)$

$$\frac{\theta_{i,k+1}-\theta_{i,k}}{2\cdot\Delta\tau}=\chi(\theta)\cdot\frac{\theta_{i-1,k}-2\cdot\theta_{i,k}+\theta_{i+1,k}}{2\cdot g}+ZCv(\theta)\cdot q(a_z,\theta), \qquad (11)$$

де g, $\Delta\tau$ – значення кроків, що обрані по координаті та часу відповідно;
i, k – робочі змінні.

Остаточно отримаємо для наступного моменту часу значення температури

$$\theta_{i,k+1}=\chi(\theta)\cdot\frac{\Delta\tau}{g}\cdot\left(\theta_{i-1,k}-2\cdot\theta_{i,k}+\theta_{i+1,k}\right)+2\cdot\Delta\tau\cdot ZCv(\theta)\cdot q(a_z,\theta)+\theta_{i,k}\ . \qquad (12)$$

В якості початкових умов повинна бути задана початкова температура вздовж стрижня. Граничними умовами задачі є заданий розподіл температури в глибині деталі на значній відстані від торця та змінний тепловий потік, що діє на поверхні.

Складений алгоритм, розробляється програма розрахунку. Під час розрахунку необхідно мати дані по робочому стану круга та товщині зрізів, часу між ними. Такі дані були отримані в роботі [8].

Висновки

Розроблена методика дозволяє враховувати стан робочої поверхні круга, змінні як технологічні, так і фізичні параметри процесу шліфування. Вона не накладає обмежень на кінематику процесу та враховує лише середню товщину зрізу.

Можна помітити, що температура стружки і частка тепла, що відводиться з нею, значні та .не потребують введення відповідних коефіцієнтів.

Розроблений алгоритм та складається програма розрахунку температури шліфування.

Список літературних джерел

1. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.
2. Венжега В.І. Підвищення ефективності шліфування торців зі схрещеними осями деталі та круга із калібрувальною ділянкою Автореф. дис. ... канд. техн.наук. Харків, 2008, 16 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности.– М.: Изд-во „Высшая школа", 1967. – 600 с.
4. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнір В.С. Резание материалов. Термомеханический поход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для техн..вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2001. – 448 с.: ил.
5. Сипайлов В.А. Тепловые процессы и управление качеством поверхности. - М.: Машиностроение, 1978, 167 с.
6. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование - Л.: Машиностроение, 1979, 248 с., ил.
7. Мазур М.П. Розробка теоретичних основ та практичне використання термомеханічної моделі обробки пластичних матеріалів; Автореф. дис. докт. техн. наук - Киев, 1999. – 36 с.
8. Рудик А.В. Визначення товщини шару, що зрізується кромкою орієнтованого абразивного інструменту // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Збірник – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – Вип.№42.-С.128-136.

УДК 621.9:62-755

Ю.О. Сахно, д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Є.Ю. Сахно, д-р техн. наук
Я.В. Шевченко, ст. викладач

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

СИСТЕМА КОМПЕНСАЦІЇ ДИНАМІЧНОЇ НЕВРІВНОВАЖЕНОСТІ РОТОРНОГО ВУЗЛА В ГІДРОСТПТИЧНІЙ ОПОРІ

Розглянуто питання компенсації технологічного дисбалансу шпинделя в двох площинах корекції. Визначена кореляційна залежність між похибкою розподілу потоку на рівні частини від тиску у відводах чотирьох поточного розподільника, що керує процесом врівноваження.

Вступ

Неспівпадіння головної центральної осі інерції з віссю обертання шпинделя робить його динамічно неврівноваженим [1]. Неврівноваженість викликає змінні навантаження в опорах та вигин шпинделя. Для забезпечення необхідної точності центрування шпинделя з неврівноваженою заготовкою необхідно звести величину остаточного дисбалансу до мінімуму, тобто $\Delta Д \rightarrow \min$. При цьому дисбаланс ротора $\Delta Д$ залежить від величини e, яка визначає різницю між віссю інерції та віссю обертання ротора.

Аналіз досліджень і публікацій

На даний час для корегування положення дійсної осі ротора, зміщеної під дією зовнішнього навантаження, використають різні методи і прийоми.

Так, в Кіровоградському державному технічному університеті проф. Філімоніхіним Г.Б. проводиться розробка та дослідження автобалансиру, в якому коригувальні вантажі обертаються навколо поздовжньої та поперечної осей ротора [2]. Визначено, що жорсткі і гнучкі ротори треба балансувати однією або декількома парами симетричних або кососиметричних коригувальних мас. Змінюючи місце розташування площин корекції ротора, їх число і значення дисбалансів коригувальних мас, можна звести динамічний прогин до мінімуму.

В Технологічному університеті Поділля проф. Ройзманом В.П. проводяться дослідження динаміки складних технічних об'єктів [3], розроблено методи ідентифікації процесів автобалансування роторів, які швидко обертаються. Створена модель рідинного автобалансуючого пристрою з кульковими корегуючими масами для роторів з вертикальною віссю обертання та розроблено вимоги до конструкцій машин з низькою віброактивністю.

В Росії у Всесоюзному заочному машинобудівному інституті (ВЗМІ, м. Москва) під керівництвом проф. Б.І. Горбунова розроблено і впроваджено оригінальні конструкції ПАБ (приладів автоматичного балансування), вбудовані в шліфувальні верстати, і розглянута динаміка перехідного процесу балансування з електромеханічним приводом корегуючих мас. Співробітниками цього інституту А. П. Товщіком і В. П. Товщіком запропоновано виконати корегуючу масу у вигляді диска з отворами, частина з яких заливається свинцем, а В.І. Сутормінім запропоновано переміщувати диски на роторній системі однобічним гальмуванням їх фрикційними, електромагнітними, пневматичними і гідравлічними пристроями. Умови припустимості балансування ротора як жорсткого або як гнучкого розглянуті В. Н. Барке (ЕНІМВ, м. Москва) [4 - 6].

В інституті машинознавства ім. О.О. Благонравова (ІМАШ, м. Москва) під керівництвом А.О. Гусарова і Л.Н. Шаталова запропоновано і досліджено деякі схеми компенса-

ції режимного дисбалансу, а проф. Бессоновим О.П. розроблена теорія зрівноваження механізмів з урахуванням змінної маси ланок [7, 8].

Компаніями OId Fletton і The Newall Enginering Compani (Великобританія), а також фірмами Hofmann, Haimer, Herminghausen (Німеччина) запропоновано переміщувати корегуючі маси для компенсації зовнішнього дисбалансу в двох взаємоперпендикулярних напрямках.

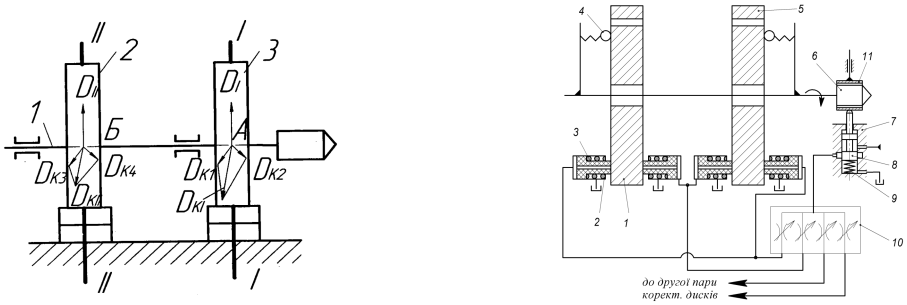
Постановка проблеми

В даній статті авторами поставлена задача розробки системи автоматичного балансування шпиндельних вузлів з визначенням точності зрівноважування технологічного дисбалансу.

Результати досліджень

Для автоматичного балансування шпинделя авторами розроблені схеми врівноваження технологічного дисбалансу з двома площинами корекції (рис. 1). На шпинделі 1 верстата (рис. 1, а) встановлені два однакових балансуючих вузли 2 та 3, корегуючі диски яких повертаються на шпинделі при зменшенні зазору δ між КД (корегуючими дисками) та вкладишами гідрстатичної опори (рис. 2, а).

Дисбаланси $\overline{D}_{KI}$ та $\overline{D}_{KII}$ корегуючих дисків у площинах корекції I та II формуються як векторні суми дисбалансів $\overline{D}_{KI} + \overline{D}_{K2}$ і $\overline{D}_{K3} + \overline{D}_{K4}$. Внаслідок нечутливості повороту корегуючих дисків, обумовленої тертям у шарнірно-пружинному механізмі фіксації дисків (на рисунку не показане) фактичне положення векторів дисбалансів $\overline{D}_{KI}$ та $\overline{D}_{KII}$ відрізняється від положення векторів дисбалансів заготовки $\overline{D}_I$ та $\overline{D}_{II}$.



а) б)

Рис. 1. Схеми балансування шпинделя в двох площинах корегування; I-I, II-II – площини корегування

До переваг такої схеми слід віднести простоту врівноваження дисбалансів ротора, а також відсутність датчиків вібрацій та приладів передавання сигналу від шпинделя верстата до корегуючих (неврівноважених) дисків.

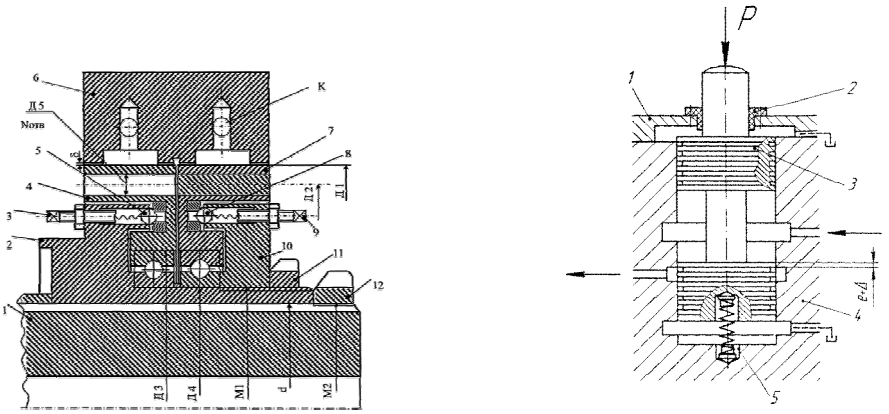
Основний недолік полягає в асинхронному русі корегуючих дисків у площинах I-I та II-II, що подовжує балансувальний цикл.

В технологічній схемі на рис. 1, б [3] сигнал для повороту корегуючих дисків 1 у положення компенсації технологічного дисбалансу надходить від головки шпинделя 6 до керуючого золотника 7 через нерухоме кільце 11. Робоча рідина проходить через керуючий золотник 7 у гальмові циліндри 3 до поршнів, які гальмують корегуючі диски та повертають їх відносно шпинделя. Потім плунжер 8 під дією пружини 9 повертається у вихідне положення, а корегуючі диски 1 після фіксації залишаються на місці. Запропонований варіант усуває недоліки, притаманні попередній схемі. Змінюючи налагоджені параметри керуючого золотника 8, можна регулювати момент гальмування КД залежно від дисбалансу, що корегується.

Розроблено балансуючий пристрій з двома корегувальними дисками (КД), який встановлюється на шпиндель верстата (рис. 2, а). Пошук загального центру мас корегуючими дисками та компенсація неврівноваженості шпинделя виконується за допомогою повороту корегуючих дисків. Останні повертаються автоматично шляхом гальмування відносно шпинделя рідинним тертям.

Балансуючий пристрій має корпус 6, який виконано у вигляді сегмента гідроопори. Корегуючі диски 4 та 7 встановлені за допомогою радіально-упорних підшипників на шліцеву втулку 2, яка надіта на шпиндель 1 та закріплена в осьовому напрямку гайками 11 та 12. В коловому напрямі КД зафіксовані за допомогою підпружинних кульок 5 та 8, які западають у лунки, що рівномірно нанесені на торцевих поверхнях корегуючих дисків. Момент фіксації регулюється гвинтами 3 та 9. Корегуючі диски виконані з легкого матеріалу (сплав Д16) з однаковими дисбалансами. Робоча рідина під невеликим тиском ≤0,3 МПа подається з гідравлічної системи верстата через підведені отвори *К* та серповидні заглиблення, виточені на внутрішніх поверхнях основи, у зазор між КД та корпусом.

Конструктивна схема керуючого золотника приведена на рис. 2, б.



а) б)

Рис. 2. а) пристрій для автоматичного балансування; б) конструктивна схема керуючого золотника

Для підвищення міцності та зносостійкості головки шпинделя 1 (рис. 1), яка контактує з кільцем 11, використовується зносостійке захисне покриття, напилення системи Ni-Cr-B-Si, з матеріалом покриття ПС-12НВК-01 з твердістю HRC 57-64.

Для виключення хибного спрацьовування керуючого золотника внаслідок його зміщення від факторів, не пов'язаних з дисбалансом неврівноваженої заготовки (некруглість головки шпинделя, податливість опор та ін.), запропоновано використовувати гідравлічний розподілювач з додатнім перекриттям прохідних вікон. При цьому умова протікання рідини крізь відкрите вікно золотника буде

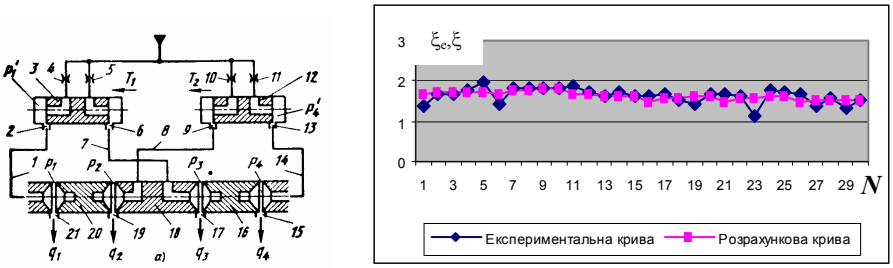
$$t+c \le e+\Delta \approx 75 \text{ мкм},$$

де t – ширина прохідного вікна; c – величина перекриття; e – зміщення головки шпинделя внаслідок технологічного дисбалансу (при $Д$=1000 гмм, e=60 мкм); Δ - коливання шпинделя верстата УТ16А без технологічного дисбалансу та зі знятими корегуючими дисками ($\Delta \le 15$ мкм).

Зусилля гальмування корегуючих дисків на момент їх спрацьовування регулюється витратами через подільник потоку 10 (рис. 1). Диски, повертаючись, компенсують дисбаланс заготовки у площинах I-I та II-II. При цьому зона обмеження відхилень центру шпинделя і похибка корегування технологічного дисбалансу залежить від роботи чотирьохпоточного подільника з двома ступенями ділення (рис. 3).

Вплив похибки подільника потоку на центрування осі шпинделя. Відомо, що нечутливість подільника можливо зменшити, якщо використати багатоступеневу схему ділення

потоку на рівні частини [3]. Паралельно регулювальним плунжерам 16, 18, та 20 (другий ступінь ділення) (рис.3, а) встановлені зрівняльні плунжери 3 та 12 (перший ступінь ділення), кромки яких разом з корпусом утворюють додаткові змінні дроселі 2, 6, 9, 13. Ці дроселі каналами 1, 7, 8, 14 поєднані з командними камерами, які знаходяться між регулювальними плунжерами 16, 18, 20 другого ступеня ділення. У процесі роботи додаткові дроселі корегують витрати, підвищуючи точність ділення.



а) б)

Рис. 3. а) двоступеневий подільник потоку рідини підвищеної точності ділення; б) залежність експериментальної та розрахункової похибки ділення потоку на рівні частини від номера експерименту

У таблиці 1 наведені експериментальні результати дослідження системи регулювання з подільником потоку. Визначено дванадцять можливих варіантів навантажень відводів подільника при постійному тиску в одному з них (у таблиці наведені шість варіантів навантаження).

Використовуючи методику кореляційного аналізу [10], визначимо залежність відносної похибки ділення потоку ξ від тиску у відводах. Для розрахунку обирався екстремальний варіант навантаження відводів подільника, коли в одному з них тиск змінюється від 0,1 до 2,0 МПа, у двох інших відводах − близький до нульового значення, а в четвертому відводі тиск є максимальним, рівним 2,5 МПа.

Відомо, що між експериментальними параметрами виділяють зв'язок, вплив якого на результуючу характеристику системи є визначаючим. Для кількісної оцінки цього зв'язку будують кореляційну модель, загальний вигляд якої такий:

$$Y = f(X,u), \tag{1}$$

де Y – залежна лінійна змінна; X – незалежна змінна (фактор); u – стохастична складова.

Для подальших розрахунків наведену модель шляхом математичних перетворень зводять до лінійних залежностей.

При послідовному з'єднанні декількох плунжерів, тиск у торцевих камерах подільника внаслідок наявності сил тертя зменшується від більш навантаженої лінії до менш навантаженої лінії. Якщо прийняти, що $p_1 > p_2 > p_3 > p_4$, то найбільші витрати рідини будуть у менш навантаженому відводі. Причому максимальна похибка ділення має лінійну характеристику в залежності від перепаду тиску, тобто:

$$\xi = \frac{2\mu^2 f^2 g(p_1 - p_4)}{\gamma(q_1 + q_4)}, \tag{2}$$

де μ – коефіцієнт витрат; f – площа прохідного перетину дроселя; q – прискорення вільного падіння; γ – питома вага рідини.

Різниця тиску на торцях плунжера, яка відповідає зупинці або початку його руху, залежить від сил тертя у парі плунжер-втулка та гідродинамічних сил, що виникають при витіканні рідини крізь робочі вікна.

Для забезпечення достовірності побудови моделі проведемо лінеаризацію вихідних даних шляхом їх логарифмування, тобто приведення заданої мультиплікативної функції до такого вигляду (табл. 1): $lny = lna_0 + a_1 lnX_1 + a_2 lnX_2 + a_3 lnX_3 + a_4 lnX_4$.

Розрахунок виконується за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel.

Таблиця 1

Лініаризовані вхідні дані

№ п/п	$Y(\xi)$	$X_1(p_1)$	$X_2(p_2)$	$X_3(p_3)$	$X_4(p_4)$
1	2	3	4	5	6
1	1,386294	-2,302585	-2,302585	-2,3025	0,9162
2	1,667706	-0,693147	-2,302585	-2,3025	0,9162
3	1,686398	0	-2,302585	-2,3025	0,9162
4	1,791759	0,405465	-2,302585	-2,3025	0,9162
5	1,987874	0,693147	-2,302585	-2,3025	0,9162
6	1,410986	-2,302585	-2,302585	-2,3025	0,9162
7	1,824549	-2,302585	-0,693147	-2,3025	0,9162
8	1,824549	-2,302585	0	-2,3025	0,9162
9	1,824549	-2,302585	0,405465	-2,3025	0,9162
10	1,824549	-2,302585	0,693147	-2,3025	0,9162
11	1,887069	-2,302585	-2,302585	-2,3025	0,9162
12	1,704748	-2,302585	-2,302585	-0,6931	0,9162
13	1,62924	-2,302585	-2,302585	0	0,9162
14	1,704748	-2,302585	-2,302585	0,4054	0,9162
15	1,629244	-2,302585	-2,302585	0,6931	0,9162
16	1,629240	-2,302585	-2,302585	0,9162	-2,3025
17	1,6486586	-2,302585	-2,302585	0,9162	-0,6931
18	1,547562	-2,302585	-2,302585	0,9162	0
19	1,410986	-2,302585	-2,302585	0,9162	0,4054
20	1,686398	-2,302585	-2,302585	0,9162	0,6931
21	1,667701	-2,302585	-2,302585	0,9162	-2,3025
22	1,629240	-2,302585	-0,693147	0,9162	-2,3025
23	1,131402	-2,302585	0	0,9162	-2,3025
24	1,757857	-2,302585	0,405465	0,9162	-2,3025
25	1,740466	-2,302585	0,693147	0,9162	-2,3025
26	1,667706	-2,302585	-2,302585	0,9162	-2,3025
27	1,360976	-0,693147	-2,302585	0,9162	-2,3025
28	1,568615	0	-2,302585	0,9162	-2,3025
29	1,335001	0,405465	-2,302585	0,9162	-2,3025
30	1,504077	0,693147	-2,302585	0,9162	-2,3025

Складаємо матрицю коефіцієнтів кореляції між факторами та по їх величині визначаємо їх спрямування і характеристики зв'язку між ними (таблиця 2).

Таблиця 2

Матриця коефіцієнтів кореляції

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4
Y	1				
X_1	-0,02629	1			
X_2	0,213518	-0,29089	1		
X_3	-0,45347	-0,66874	-0,12458	1	
X_4	-0,39221	0,556297	-0,12458	-0,73428	1

З таблиці видно, що мультиколінеарності між параметрами не існує. Використовуючи функцію "ЛИНЕЙН", будуємо лінійну багатофакторну модель (табл. 3). Тут R^2– коефіцієнт детермінації, який визначає ступінь апроксимації функції. $F_{кр}$ – критерій Фішера дорівнює 2,24 який визначає адекватність моделі, оскільки він перевищує критичне значення 1,89.

Таблиця 3

Лінійна багатофакторна модель

	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
	0,039470	-0,021179	0,043523	0,013598	1,737397
	0,037492	0,037492	0,035766	0,035767	0,125393
R^2	0,264082	0,17258	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
F_{kp}	2,242794	25	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д

Таким чином, розрахункова модель має вигляд:

$$Yt=1,7+0,01X_1+0,043X_2-0,21X_3+0,04X_4. \quad (3)$$

Графік залежності експериментальних ξ_e та розрахункових значень ξ_p (параметри Y; Yt) від факторів X_1-X_4 у залежності від номеру експерименту N представлені на рис. 3, б.

З графіка видно, що відхилення експериментальних даних від розрахункових не перевищує 2%, що свідчить про коректність виконаних розрахунків.

Висновки

1. Розроблено технологічні схеми компенсації динамічної (моментно-силової) неврівноваженості ротора у двох площинах корегування з роздільним поворотом корегуючих дисків незалежно один від одного та спільним їх поворотом.
2. Визначена кореляційна залежність між похибками ділення потоку на рівні частини та тиску у відводах чотирьохпоточного подільника з метою підвищення точності центрування неврівноваженого шпинделя.
3. Похибка ділення потоку рідини визначає товщину масляного шару в опорі і відповідно працездатність роторної системи.

Список літературних джерел

1. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки. – Житомир: ЖІТУ, 2001. – 612 с.
2. Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів пасивними автобалансирами. Дис.....докт. техн. наук. – К.: НТУУ „КПІ", 2005.-321 с.
3. Ройзман В.П., Малигін О.В., Чоловський Р.Г. Дослідження роботи АБП на роторі з горизонтальною віссю обертання // Вісник технологічного університету Поділля.- 1998. - №4. – С. 143-145.
4. Проектирование управляемых балансирующих устройств шлифовальных станков/ Б.И. Горбунов, Р.Ф. Малеева, А.П. Товщик, Л.П. Товщик. – М.: ВЗМИ, 1987. – 80 с.
5. Товщик А.П., Товщик Л.П., Толоконников М.Л. Переходный колебательный процесс при изменении дисбаланса шлифовального круга // Процессы и оборудование абразивно-алмазной обработки. –М.: ВЗМИ, 1986. –С. 72-75.
6. Балансировка станочных деталей. Методические рекомендации. / Барке В.Н., Воробьева Т.С. – М.: ЭНИМС, 1978. – 27 с.
7. Гусаров А.А. Динамика и балансировка гибких роторов. – М.: Наука, 1990.- 152 с.
8. Бессонов А.П. Основы динамики механизмов с переменной массой звеньев. – М.: Наука, 1967. – 320 с.

9.Сахно Ю. А. Многопроточные гидравлические делители. – М.: Машиностроение, 1998. – 160 с.
10. Душинский В.В., Пуховский Е.С., Радченко С.Г. Оптимизация технологических процесов в машиностроении. – К.: Техника, 1977. – 176 с.

УДК 621.9.06-82

Д.Ю. Федориненко, канд. техн. наук
С.А. Іванець, канд. техн. наук
С.П. Сапон, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ ЗАСОБАМИ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

Запропонована технічна ідея адаптивного керування вихідними параметрами точності шпиндельних вузлів на гідростатичних підшипниках на основі застосування нових конструкцій опор, де початковий зазор змінюється за рахунок витрати рідини або за рахунок геометрії опори з каналом зворотного зв'язку за переміщенням шпинделя.

Постановка проблеми

Сучасне машинобудування висуває високі вимоги до якості випускаємої продукції, яка тісно пов'язана з точністю механічної обробки деталей. Існуюче на переважній більшості підприємств обладнання не завжди здатне задовольнити ці вимоги, придбання ж нового потребує значних інвестицій. У зв'язку з цим актуальним є раціональне використання потенційних можливостей існуючого обладнання на основі застосування сучасних адаптивних систем керування. Невід'ємною складовою таких систем є мехатронні блоки, які являють собою комплекс силових, інформаційних та керуючих елементів. Можливість поєднання між собою таких галузей як гідравліка, електроніка та механіка сприяє створенню ефективних систем керування технологічними процесами.

Аналіз досліджень і публікацій

Одним з найбільш перспективних типів шпиндельних опор для реалізації прецизійної обробки є гідростатичні підшипники (ГСП), які поряд з високою жорсткістю та демпфуючою здатністю дозволяють керувати вихідними параметрами точності обертання шпинделя.

Значний обсяг досліджень ГСП з адаптивним регулюванням вихідних характеристик точності виконано під керівництвом проф. Шатохіна С.М. [1, 2] Зокрема, в роботі [1] проведені теоретичні дослідження та експериментально підтверджено можливість значного підвищення точності токарних, фрезерних і шліфувальних верстатів на основі комплексного використання функціональних можливостей адаптивних шпиндельних ГСП з вбудованими регуляторами.

Підвищенню точності важкого верстатного обладнання шляхом адаптивного керування точністю положення осі обертання шпинделя присвячено дослідження наукової школи проф. Ковальова В.Д. [3]. Використання систем живлення ГСП з адаптивним керуванням, що забезпечують постійність відношення величин тиску насоса та тиску в карманах опори, запропоновано проф. Бушуєвим В.В. [4].

Слід зазначити, що проаналізовані вище роботи в основному спрямовані на регулювання величини тиску та витрат рідини в карманах ГСП. В монографії [5] запропоновано спосіб підвищення точності обертання шпинделя на основі регулювання величиною радіального статичного зазору δ_0 в ГСП з каналом зворотного зв'язку за переміщенням шпинделя. Керування величиною мастильного шару в процесі механічної обробки дає можливість підвищити вихідні характеристики ГСП та розширити область їх застосування.

Проте, незважаючи на накопичений досвід, задача підвищення точності шпиндельного вузла (ШВ) засобами, адаптованими до сучасних цифрових систем керування верстатів з ЧПК, до сих пір не розв'язана та потребує подальшого дослідження.

Мета статті

Підвищення точності обертання шпинделя шляхом застосування систем автоматичного керування (САК) витратними характеристиками та геометричними параметрами гідростатичних опорних вузлів шпинделя засобами мехатронних систем.

Виклад основного матеріалу

ШВ є однією з основних підсистем металорізального верстата, що беруть участь у формоутворенні. Точність ШВ є складовою точності верстата, що чинить безпосередній вплив на параметри оброблюваної деталі. Найбільш доцільно оцінювати точність обертання шпинделя на основі визначення траєкторій руху опорних точок шпинделя або просторового положення характеристичного вектору R [6]. Можливість керування точністю, жорсткістю, вібростійкістю створює сприятливі передумови застосування гідростатичних опор в системах адаптивного керування точністю механічної обробки [7].

Для реалізації адаптивного керування точністю обертання шпинделя на ГСП пропонуються наступні підходи: використання адаптивних мікропроцесорних регуляторів в каналі зворотного зв'язку системи автоматичного керування (САК), застосування САК з автоматичним налагодженням параметрів регулятора в залежності від технологічних факторів, гнучка реалізація структури керування виконавчими механізмами приводів.

Схема реалізації адаптивного керування точністю обертання шпинделя на ГСП приведена на рисунку 1.

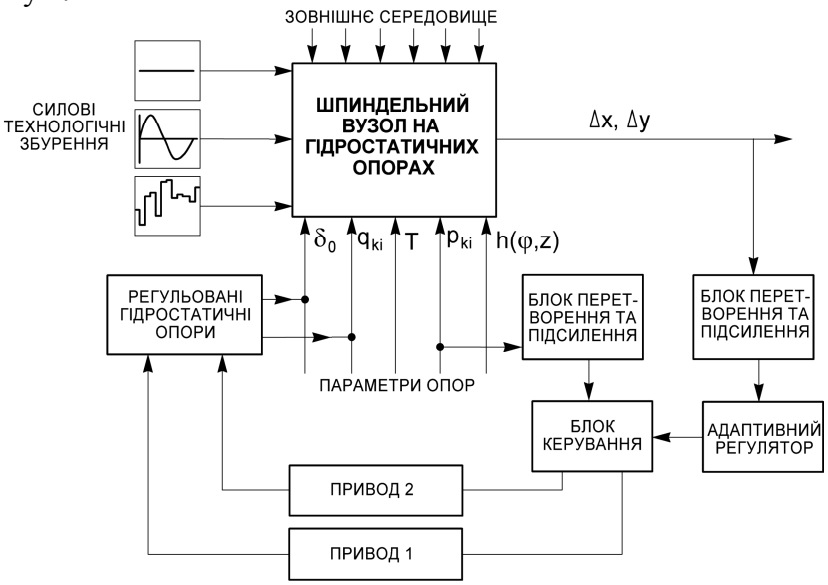


Рис.1. Схема реалізації адаптивного керування точністю обертання шпинделя на ГСО

Шпиндельний вузол верстата на ГСП в процесі експлуатації піддається впливу постійних, періодичних, випадкових силових технологічних збурень, факторів зовнішнього оточуючого середовища. Істотний вплив на точність ШВ чинять параметри опор, зокрема: радіальний зазор δ_0, витрати рідини q_{ki} через кармани ГСП, температура робочої рідини T, тиск p_{ki} в карманах опор, просторова функція динамічного зазору $h(\varphi,z)$, де φ – полярний кут, z – поздовжня координата по довжині шпинделя. Запропонована на рис. 1 схема, в залежності від характеру зміни умов обробки, передбачає можливість застосування двох приводів регульованих гідростатичних опор, що реалізують два режими роботи САК: регулювання витрат рідини q_{ki} в карманах опор та регулювання величиною радіального зазору δ_0 в ГСП шпинделя.

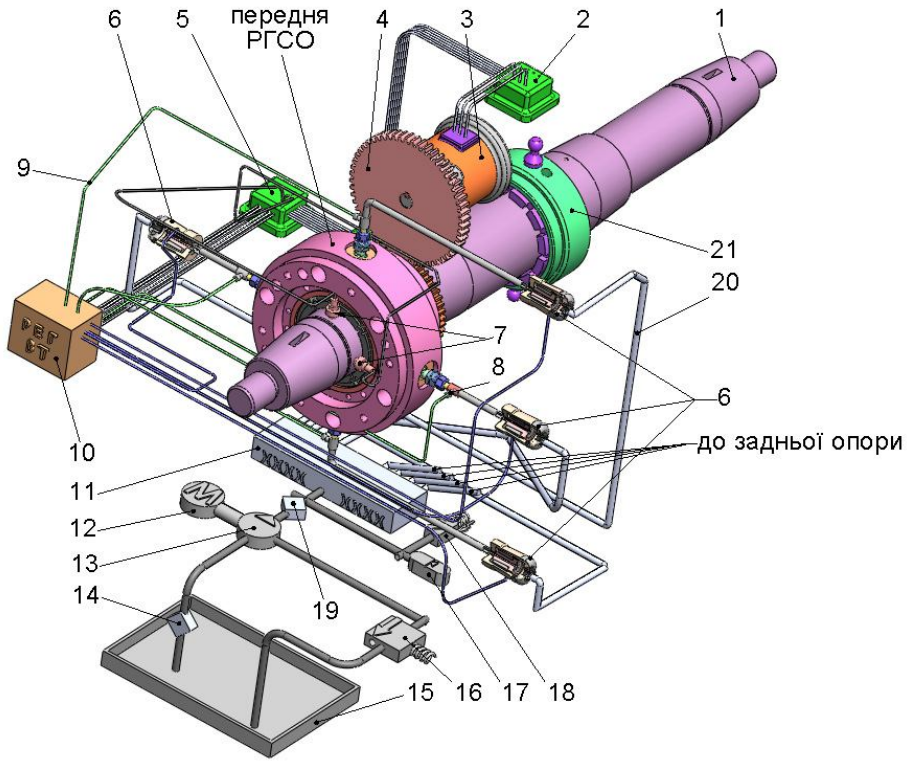
Одним з основних елементів запропонованої САК точністю обертання шпинделя є безконтактні датчики переміщень, призначені для визначення зміщень шпинделя Δx, Δy за відповідними осями. Знаючи переміщення шпинделя за двома взаємно перпендикулярними осями, можна визначити ексцентриситет шпинделя відносно опори як вектор-

ну суму переміщень по осі *OY (Δy)* та по осі *OX (Δx)*. Правильним вибором датчиків забезпечується чутливість САК до переміщень шпинделя в межах часток мікрометра та загальна надійність і швидкодія системи. На наш погляд, найбільш перспективними для вимірювання абсолютної величини мікропереміщень шпинделя є безконтактні оптичні (лазерні) датчики типу РФ603L.2-10/2-485-U-IN-AL-CC-3 [8], які мають можливість виводу вихідного сигналу як в аналоговій, так і в цифровій формі.

САК може працювати в двох режимах: в режимі 1 – регулювання витратними характеристиками опор, або в режимі 2 – одночасного регулювання як витратними характеристиками, так і величиною зазору δ_0 в ГСП. Зазначеним режимам відповідає певна структура реалізації САК (підключення приводу 1, або обох приводів одночасно), причому прийняття рішення про зміну режиму роботи та структури САК покладено на АР.

Принцип роботи адаптивного регулятора наступний.

Зміщення шпинделя *Δx, Δy* сприймаються безконтактними датчиками 7 (рис. 2), що встановлені у відповідних напрямках. Сигнали з датчиків після перетворення та підсилення надходять на адаптивний регулятор 5 , який в режимі реального часу розраховує поточне значення радіус-вектора ρ_i траєкторії шпинделя 1 та порівнює його з максимально припустимим значенням ρ_{max}, при якому вихідна точність шпинделя є задовільною.



1 – шпиндель, 2 – мікроконтролер, 3 – кроковий двигун, 4 – зубчасте колесо, 5 – адаптивний регулятор, 6 – пропорційні клапани витрат, 7 – безконтактні датчики, 8 – датчик тиску, 9 – з'єднувальний кабель, 10 – регулятор САК витратними характеристиками, 11 – колектор, 12 – електродвигун, 13 – гідронасос, 14 – фільтр чорнової очистки, 15 – бак, 16 – запобіжний клапан, 17 – реле тиску, 18 – гідроакумулятор, 19 – фільтр тонкої очистки, 20 – гідролінія, 21 – опорний підшипник, РГСО – регульована гідростатична опора

Рис. 2. Принципова схема мехатронної САК точністю обертання шпинделя

Поточне значення радіус-вектора ρ_i визначається за залежністю:

$$\rho_i = k_\partial \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \ , \qquad (1)$$

де k_∂ – коефіцієнт підсилення безконтактних датчиків переміщень;

Δx, Δy – зміщення шпинделя за відповідними осями.

Якщо $\rho_i \leq \rho_{max}$, САК працює в режимі 1, в іншому випадку адаптивний регулятор переключає систему на роботу в режим 2.

Принцип роботи САК в режимі 1 наступний. Мастило з баку 15 (див. рис. 2) через фільтр чорнової очистки 14 потрапляє до насосу 13. Далі мастило через фільтр тонкого очищення 19 надходить до колектора 11, який за допомогою постійних дроселів розділяє загальний потік на вісім гілок живлення (по чотири для передньої і задньої ГСО). В кожній гілці є попередньо налагоджений на мінімально необхідну пропускну здатність пропорційний клапан витрат 6 типу QVHZO з електронними драйверами [5], приєднаний до регулятора витратних характеристик 10, реалізованого на програмованій логічній інтегральній схемі (ПЛІС). З пропорційного клапану 6 мастило потрапляє до відповідного карману радіального ГСП. Для аварійних режимів роботи системи живлення призначений гідроакумулятор 18, який також згладжує пульсації тиску рідини. У випадку відмови насосу 13 реле тиску 17 вимикає привод головного руху верстата, а подача рідини в ГСП здійснюється від гідроакумулятора АК1 до повної зупинки шпинделя.

Зміщення шпинделя у власних опорах сприймається безконтактними датчиками переміщення 7, сигнали з яких надходять до ПЛІС, яке відповідно до величини отриманого аналогового сигналу з датчиків визначає за програмою необхідну коригувальну витрату мастила Δq_{ki} в несучі кармани з метою компенсації зміщень шпинделя під навантаженням. Згідно до визначеної коригувальної подачі мастила сигнал з ПЛІС надходить до відповідних пропорційних клапанів витрат 6, які змінюють свою пропускну здатність пропорційно до вхідного сигналу, що призводить до зміни величини тиску p_{ki} у відповідних карманах опор. В результаті збільшення подачі рідини до більш навантажених карманів ГСП відбувається формування результуючої сили гідростатичного тиску P_Σ в напрямку, опозитному до дії зовнішнього навантаження, завдяки чому відбувається процес центрування шпинделя у власних опорах.

Іншим підходом до підвищення вихідної точності ШВ є регулювання величиною зазору δ_0 в ГСП, що реалізується при роботі САК в другому режимі.

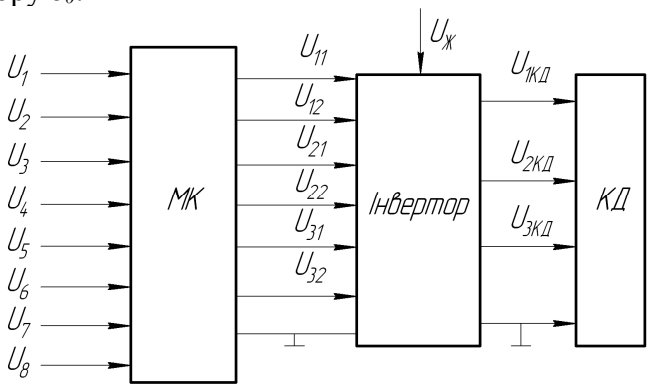
Робота САК в режимі 2 полягає у використанні в приводі регульованих гідростатичних опор шпинделя крокового двигуна 3 (див. рис. 2) з керуванням від мікроконтролера 2, який з'єднаний з адаптивним регулятором 5.

Процес регулювання зазором δ_0 відбувається наступним чином.

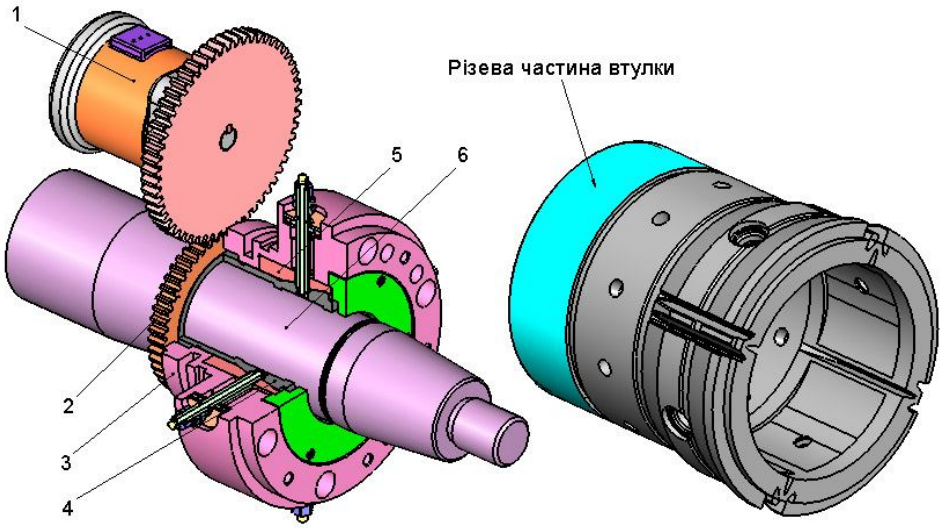
Сигнали з безконтактних вимірювачів після адаптивного регулятора $U_1 \ldots U_8$ (рис. 3) надходять до системи керування мікроконтролера, що за програмою формує сигнали $U_{11} \ldots U_{32}$ керування силовими ключами інвертора (транзисторного комутатора). Інвертор генерує напруги $U_{1КД} \ldots U_{3КД}$, які безпосередньо надходять на обмотки фаз крокового двигуна. Кут повороту крокового двигуна α пропорційний кількості електричних імпульсів n_i, які надходять до нього від мікроконтролера за програмою.

На валу крокового двигуна 1 (рис. 4, а) жорстко закріплена шестерня, яка передає обертання зубчастому колесу 2, що за допомогою різевого з'єднання розміщується на хвостовій частині гідростатичної втулки 4 спеціальної конструкції. Конструкцією гідростатичної втулки 4 передбачена група пазів криволінійного профілю (рис. 4, б), між якими утворені кармани, підключені через постійні дроселі (на рисунку не показані) до напірної гідролінії, причому зазначені пази розташовані в безпосередній близькості один від одного, а сусідні пази виконані почергово на внутрішній та зовнішній поверхнях втулки. На зовнішній поверхні гідростатичної втулки виконані два конічних пояски, які в процесі регулювання радіального зазору δ_0 взаємодіють з конічними поверхнями нерухомої конічної втулки 5 підшипника. При обертанні зубчастого колеса гідростатична втулка набуває осьового переміщення, тим самим змінюючи зазор δ_0 в опорних регульованих вузлах шпинделя. Таким чином мікроконтролер з кроковим двигуном безпо-

середньо за показниками безконтактних вимірювачів здійснюють регулювання величиною радіального зазору δ_0.



МК – мікроконтролер; $U_1 \ldots U_8$ – вхідні сигнали з адаптивного регулятора; $U_{11} \ldots U_{32}$ – сигнали керування силовими ключами; $U_Ж$ – напруга живлення; $U_{1КД} \ldots U_{3КД}$ – напруги обмоток фаз КД
Рис. 3. Функціональна схема керування кроковим двигуном (КД)



а) *б)*

1 – кроковий двигун, 2 – зубчасте колесо, 3 – корпус підшипника, 4 – гідростатична втулка, 5 – нерухома конічна втулка, 6 – шпиндель
Рис. 4. Фрагмент 3D моделі регульованого ГСП а) та деформована гідростатична втулка (збільшено) б)

Основною складовою алгоритму роботи САК є залежність коригувальних витрат рідини Δq_i від величини та напрямку зміщень шпинделя. Аналітичні залежності для визначення коригувальних витрат рідини, необхідних для зміщення шпинделя в центральне положення, отримані на основі рівнянь рівноваги сил, прикладених до шпинделя:

$$\Delta q_x = \frac{\frac{\sum P_x}{S_{еф}} + Q_4(R_4 - R_2)}{R_2}; \qquad \Delta q_y = \frac{\frac{\sum P_y}{S_{еф}} + Q_3(R_3 - R_1)}{R_1}, \tag{2}$$

де $S_{еф}$ – ефективна площа карманів опори; m – маса шпинделя, приведена до центру гідростатичної втулки; $Q_1 \ldots Q_4$ – витрати мастила через відповідні кармани ГСП на момент вимірювання (при ексцентричному положенні шпинделя); $R_1 \ldots R_4$ – опори витіканню мастила з відповідних карманів в момент вимірювання (при ексцентричному положенні шпинделя).

Сумарні проекції зовнішніх сил на відповідні осі можна визначити наступним чином:

$$\sum P_x = m_ш \frac{d^2\Delta x}{dt^2} + h_{шx} \frac{d\Delta x}{dt} + c_{шx} \cdot \Delta x \tag{3}$$

$$\sum P_y = m_ш \frac{d^2\Delta y}{dt^2} + h_{шy} \frac{d\Delta y}{dt} + c_{шy} \cdot \Delta y\,, \tag{4}$$

де $m_ш$ – маса шпинделя, приведена до точки дії сил різання; $h_{шx}$, $h_{шy}$, $c_{шx}$, $c_{шy}$ – еквівалентні коефіцієнти демпфування ($h_ш$) та жорсткості ($c_ш$) шпинделя за відповідними напрямками.

Еквівалентні характеристики жорсткості $c_{шx}$, $c_{шy}$ та демпфування $h_{шx}$, $h_{шy}$ пружної системи шпинделя визначаються за рекомендаціями [9].

Значення переміщень Δx, Δy, швидкостей $\frac{d\Delta x}{dt}$, $\frac{d\Delta y}{dt}$, прискорень $\frac{d^2\Delta x}{dt^2}$, $\frac{d^2\Delta y}{dt^2}$ визначаються експериментально в режимі реального часу за показниками датчиків, встановлених по осях *OX* та *OY* відповідно.

Величина витрат рідини Q_i з карманів підшипника, що входить до формул (2), наближено обчислюється за залежністю [11]:

$$Q_i = \frac{p_{ki} \cdot \delta_0^{\,3} \cdot D \cdot \varphi_{k\tau}}{12\mu \cdot l_1} \cdot \left[\left(1 - \varepsilon K_\varphi\right)^3 + C_L\left(1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi_{ti}\right)^3\right], \tag{5}$$

де $C_L = \frac{2\left(l_0 + l_1\right)}{D \cdot \varphi_{k\tau}}$ – конструктивні параметри опори (рис. 5);

$K_\varphi = \frac{2}{\varphi_{k\tau}} \cdot \sin\frac{\varphi_{k\tau}}{2}$;

i – номер карману;

l_0 – ширина карману;

l_1 – ширина перемички карману;

$\varphi_{k\tau}$ – кут, що охоплює карман та половину довжини тангенціальних перемичок, суміжних з карманом;

φ_{ti} – кут, що визначає положення середини тангенціальної перемички *i-го* карману в полярній системі координат;

ε – відносний ексцентриситет;

φ_e – кут, який вказує напрямок зміщення шпинделя в гідростатичній втулці.

Враховуючи, що $R_i = \frac{p_{ki}}{Q_i}$, використовуючи вираз (5), визначимо гідравлічний опір R_i:

$$R_i = \frac{12\mu \cdot l_1}{D \cdot \delta_0^3 \cdot \varphi_{k\tau}\left[\left(1 - \varepsilon K_\varphi\right)^3 + C_L\left(1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi_{ti}\right)^3\right]}. \tag{6}$$

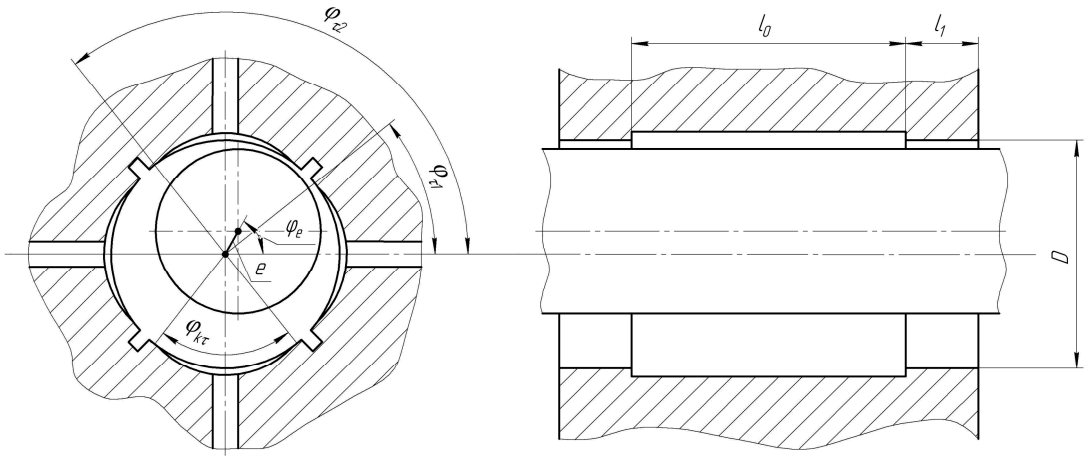


Рис. 5. Схема до визначення Qi в радіальному ГСП

Величина тиску в карманах опори p_{ki} визначається ПЛІС на основі даних, отриманих після аналогово-цифрового перетворення сигналів вимірювачів динамічного тиску рідини в режимі реального часу.

Таким чином, визначені коригувальні витрати рідини, наприклад Δq_x, надходять до навантаженого карману за віссю *OX*, який визначається кутом φ_e розташування опорної шийки шпинделя. В загальному випадку для *n*-карманного підшипника отримані значення коригувальних витрат рідини Δq_i надходять до навантаженого карману опори за відповідним напрямком (віссю) в залежності від відносного ексцентриситету ε та кута напрямку зміщення шпинделя в гідростатичній втулці φ_e:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{\delta_0};\ \varphi_e = arctg\frac{\Delta x}{\Delta y}. \qquad (7)$$

Для апаратної реалізації математичної моделі регулятора запропонована ПЛІС фірми Altera сімейства Cyclone EP1C20F400C7 з тактовою частотою 10 МГц [12]. На рис. 6 приведена структурна схема розрахунку витрат Δq_x. Коректувальні витрати за віссю *OY* реалізуються аналогічним чином.

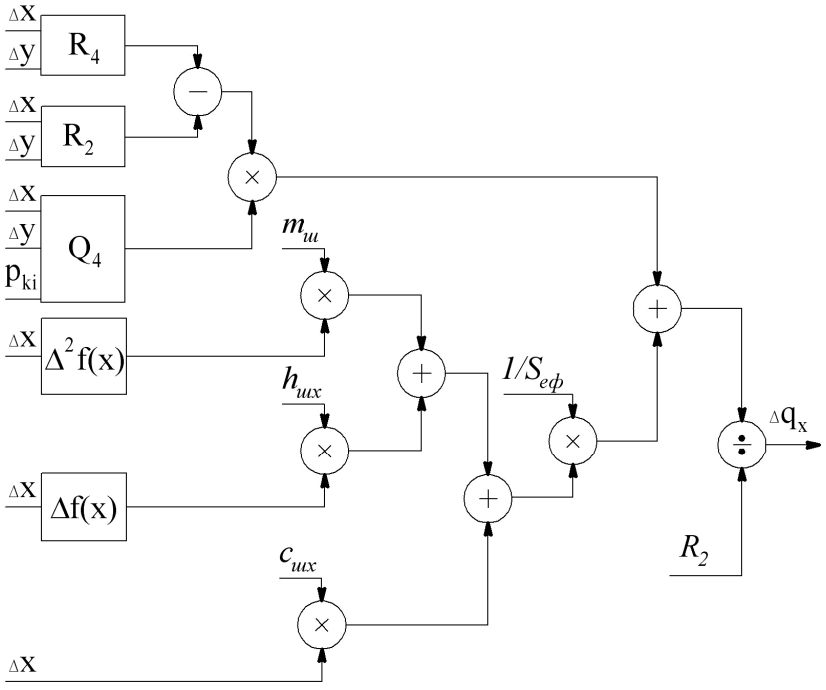


Рис. 6. Структурна схема визначення витрат Δq_x для реалізації на ПЛІС

З метою оцінювання точності обертання шпинделя під час регулювання зазору в ГСО модернізованої конструкції верстату 3Т161 досліджували параметри траєкторії руху його центра мас (приведеного до центру передньої ГСО) в площині, ортогональній до геометричної осі обертання.

На основі імітаційного моделювання засобами системи Simulink встановлено, що прецесійний рух шліфувального шпинделя відбувається за траєкторією еліпса, центр якого зміщується під дією навантаження з боку процесу різання відносно геометричної осі гідростатичної втулки. Як видно з графіка на рис. 7, наведеного в безрозмірних величинах, зі збільшенням величини навантаження $\overline{F}$ зростає значення тренду шпинделя (положення центра еліпса визначається радіус – вектором $\overline{\rho}$) відносно осі підшипника.

В свою чергу, регулювання діаметрального статичного зазору $\overline{\Delta}_0$ в бік зменшення призводить як до відповідного зменшення зміщень осі шпинделя відносно центру втулки, так і до зменшення осей еліптичної траєкторії синхронного вихру, що чинить позитивний вплив на формування вихідної точності верстата (рис. 8).

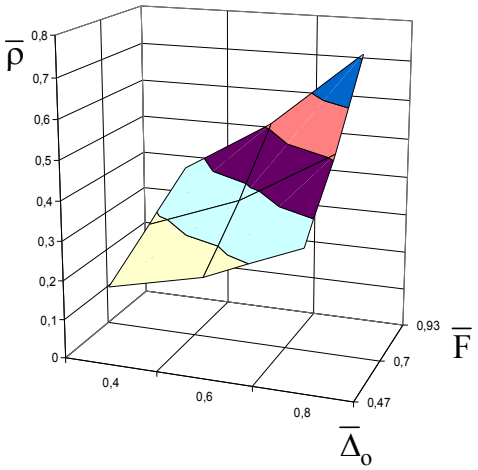


Рис. 7. Результати моделювання зміщення центра еліптичної траєкторії шліфувального шпинделя

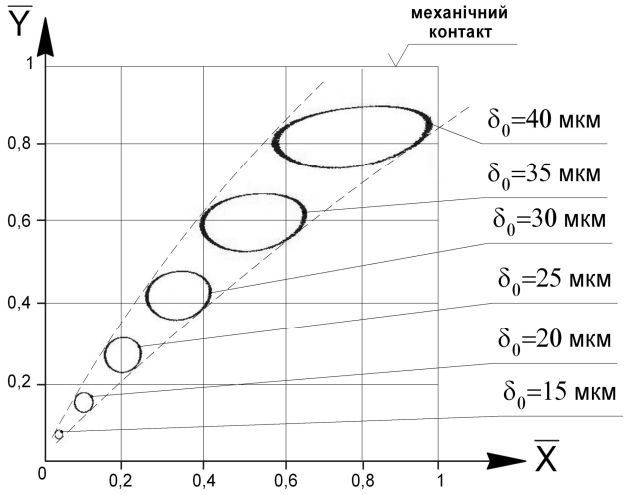


Рис. 8. Тренд траєкторій руху осі шпинделя в процесі регулювання статичного зазору δ_0: $\overline{X}$, $\overline{Y}$ – безрозмірні осі координат

Висновки

В роботі запропонована технічна ідея адаптивного керування вихідними параметрами точності шпинделя під навантаженням з боку процесу різання шляхом регулювання витратних характеристик та геометричних параметрів гідростатичних опор.

Отримані аналітичні залежності для визначення коректувальних витрат рідини та розроблена структурна схема ПЛІС мехатронної САК.

На основі імітаційного моделювання засобами Simulink встановлено, що регулювання діаметрального статичного зазору в бік зменшення призводить як до відповідного зменшення відхилення осі шпинделя відносно центру втулки, так і до зменшення напівосей еліптичної траєкторії шпинделя, що позитивно впливає на формування вихідної точності верстата.

Запропонований спосіб регулювання параметрів шпиндельних ГСП створює передумови для розширення технологічних можливостей процесів прецизійної механічної обробки на верстатах з гідростатичними опорними вузлами, що дозволить ефективно розв'язувати традиційні технологічні задачі забезпечення високих показників точності і якості оброблюваних деталей.

Список літературних джерел

1. Шатохин С.Н. Теория и методы проектирования адаптивных гидростатических и аэростатических шпиндельных опор и направляющих металлорежущих станков: автореф. Дис. На соиск. Уч. Степени докт. Техн. Наук: спец. 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин» / С.Н. Шатохин. – Красноярск, 2010. – 50с.
2. Ереско С. П. Функциональные возможности и проблематика применения адаптивных гидростатических опор в шпиндельных узлах металлорежущих станков / С. П. Ереско, С. Н. Шатохин // «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование: научный журнал ИрГУПС», 2009, № 3 (23). – С.148-154.
3. Ковальов В.Д. Моделювання роботи шпиндельного вузла важкого токарного верстата з адаптивною системою живлення опор/ Ковальов В.Д., Пономаренко О.В., Мельник М.С., Васильченко Я.Н.//Вісник ЖДТУ. – 2009. – №4(51) – С. 37-43.
4. Бушуев В.В. Гидростатические опоры с адаптивным управлением / В.В.Бушуев, О.К. Цыпунов // Станки и инструмент. – 1987. – №1. – С.12 – 13.
5. Регульовані гідростатичні підшипники для шпиндельних вузлів: монографія/Ю.О. Сахно, Д.Ю. Федориненко, С.В. Бойко, В.С. Волик. – Ніжин: ТОВ “Видавництво”Аспект-Поліграф”, 2009. – 172 с.: іл.
6. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1985. – 287 с.
7. Плоткин М.П. Адаптивное управление металлорежущими станками/ М.П. Плоткин. – М.: НИИМАШ, 1973. – 223с.
8. Триангуляционные лазерные датчики. Серия РФ603. Руководство по эксплуатации ООО «РИФТЭК», 2011. – 46с.
9. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки / В.Б.Струтинський. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.
10. Федориненко Д.Ю. Мехатронна система керування положенням шпинделя в радіальних гідростатичних підшипниках / Д.Ю. Федориненко, С.А. Іванець, С.В. Бойко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Збірник. – Чернігів ЧДТУ, 2008, №36. – с.54-64.
11. Детали и механизмы металлорежущих станков/ [Каминская В.В., Левина З.М. и др]; под ред. Д.Н. Решетова. — М: Машиностроение, 1972. — 519с. — (Шпиндели и их опоры, механизмы и детали приводов; т. 2).
12. Cyclone Device Handbook. – Altera Corporation, 2008. – 385 p.

УДК 621.01-621.9.06

А.М. Кириченко, канд. техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ВПЛИВ ДІАПАЗОНУ КУТІВ ПОВОРОТУ ШАРНІРНИХ ОПОР НА ОБ'ЄМ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ВЕРСТАТА-ГЕКСАПОДА

Наведено дискретний чисельний метод визначення робочого простору обладнання з ланками змінної довжини та встановлено вплив допустимих кутів повороту шарнірних опор на об'єм робочого простору верстата на основі механізму паралельної структури «гексапод».

Постановка проблеми

Робочий простір є одною з важливих характеристик верстатного обладнання з механізмами паралельної структури, оскільки він визначає максимальні розміри оброблюваної заготовки та допустиму орієнтацію робочого органа. Робочий простір такого обладнання має неправильну геометричну форму, залежить від розміщення полюсу інструмента відносно шарнірних опор робочого органа та його просторової орієнтації.

Аналіз досліджень і публікацій

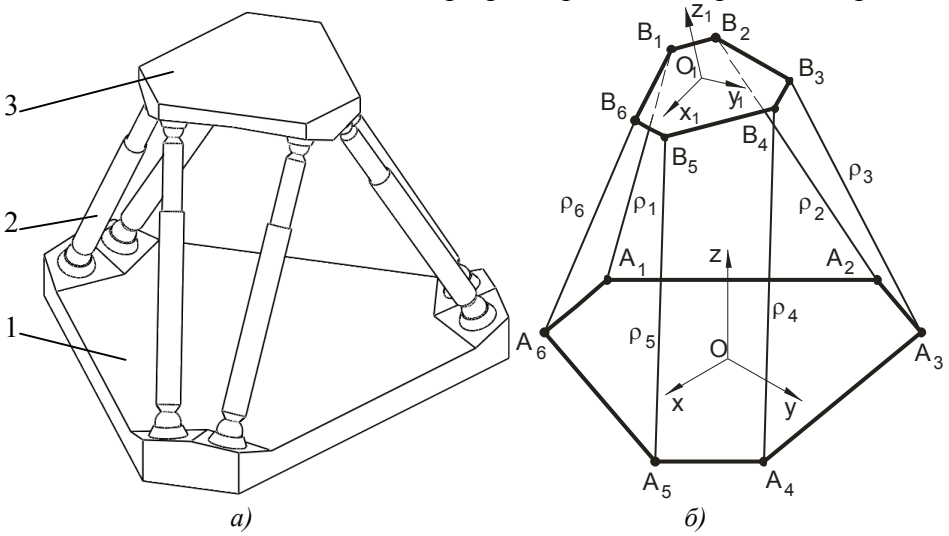
Кінематичні та геометричні залежності гексапода розглянуті у багатьох роботах, зокрема, [1, 2]. Дослідженням робочого простору верстатів з паралельною кінематикою присвячені роботи [2, 3], в яких розглядається геометричне обмеження робочого простору діапазоном зміни довжини ланок, проте, не враховано обмеження рухових можливостей робочого органа допустимими кутами повороту шарнірних опор.

Мета статті

Метою даної роботи є визначення впливу діапазону кутів повороту шарнірних опор на робочий простір верстата-гексапода з штангами змінної довжини для розробки рекомендацій з вибору шарнірних опор.

Виклад основного матеріалу

Гексапод або платформа Стюарта (рис. 1, а) складається з основи 1, до якої за допомогою шести штанг змінної довжини 2 шарнірно приєднаний робочий орган 3.



а) *б)*

1 – основа, 2 – ланка змінної довжини, 3 – робочий орган

Рис. 1. Гексапод: а) конструкція; б) розрахункова схема

Геометричні обмеження робочого простору включають обмеження діапазоном зміни довжини ланок (штанг) гексапода

$$\rho_{\min} \le \rho_i \le \rho_{\max} \tag{1}$$

де $\rho_{\min}, \rho_{\max}$ – мінімальна та максимальна довжина штанги, і допустимими кутами повороту шарнірних опор основи

$$\alpha_{Ai} \le \alpha_{A\max} \tag{2}$$

та рухомої платформи

$$\alpha_{Bi} \le \alpha_{B\max}, \tag{3}$$

де α_{Ai}, α_{Bi} – поточні кути відхилення; $\alpha_{A\max}$, $\alpha_{B\max}$ – допустимі кути відхилення опор основи та рухомої платформи відповідно.

Довжина ланок гексапода визначається з геометричних співвідношень

$$\rho_i = \left|\overline{A_i B_i}\right| = \left|\mathbf{rb}_i - \mathbf{ra}_i\right|, \tag{4}$$

де $\mathbf{rb}_i$ та $\mathbf{ra}_i$ – радіус-вектори центрів шарнірів рухомої платформи та основи в системі координат основи (рис. 1, б).

Вектори шарнірів рухомої платформи B_i в системі координат основи визначаються з рівняння

$$\mathbf{rb}_i = R\,\mathbf{r}_i + \mathbf{r}_0, \tag{5}$$

де $\mathbf{r}_i$ – радіус-вектор центра шарніра рухомої платформи в системі координат рухомої платформи; $\mathbf{r}_0$ – радіус-вектор початку координат рухомої платформи в системі координат основи, R – матриця повороту, що встановлює зв'язок вектора в рухомій системі координат з цим самим вектором в нерухомій системі. Кутам Крилова відповідає матриця повороту

$$R_K = \begin{pmatrix} \cos\vartheta\cos\varphi & -\cos\vartheta\sin\varphi & \sin\vartheta \\ \cos\psi\sin\varphi + \sin\psi\cos\varphi\sin\vartheta & \cos\psi\cos\varphi - \sin\psi\sin\varphi\sin\vartheta & -\sin\psi\cos\vartheta \\ \sin\psi\sin\varphi - \cos\psi\cos\varphi\sin\vartheta & \sin\psi\cos\varphi + \cos\psi\sin\varphi\sin\vartheta & \cos\psi\cos\vartheta \end{pmatrix}. \tag{6}$$

Одиничний вектор штанги в абсолютній системі координат з початком координат у точці O дорівнює

$$\mathbf{n}_i = \frac{\overline{A_i B_i}}{\rho_i}. \tag{7}$$

Тоді умова обмеження робочого простору для сферичних опор визначається наступним чином

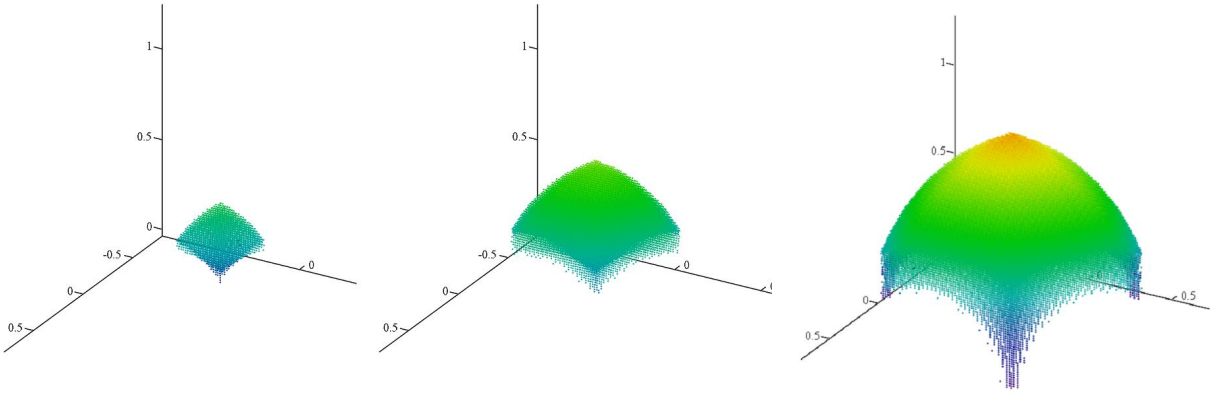
$$\arccos\left(\frac{\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_{oi}}{\left|\mathbf{n}_i\right| \cdot \left|\mathbf{n}_{oi}\right|}\right) \le \alpha_{\max}, \tag{8}$$

де $\mathbf{n}_i$, $\mathbf{n}_{oi}$ – одиничні вектори штанги та осі опори відповідно; $\alpha_{\max}$ – максимально допустимий кут відхилення опори від осі.

Для визначення належності заданої точки до робочого простору необхідно обчислити довжину ланок та кути відхилення шарнірних опор при розміщенні робочого органа у цій точці. У випадку, якщо довжина ланок та кути відхилення осей шарнірів не виходять за межі допустимих інтервалів, точка належить робочому простору. Таким чином, для визначення робочого простору необхідно перевірити на належність до робочого простору усі точки уявного просторового паралелепіпеда або кулі, границі яких напевно повинні бути більшими від робочого простору. Для визначення робочого простору можна скористатися програмою у середовищі Mathcad або Matlab.

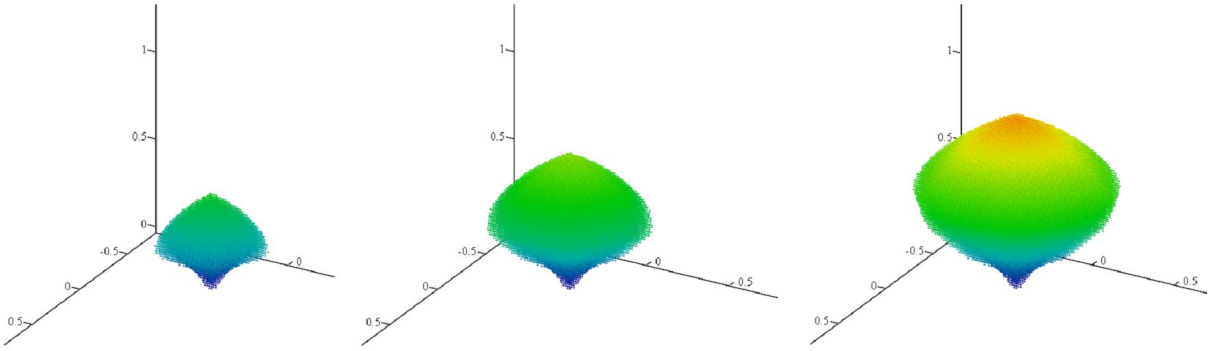
Зокрема, за допомогою розробленого чисельного дискретного методу визначено робочий простір гексапода з діаметром рухомої платформи 0,35 м, діаметром основи 1 м, мінімальною довжиною ланок 0,4 м. Форма робочого простору в залежності від діапа-

зону зміни довжини ланок без врахування обмежень повороту шарнірів показана на рис. 2, з врахуванням обмежень у шарнірах – на рис. 3.



а) б) в)

Рис. 2. Робочий простір без врахування обмежень повороту шарнірів при максимальній довжині штанг: а) 0,8 м; б) 1 м; в) 1,2 м



а) б) в)

Рис. 3. Робочий простір з врахуванням обмежень повороту шарнірів при максимальній довжині штанг: а) 0,8 м; б) 1 м; в) 1,2 м

Порівняння форми та характеру розміщення робочого простору у наведених випадках дозволяє зробити висновок, що обмеження кутів повороту осей шарнірів зменшує габарити робочого простору, унеможливлюючи великі відхилення робочого органа від центрального положення.

Форма робочого простору змінюється в залежності від кута нахилу осі робочого органа по відношенню до осі симетрії гексапода, як показано на рис. 4, а – для діапазону кутів повороту шарнірів рухомої платформи 90º, на рис. 4, б – для діапазону кутів повороту шарнірів рухомої платформи 60º. Із збільшенням нахилу осі робочого органа об'єм робочого простору зменшується, форма його стає зрізаною з боку, протилежного напрямку нахилу осі робочого органа.

Зменшення допустимого кута повороту шарнірів рухомої платформи веде до значного обмеження робочого простору (рис. 5, а). Для з'ясування впливу діапазону кутів повороту шарнірів розглянемо залежність об'єму робочого простору від діапазонів кутів повороту шарнірів рухомої платформи для різних кутів нахилу робочого органа відносно осі симетрії гексапода (рис. 5, б). Максимальний об'єм робочого простору спостерігається при діапазоні кутів повороту шарнірів 90º, а при 30º робочий простір стає майже нульовим. При повороті осі робочого органа відносно осі симетрії гексапода робочий простір ще значно зменшується.

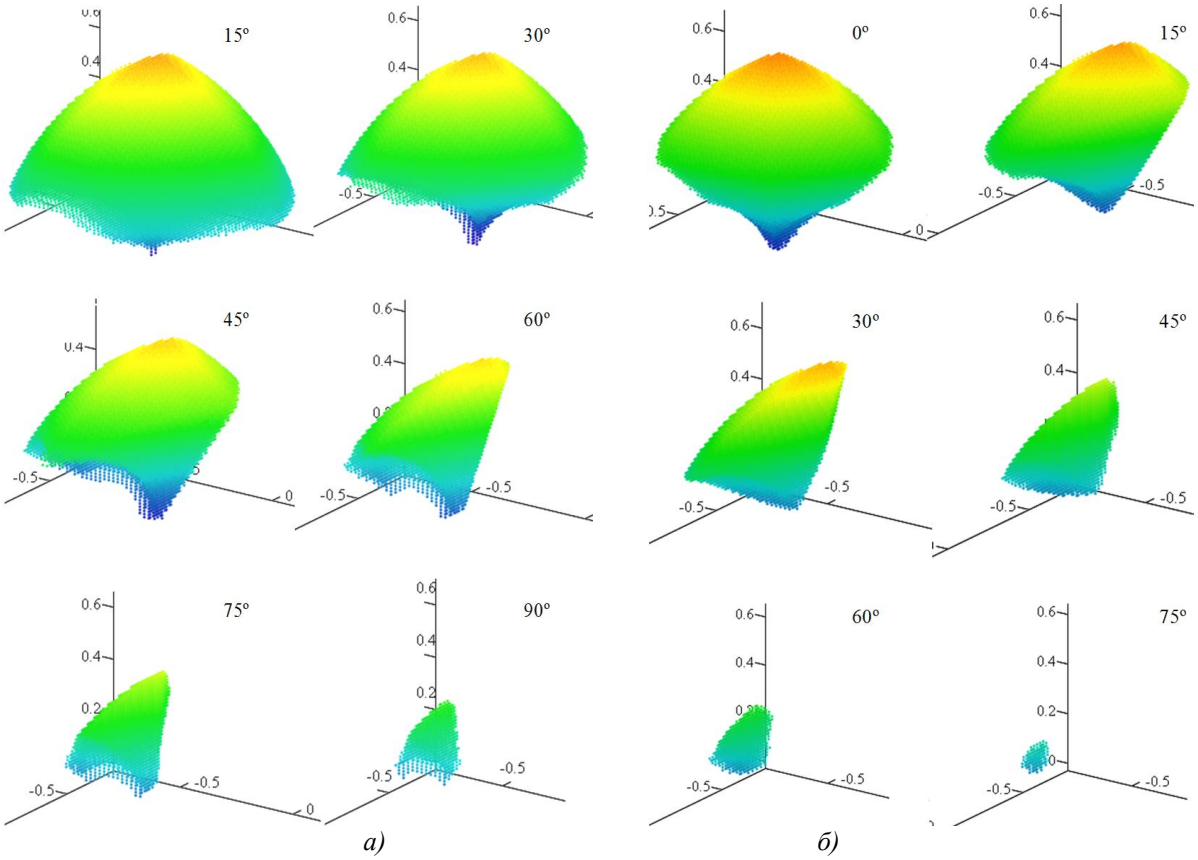


Рис. 4. Робочий простір в залежності від допустимого відхилення шарнірних опор рухомої платформи: а) 90°; б) 60°

Таким чином, діапазон кутів повороту шарнірних опор рухомої платформи здійснює вирішальний вплив на об'єм робочого простору, що вимагає застосування шарнірних опор з можливістю відхилення від осі щонайменше 60º. Таким вимогам відповідають в основному карданні опори, а використання сферичних опор невиправдано зменшить робочий простір.

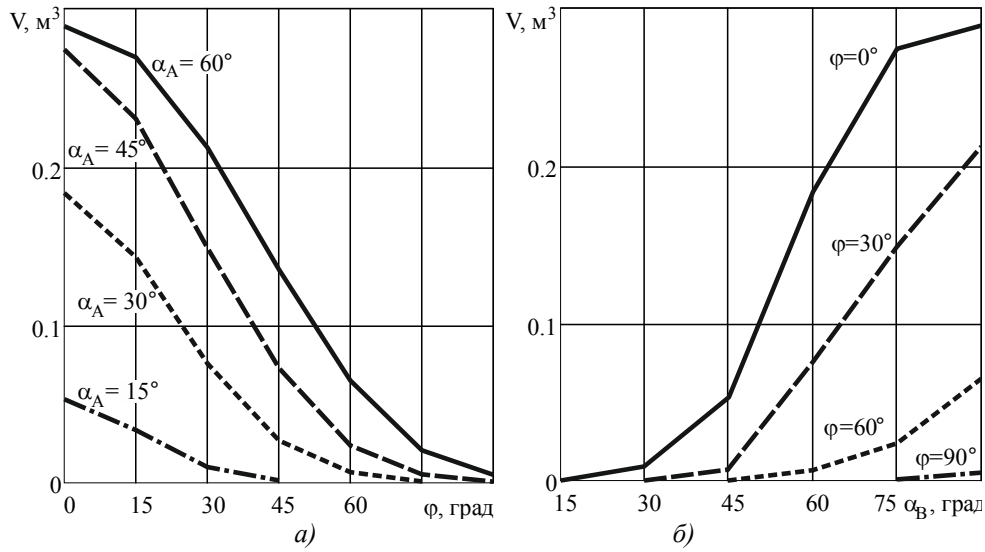


Рис. 5. Залежність об'єму робочого простору: а) від орієнтації робочого органа; б) від діапазону кутів повороту шарнірів рухомої платформи

Залежність об'єму робочого простору від допустимого відхилення шарнірних опор основи для різних кутів нахилу осі робочого органа показана на рис. 6. Збільшення кута повороту шарнірів понад 45º не призводить до істотного зростання об'єму робочого простору.

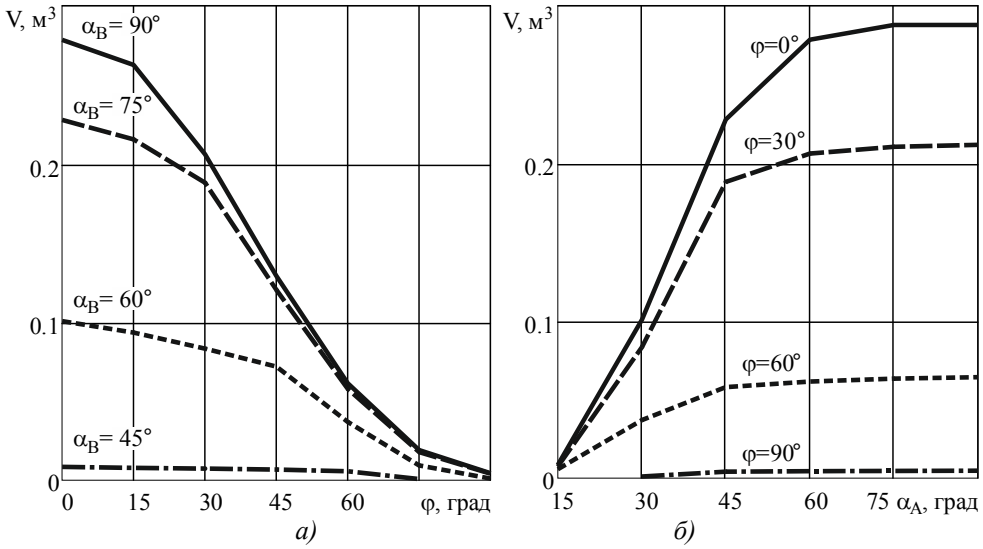


Рис. 6. Залежність об'єму робочого простору від: а) нахилу осі робочого органа; б) допустимого відхилення шарнірних опор основи

Висновки

Визначені математичні умови обмеження робочого простору та розроблено алгоритм чисельного дискретного визначення робочого простору гексапода з врахуванням довжини ланок та кутів повороту в опорних шарнірах. Встановлено, що окрім діапазону зміни довжини штанг, вирішальний вплив на форму та об'єм робочого простору здійснюють допустимі діапазони кутів повороту шарнірних опор.

Встановлено, що робочий простір зростає із збільшенням діапазону зміни довжини штанг та зменшується із зменшенням діапазону кутів повороту шарнірів рухомої платформи та основи, що особливо проявляється при нахилі осі робочого органа відносно осі симетрії.

Максимальні вимоги по діапазону повороту ставляться до шарнірів рухомої платформи, які визначають орієнтувальні можливості робочого органа. Шарнірні опори робочого органа повинні забезпечувати кут відхилення від 60º і більше, а шарнірні опори основи – близько 45º.

Список літературних джерел

1. Merlet J.-P. Parallel Robots / J.-P. Merlet. – Springer-Verlag New York Inc., 2006. – 394 p.

2. Кириченко А.М. Дослідження робочого простору верстатів-гексаподів / А.М. Кириченко, І.А. Валявський // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – Житомир, 2008. – Вип. 3(46). – С. 10-15.

3. Павленко І.І. Оцінка рухових можливостей гексапода у напрямку, перпендикулярному до осі його симетрії / І.І. Павленко, І.А. Валявський // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 3-10.

УДК 004.896

С. В. Бойко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

С. С. Міхнєв, аспірант

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА УПРАВЛЯЮЧА СИСТЕМА МОБІЛЬНОГО РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМЛЕКСУ

Розглянуто структуру інтелектуальної системи управління мобільного робототехнічного комплексу. Наведено формальний опис вхідних даних для синтезу системи. Запропоновано використання «anytime»-алгоритмів для розглянутої системи

Постановка проблеми

Сучасний рівень розвитку технологічних робототехнічних комплексів передбачає впровадження інтелектуальних технологій в системи управління складними технічними комплексами. Це дає можливість частково компенсувати в системах управління вплив багатокритеріальності, суперечливості вимог та неоднозначності оцінки ситуацій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх досліджень показує можливість використання в інтелектуальних системах управління «гібридних» систем що базуються на методах «м'яких» обчислень, експертних систем або систем продукційного виводу [1,2]. Системи побудовані на методах «м'яких» обчислень, наприклад, з використанням нечіткої логіки, нейромережевих технологій, генетичних алгоритмів або комбінацій таких підходів, в більшій мірі відповідають вимогам автономності та передбачають мінімальний вплив людини-оператора на етапі налаштування системи і в процесі виконання нею робочих завдань.

Постановка завдання

Метою роботи є формалізація та розробка структури інтелектуальної системи управління мобільним робототехнічним комплексом, який може вирішувати задачу знаходження оптимального маршруту в апріорі невизначеному ландшафті.

Основний матеріал досліджень

У загальному випадку для вирішення поставленого завдання необхідно визначити наступні елементи: опис території, її докладну карту; опис конфігурації та специфікації перешкод; опис мобільного робототехнічного комплексу (МРК); опис можливих дій МРК.

Формально це представляється у вигляді системи вектор-функцій:

$$\begin{cases} S(t) = \langle s_1, s_2, ..., s_n \rangle \\ E(t) = \langle e_1, e_2, ..., e_m \rangle \\ C = \langle S, E \rangle \\ A(t) = \langle a_1, a_2, ..., a_k \rangle \end{cases}, \quad (1)$$

де $S(t)$ – вектор-функція, що характеризує стан МРК; $E(t)$ – вектор-функція, що характеризує стан середовища, в якому функціонує МРК; C – множина можливих ситуацій, яка містить кортежі виду $\langle S, E \rangle$ у вигляді точок $(n+m)$-мірного простору ситуацій; $A(t)$

– вектор-функція, що характеризує припустимий набір дій МРК. Дані дії можуть змінювати як стан МРК, так і стан навколишнього середовища E.

У загальному випадку зміни станів МРК і середовища мають безперервний характер і визначаються системою диференціальних рівнянь виду

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = f(A,C) \\ \dfrac{dE}{dt} = f^*(A,C) \end{cases}, \tag{2}$$

При цьому множина різних дій, які може виконувати МРК, описуються точками k-мірного простору A. У просторі ситуацій C є система обмежень α, яка описує множину заборонених і дозволених станів і в просторі A є система обмежень на простір дій МРК β:

$$\begin{cases} \alpha(C) \le 0 \\ \beta(A,C) \le 0 \end{cases}, \tag{3}$$

Завдання планування дій МРК полягає у визначенні такої вектор-функції дій $A(t)$ на інтервалі часу $[t_0,t_k]$, задовольняє зв'язкам (2) і обмеженням (3). В результаті виконання цієї дії досягається екстремум функціонала

$$Y = F(A,C), \tag{4}$$

де F – функціонал, який задає мету функціонування МРК в середовищі. Структура інтелектуальної системи управління представлена на рис. 1.

Рис. 1. Структура інтелектуальної системи управління мобільним робототехнічним комплексом

Оскільки в середовищі діють сили, які не залежать від МРК і вектор-функції $S(t)$, $E(t)$ можуть змінюватися непередбачуваним чином, то планування дій доцільно здійснювати за принципом зворотних зв'язків, коли в поточний момент часу t_0 визначаються тільки поточні дії $A(t)$ робота, спрямовані на оптимальне досягнення мети, виходячи з поточної ситуації. Після відпрацювання обраних дій процедура перепланування повторюється заново. При реалізації такого підходу розв'язання задачі планування поточних дій МРК повинно здійснюватися за значно менший час, ніж час зміни станів МР і середовища.

«Пристрій прийняття рішення» на кожному циклі управління здійснює мінімізацію функціонала Y. Мінімізація здійснюється шляхом вибору найбільш підходящої дії з «Бази дій». Обрана дія реалізується «Системою управління », а стан МРК передається в «Пристрій прийняття рішення» як вхідні дані для наступної ітерації. Таким чином процес перепланування супроводжується побудовою дерев рішень, в яких неможливо заздалегідь визначити глибину обходу. Глобальна траєкторія переміщення МРК формується з локальних ділянок. Досягнення контрольної точки локальної ділянки можна розглядати як підцілі. В цьому випадку необхідно вирішити задачу оптимального планування маршрутів руху при великій множині підцілей і наявності обмежень на рух.

При досить великій кількості підцілей виникає задача знаходження раціонального порядку обходу (маршруту) за наявності фізичних обмежень. У завдання системи управління входить планування та перепланування маршрутів (командних стратегій).

Перепланування потрібно при будь-якій суттєвій зміні у зовнішньому середовищі та внутрішньому стані МРК. Причиною перепланування можуть послужити: зміна пріоритетів цілей; додавання нових цілей і відмова від старих; поява непередбачених перешкод.

Комбінаторний характер росту дерев рішень у процесі перепланування не дозволяє використовувати для вирішення таких завдань суворі алгоритмічні методи і моделі теорії прийняття рішень.

Існує клас алгоритмів, які здатні бути перерваними в будь-який необхідний момент часу, повертаючи кращий знайдений на поточний момент результат і деяку величину, що характеризує якість цього результату. Іншою рисою цього класу алгоритмів є їх здатність оцінювати якість результату на основі часу виконання обчислень. Такі алгоритми називаються «anytime»-алгоритмами (квазіоптимальні алгоритми реального часу або «гнучкі» алгоритми) [3].

Алгоритми типу «anytime» застосовуються при умові, коли наближене рішення, яке може бути знайдено за значно коротший час в порівнянні з будь-яким з точних алгоритмів.

Більшість з «anytime»-алгоритмів формально можна представити в наступному вигляді:

$$A_{anytime} = \langle f(x), Q(x), P_P(Q,t) \rangle, \quad (5)$$

де $f(x)$ – функція ітераційного поліпшення результату x; $Q(x)$ – функція якості отриманого результату;$P_P(Q,t)$ – профіль продуктивності, тобто функція очікуваної якості рішення від часу його пошуку. Профіль продуктивності – найважливіший компонент Anytime-алгоритму, який використовується для визначення найбільш ефективної кількості часу, необхідного для роботи алгоритму.

Даний клас алгоритмів є найбільш універсальним, що дозволяє поєднувати в собі переваги суворих і евристичних методів та володіє рядом цінних властивостей для задач реального часу. Тому доцільно, щоб перепланування відбувалося саме за ітераційним алгоритмом типу «anytime», який забезпечує в будь-який момент зупинку обчислень та прийнятне рішення (наприклад, за критеріями найбільшого сумарного пріоритету цілей і найменших енерговитрат МРК).

Множина цілей, їх пріоритети та енергетичні витрати необхідні на подолання відстаней між ними, задають повний зважений граф, асоційований з ландшафтом місцевості, рельєф якої можна оцінити за допомогою нечітких оцінок. Оптимальний маршрут МРК, з урахуванням апріорної невизначеності дестабілізуючих факторів середовища, пропонується знаходити за допомогою генетичного алгоритму.

Висновки

Запропоновано використовувати гібридний підхід на базі генетичного алгоритму та нечітких множин з плануванням його дій на базі «anytime» алгоритму для синтезу інтелектуальної системи управління МРК в умовах невизначеності.

Список літературних джерел

1. Киселев Л.В. Ситуационное управление группировкой автономных подводных роботов на основе генетических алгоритмов / Л.В. Киселев, А.В. Инзарцев // Подводные исследования и робототехника. – 2010.-№ 2.-С. 34-43.
2. Рутковская Д., Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы/ Рутковская Д., Пилинський М., Рутковский Л. – М: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
3. Horsch M. C. An anytime algorithm for decision making under uncertainty / M. C. Horsch, D. Poole.//Proceedings of the Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence.- 1998.- P. 246-255.

УДК 531.7

О.І. Осмоловський, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

П.Л. Ігнатенко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ РУХУ ВИКОНУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Запропоновано нові підходи до організації керування виконуючими елементами спеціалізованих робототехнічних систем, які дозволили одержати покращені динамічні та енергетичні показники процесу відтворення складного просторового руху. Проведені аналітичні дослідження варіантів реалізації систем керування двигунами постійного струму.

Вступ

Сучасні робототехнічні системи оснащені різноманітними виконуючими елементами та механізмами, призначеними для забезпечення просторових рухів як спеціалізованого інструмента, так і самого об'єкта маніпулювання. В ряді випадків до систем керування рухом пред'являються надзвичайно високі вимоги з точності відтворення просторового руху, наприклад в медицині, мікроелектроніці, інше. Досягнути позитивних результатів вдається завдяки мінімізації габаритів, підвищенню динамічних характеристик, енергетичної ефективності створюваних систем.

Постановка проблеми

Шляхи розв'язання даної задачі розробляються вже давно [1, 2], але можливості відшукання нових рішень з підвищення точності руху виконуючих елементів робототехнічних систем далеко не вичерпані. Виконання вимог з компактності, точності та економічності визначає вибір способу керування електричними двигунами на користь широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) напруги живлення. Обираючи частоту управління $f > 1/2\pi T_e = r/2\pi L$, де r – активний опір обмотки, L – індуктивність, $T_e = L/r$ – електромагнітна постійна часу обмотки, можна одержати той же самий результат у формуванні струму, що й при неперервному управлінні. Скорочуються втрати енергії в силовій електронній частині, яка працює в ключовому режимі.

Методи і результати

Розглянемо кілька підходів до організації ШІМ-управління.

1. Управління знакозмінною напругою, що набуває форми меандру в нейтральному стані. Частота обирається достатньо високою з умови $f >> r/2\pi L$.

2. У нейтральному стані обмотка двигуна закорочена, при появі команди до обмотки прикладається напруга відповідної полярності на час, пропорційний величині команди. В порівнянні з попереднім режим є більш прийнятним для двигуна з погляду електричних і теплових перевантажень, допускає зменшення частоти ШІМ навіть нижче $1/T_e$.

Обидва режими характеризуються збереженням початкової постійної часу формування струму завдяки безперервно підключеній обмотці до джерела з низьким імпедансом. Результуючий струм в черговому такті ШІМ є величиною інтегральною, залежною від передісторії в попередніх тактах. Пульсації струму відіграють позитивну роль в подоланні сухого тертя в підшипниках і редукторі. Обидва варіанти є лінійними системами: середній струм встановлюється пропорційно керуючому сигналу автоматично.

3. Наступний режим не є типовим при побудові ШІМ-управління двигунами. В циклі живлення двигуна формується вимушена пауза для переведення обмотки в стан холостого ходу (ХХ) з метою вимірювання ЕРС обертання, пропорційної фактичній швидко-

сті двигуна. Тепер період ШІМ повинен перевищувати постійну часу обмотки, оскільки гарантоване припинення струму в обмотці від початку блокування може відбуватися тільки по закінченні часового проміжку, співрозмірного з T_e. Більша частина періоду ШІМ відводиться для формування струму в обмотці, завдяки чому забезпечується можливість досягнення пускового струму. Але, кожного разу, перериваючи струм на час блокування, ми втрачаємо передісторію струму в попередніх періодах. Тому середній струм і середній момент на валу не будуть пропорційними простому середньому значенню керуючого ШІМ-сигналу, а визначатимуться нелінійним характером процесу зростання струму на початковій ділянці періоду, порівняній з T_e.

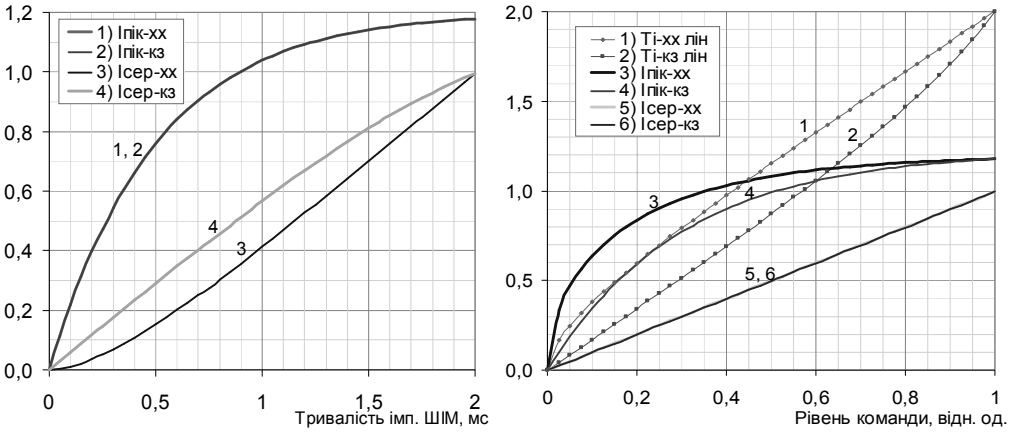
Розглянемо два варіанти реалізації 3-го режиму. В першому – в робочій частині періоду ШІМ формується ділянка підключення джерела до двигуна тривалістю, пропорційною керуючій команді, після чого слідує коротке замикання (КЗ) аж до початку примусового блокування. При малих командах на ділянці зростання досягається струм, пропорційний ширині імпульсу, який далі зменшується за експонентою на ділянці КЗ. При збільшенні команди експоненціальна ділянка стикається з ділянкою блокування, внаслідок чого утворюється небажаний злам модуляційної характеристики. Проте, при малих командах середній струм і обертаючий момент пропорційні керуючій команді.

В іншому варіанті режим КЗ відсутній повністю. Друга ділянка циклу замінюється ХХ, що позначається на лінійності модуляційної характеристики. Тепер при малих командах закон зміни струму набуває симетричної трикутної форми з короткими ділянками зростання і спадання струму. Середній струм стає пропорційним квадрату ширини імпульсів, а значить і квадрату керуючої команди. Для лінеаризації модуляційної характеристики потрібне формування параболічного закону управління шириною імпульсів, що і реалізується в запропонованій системі.

За умови узгодженої лінеаризації характеристики при малих командах в обмотці формується струм у вигляді імпульсів, набагато коротших в порівнянні з більш тривалими експоненціальними імпульсами з таким же середнім значенням. Пульсації моменту з максимально збільшеною амплітудою дають найбільший ефект в подоланні сухого тертя, що підвищує плавність ходу та динамічну точність руху виконуючого елементу. Позитивним в алгоритмі ШІМ з перериванням струмів є й те, що у цьому випадку спостерігається незалежність струмової картини поточного такту від попереднього, що забезпечує автоматичну компенсацію постійної часу струмового контура.

Другий варіант модулятора нечутливий до поточної швидкості обертання валу, що свідчить про збільшення астатизму системи на один порядок. У цьому режимі забезпечується й більш щадний тепловий режим роботи двигуна.

На діаграмі рис. 1, *а* показані результати розрахунку залежності середнього і пікового значень струмів в обмотці двигуна від ширини імпульсів ШІМ для обох варіантів реалізації модулятора. Залежність середнього струму для варіанту з КЗ лінійна практично до максимальних значень управляючої команди. Характеристика варіанту з ХХ містить параболічну ділянку при малих тривалостях імпульсу ШІМ. Зробити висновок про модуляційні властивості варіантів дозволяє представлення тієї ж моделі в інших координатах (рис. 1, *б*). Обидві характеристики лінеаризовано відносно управляючої команди, а кривими 1 і 2 показано, як повинна змінюватися ширина імпульсів для здійснення такої лінеаризації.



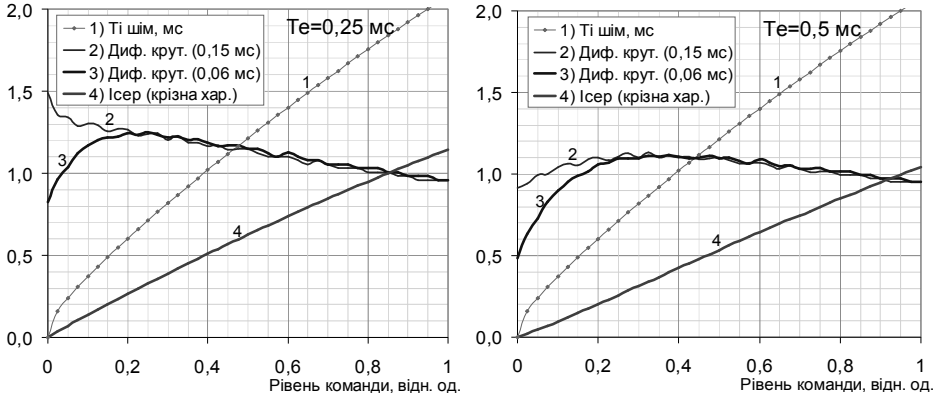
а) *б*)

Рис 1. Залежність середнього та пікового значень струму від ширини імпульсів ШІМ (а) і відносного рівня команди (б)

Тепер криві 3 та 4 для пікового значення струмів розійшлися і дають наочне уявлення про переваги останнього варіанту в забезпеченні більшого пікового струму при одному і тому ж середньому. Ця відмінність найкращим чином виявляється в області малих сигналів, де формування значних пікових обертальних моментів особливо важливе для подолання тертя. Виконуючи оцінку співвідношень імпульсного і середнього моментів при різних способах управління в умовах тертя на рівні 0,1 від пускового моменту, одержимо, що для подолання сил тертя при живленні постійним струмом знадобиться команда в 10% від максимальної, для варіанту ШІМ з КЗ – 2,5%, а для ШІМ з ХХ цей показник буде зменшено до 0,2%.

Відзначимо, що режим з ХХ енергетично вигідніший при великих швидкостях (відсутнє гальмування, момент створюється тільки за необхідності корекції швидкості). А успішне подолання шкідливого впливу сухого тертя при малих швидкостях підвищує динамічну точність руху виконуючого елементу.

На діаграмах рис. 2 представлено результат параметричної лінеаризації крізної модуляційної характеристики приводу з ШІМ з ХХ для двох різних значень постійної часу T_e та різних параметрів компенсатора. Нестабільність крізної диференціальної крутизни не перевищує ±10% від її середнього значення, інтегральна ж крутизна (відношення середнього обертаючого моменту до значення керуючої команди) виявляється ще більш постійною в усьому діапазоні команд.



а) *б*)

Рис.2. Крізна модуляційна характеристика лінеаризованих модуляторів для різних значень електромагнітної постійної часу T_e

Висновки

Зазначеними підходами не вичерпуються можливості підвищення точності відтворення просторового руху виконуючих елементів робототехнічних систем, у тому рахунку і з приводами на основі ШІМ. Предметом подальших досліджень може бути пошук способів адаптивного подолання впливу тертя та змінних навантажень за рахунок розробки нових більш ефективних алгоритмів.

Список літературних джерел

1. Тимофеев А. В. Адаптивные роботехнические комплексы. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988. – 332 с.
2. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.

УДК 621.822. 3

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

ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИЙ ЗНОС ДЕТАЛЕЙ І СПРЯЖЕНЬ МАШИН

Наведено методологію визначення гранично допустимих зносів деталей і спряжень машин розрахунково-аналітичним методом. Використання методу показано на прикладі визначення гранично допустимого зносу мастилознімального кільця двигуна СМД-14

Вступ

Знання гранично допустимих зносів (ГДЗ) деталей і спряжень машин необхідні: у процесі конструювання і виготовлення машин для визначення їх технічного ресурсу, зносостійкості і рівнозносостійкості деталей; у процесі експлуатації – для оцінки технічного стану і доцільності проведення ремонтів; при ремонтах – для обґрунтованої вибраковки зношених деталей. Отже, визначення гранично допустимого зносу елементів машин є важливою проблемою промислово-господарського комплексу.

Розглянемо машину як об'єкт, здатний виконувати роботу, створювати або переробляти продукцію завдяки руху її елементів. Рух елементів машини супроводжується їх вза'ємним тертям і зношуванням і, в підсумку, зміною функціональних показників трибоспряжнь машини.

Величини зносу деталей і спряжень машин називають гранично допустимими, якщо подальша їх робота технологічно неможлива або економічно недоцільна.

Граничний термін експлуатації машини

Його визначення можливо для ідеальної машини з рівнозносостійкими елементами (рисунок 1).

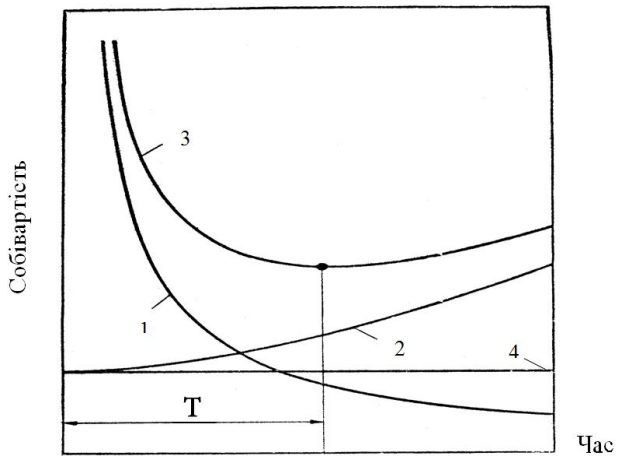


Рис. 1. Собівартість витрат при використанні машини

На рисунку 1 позначено: 1 – капітальні вкладення (купівля машини); 2 – поточні витрати (вартість паливо-мастильних матеріалів, запчастин, поточних ремонтів тощо); 3 – інтегральну криву собівартості продукції; 4 – експлуатаційні витрати для нової машини; *T* – доцільний термін експлуатації машини.

Зноси деталей і спряжень машини у даному випадку можуть бути визначені шляхом їх замірів при досягненні *T*. Такі значення зносів не будуть гранично допустимими для вибракованих елементів, оскільки зносостійкість деталей і спряжень, як правило, не є однаковою: машину з рівнозносостійкими елементами створити практично неможливо. Отже, можна говорити не про ГДЗ машини (відсутні і відповідні показники для машини), а про гранично допустимий термін її експлуатації. Практично визначають середнє

значення T або його розсіювання, використовуючи статистичні дані капітальних і поточних витрат при експлуатації парку машин.

Інколи допустимі терміни експлуатації машин оцінюють суб'єктивно за технологічними показниками (наприклад, зниження потужності, зростання витрат палива або вібрацій двигуна тощо). Такі показники характеризують спрацювання або (частіше) розрегулювання окремих (або декількох) систем і трибоспряжень машини (потужність, витрати пального – форсунки, паливний насос, кут впорскування, наявність води в паливі, знос деталей циліндро-поршневої групи тощо). Їх значення є необхідним але недостатнім і необ'єктивним критерієм гранично допустимого зносу елементів машини.

Отже, розглядаючи машину в цілому, можна говорити лише про допустимі, з економічних міркувань, терміни її експлуатації.

Поняття «гранично допустимі зноси» стосується лише деталей і спряжень машини.

ГДЗ деталей і спряжень машини

Допустимі погіршення показників роботи машини служать критеріями гранично допустимого зносу тих трибоспряжень, від зносу яких змінюються відповідні показники машини.

Процес зміни деякого параметра X з певною швидкістю γ_x є випадковою величиною і залежить від зміни пошкоджень окремих елементів, переважно – зносу.

Відмова виникає при досягненні «…параметром своего предельно допустимого значения X_{max}, что произойдет через некоторый случайный промежуток времени работы изделия» [1, с 37].

На рисунку 2 наведено схему формування поступової відмови машини в результаті зносу її елементів, з якої видно, що досягнення детермінованого значення $X_{\max}$ може наступати через різні проміжки зношування елементів машини [1]. При цьому , гранично допустимому значенню функціонального параметра X_{max} має відповідати гранично допустимий знос елементів або зазор в трибоспряженні.

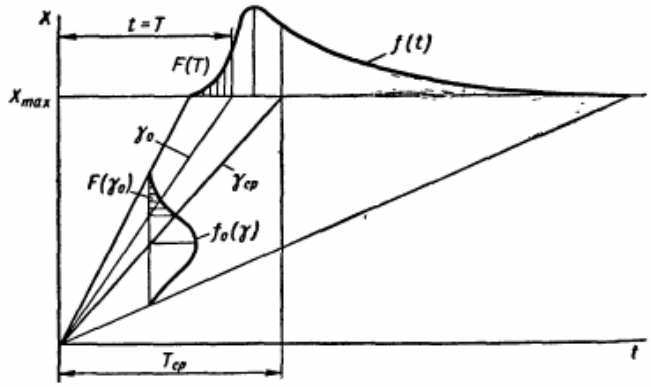


Рис. 2. Схема формування відмови машини в результаті зносу її елементів

Оскільки X_{max} є чітко детермінованою величиною – пряма лінія на рисунку 2, чітко детермінованими мають бути ГДЗ елементів машини.

Стосовно допустимого погіршення функціонального параметра X_{max} проф. Проніков А. С. робить зауваження «…установление нормативов X_{max} является сложной задачей, требующей специального методического подхода. Основная трудность при этом заключается в том, что, как правило, конструктором назначаются допустимые пределы изменения выходных параметров только для машины (мощность,..)…»[1, с. 129].

Наведені фрагменти свідчать про актуальність і складність задачі визначення гранично допустимої зміни функціональних показників і параметрів трибоспряження, нау-

кового обґрунтування технологічних критеріїв, і, пов'язаних з ними, величин ГДЗ елементів і трибоспряженнь машини.

Методи і результати

ГДЗ можуть визначатись наступними способами: збором і аналізом статистичних даних про зноси деталей в експлуатації і при ремонтах машин, спеціальними дослідженнями при зношуванні на стендах, розрахунково-аналітичними методами.

Проведені нами роботи стосовно визначення гранично допустимих зносів деталей і спряжень машин з рухомими елементами [2…18] дозволяють стверджувати наступне.

1.В умовах швидкого оновлення або реконструкції машин, за наявності високого рівня обчислювальної техніки, при значних складностях у зборі і накопиченні статистичних матеріалів про зноси машин визначення гранично допустимих зносів деталей і спряжень машин розрахунково-аналітичними методами не має альтернативи.

2.Особливості методології, яка базується на розрахунково-аналітичних методах: короткотерміновість визначення ГДЗ, висока точність результатів, незначні витрати матеріальних і людських ресурсів. Методи визначення ГДЗ шляхом накопичення статистичних даних про зноси деталей і спряжень машин в експлуатації і при ремонтах або при ресурсних стендових випробуваннях довготермінові, неточні, високозатратні, а в умовах приватного підприємництва – практично нездійсненні.

3.Методологія розрахунково-аналітичного визначення гранично допустимого зносу деталей і спряжень машин має базуватися на залежності функціональних параметрів трибоспряжень і показників роботи машин від величин зносу її рухомих елементів.

4.Залежно від погіршення показників роботи машини і функціональних показників трибоспряжень має бути визначено критерії гранично допустимого зносу її елементів.

5.Необхідна розробка математичних моделей залежності функціональних показників трибоспряжень від величин зносу елементів і систематизація відповідно до їх руху (поступальний, обертальний, плоско паралельний, віброконтактна взаємодія за наявності зазорів у зубчастих і шарнірних парах), що надасть можливість використовувати вказані моделі для широкого класу машин з названими рухами елементів.

6.Необхідне створення інженерних методик, які дозволять визначати достовірні, науково обґрунтовані величини гранично допустимих зносів деталей і спряжень на стадії конструювання і виготовлення машини.

7.Результативний підсумок розрахунково-аналітичних методів – заміна суб'єктивних оцінок технічного стану машин об'єктивними, які базуються на науково обґрунтованих гранично допустимих зносах їх деталей і спряжень.

У нашому випадку об'єктивність значень гранично допустимих зносів деталей і спряжень тракторних двигунів, отриманих розрахунково-аналітичними методами, підтверджена їх узгодженістю з аналогічними значеннями, отриманими під час застосування довготривалих методів накопичення і аналізу статистичних даних, отриманих в експлуатації і при ремонтах машин, а також під час прискорених стендових випробувань ГДЗ в умовах інтенсивного абразивного зношування.

Розглянемо приклад визначення гранично допустимого зносу мастилознімального кільця тракторного дизеля розрахунково-аналітичним методом.

Критерієм гранично допустимого зносу вказаного елемента трибоспряження циліндр-кільце є вигорання картерного мастила при роботі двигуна, величина якого, наприклад, при експлуатації тракторного дизеля з діаметром циліндра 110…130 мм не повинна перевершувати 3% від витрат палива двигуном [8].

Функціональним параметром трибоспряження циліндр-мастилознімальне кільце є середній тиск кільця на стінки циліндра, який у нового дизеля знаходиться в межах $(2.5...3.5)\cdot 10^5$ Па [3,8]. Указаний тиск зрівноважується гідродинамічним тиском масти-

ла, яке проникає через зазор між циліндром і кільцем у надпоршневий простір і там згоряє.

Існує пряма залежність між вигорянням картерного мастила і величиною мінімального зазору між циліндром і мастилознімальним кільцем.

На рисунку 3 наведено розрахункову схему мастилознімального кільця двигуна (b – висоту кільця, δ_0 і δ_1 – відповідно мінімальне й максимальне значення зазору в спряженні циліндр-мастилознімальне кільце, α – кут скручування кільця).

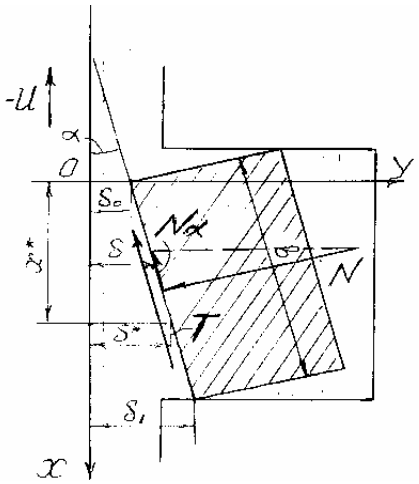


Рис.3. Розрахункова схема для визначення проникнення мастила у спряженні циліндр-мастилознімальне кільце

Оскільки має значення лише відносний рух, у розрахунковій схемі прийнято, що циліндр рухається зі швидкістю – U за відсутності руху кільця.

Мінімальний зазор між мастилознімальним кільцем і циліндром двигуна, середній тиск кільця на стінки циліндра, кут скручування мастилознімального кільця під час роботи двигуна – функціональні параметри вказаного трибоспряження.

При зменшенні тиску кільця на стінки циліндра в результаті зносу кільця мінімальний зазор δ_0 у спряженні циліндр-кільце зростає, що супроводжується збільшеним проникненням мастила у камеру згоряння пропорційно величині зазору і вигорянням картерного мастила.

Отримано формули для визначення: розподілу і середнього тиску мастила по висоті кільця (1), (2), моменту скручування кільця від дії гідродинамічних сил (3), моменту пружних сил, що протидіють скручуванню кільця (4).

$$p(x) = \frac{6\mu U[\alpha x(b-x)]}{(\delta_0 + \alpha x)^2(\delta b + 2\delta_0)} \tag{1}$$

Середній тиск кільця на стінки циліндра визначається за формулою:

$$p = \frac{1}{b}\int_0^b \frac{6\mu U \alpha x(b-x)}{(\delta_0 + \alpha x)^2(\alpha b + 2\delta_0)}dx \tag{2}$$

$$M(x) = \frac{-3\mu U}{\alpha^3(2\delta_0 + \alpha b)(\delta_0 + \alpha x)} \times \left[\begin{array}{l}(\delta_0 + \alpha x)[\alpha^2 x^2 - 2\alpha x(2\delta_0 + \alpha b) + \\ + 2\delta_0(3\delta_0 + 2\alpha b)\ln(\delta_0 + \alpha x)] + 2\delta_0^2(\delta_0 + \alpha b)\end{array}\right] \tag{3}$$

$$M(\alpha) = Eb\left[\frac{\alpha^3}{2}\left[\frac{(D-t)^2}{4}\ln\left(\frac{D}{D-2t}\right) - \frac{(D-t)t}{2}\right] + \frac{b^2\alpha}{12}\ln\left(\frac{D}{D-2t}\right)\right]. \tag{4}$$

Рівновага між моментами гідродинамічних і пружних сил у процесі роботи двигуна має місце при будь-яких величинах зносу спряження циліндр-мастилознімальне кільце. У зв'язку з цим запропоновано функцію для визначення кута скручування кільця і мінімального зазору між кільцем і циліндром:

$$F(\alpha)=\frac{\int_0^b \frac{6\mu U\alpha x(b-x)x}{(\delta_0+\alpha x)^2(\alpha b+2\delta_0)}dx}{Eb\left[\frac{\alpha^3}{2}\left[\frac{(D-t)^2}{4}\ln\left(\frac{D}{D-2t}\right)-\frac{(D-t)t}{2}\right]+\frac{b^2\alpha}{12}\ln\left(\frac{D}{D-2t}\right)\right]}. \quad (5)$$

Функція $F(\alpha)$, у чисельнику якої момент скручування кільця від дії гідродинамічних сил, а в знаменнику – протидіючий йому момент від пружних сил дозволяє визначити кут α за умови: $F(\alpha)=1$.

Алгоритм визначення кута α для мастилознімального кільця двигуна СМД-14 наведено на рисунку 4 (одиниці виміру показників і параметрів – в системі СІ).

$D := 11\cdot10^{-2}$ $E := 1\cdot10^{11}$ $b := 3\cdot10^{-3}$ $U := 7.93$ $\mu := 0.015$ $\delta_0 := 5\cdot10^{-6}$

$N := 10$ $i := 0..N$ $\alpha_i := 0.02 + 0.002i$ $N1 := 8$ $j := 0..N1$

$t_j := 4.5\cdot10^{-3} + 0.1\cdot10^{-3}\cdot j$

$$F(\alpha,t) := \frac{\int_0^b \frac{6\cdot\mu\cdot U\cdot\alpha\cdot x\cdot(b-x)\cdot x}{(\delta_0+\alpha\cdot x)^2\cdot(\alpha\cdot b+2\cdot\delta_0)}dx}{E\cdot b\cdot\left[\frac{\alpha^3}{2}\cdot\left[\frac{(D-t)^2}{4}\cdot\ln\left(\frac{D}{D-2\cdot t}\right)-\frac{(D-t)\cdot t}{2}\right]+\frac{b^2\cdot\alpha}{12}\cdot\ln\left(\frac{D}{D-2\cdot t}\right)\right]}$$

$F_{i,j} := F(\alpha_i, t_j)$

$F =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	3.212	3.139	3.07	3.003	2.938	2.877	2.818	2.761	2.706
1	2.541	2.483	2.428	2.375	2.324	2.275	2.228	2.183	2.14
2	2.045	1.999	1.954	1.911	1.871	1.831	1.794	1.757	1.722
3	1.671	1.633	1.597	1.562	1.529	1.497	1.466	1.436	1.407
4	1.384	1.352	1.322	1.293	1.266	1.239	1.214	1.189	1.165
5	1.159	1.133	1.108	1.083	1.06	1.038	1.016	0.996	0.976
6	0.981	0.959	0.937	0.917	0.897	0.878	0.86	0.843	0.826
7	0.838	0.818	0.8	0.783	0.766	0.75	0.734	0.719	0.705
8	0.721	0.705	0.689	0.674	0.659	0.645	0.632	0.619	0.607
9	0.625	0.611	0.597	0.584	0.572	0.56	0.548	0.537	0.526
10	0.546	0.533	0.521	0.51	0.499	0.489	0.478	0.469	0.459

Рис. 4. Алгоритм і значення кута скручування α мастило знімального кільця двигуна СМД-14

На рисунку 4 використано наступні вихідні дані: модуль пружності для чавуну $E=1\cdot10^{11}$ Па; діаметр циліндра $D=11\cdot10^{-2}$ м; радіальна товщина кільця $t=5\cdot10^{-3}$ м; висота кільця $b=3\cdot10^{-3}$ м; динамічна в'язкість мастила $\mu=0{,}015$ Н·с/м^2.

У таблиці на рисунку 4 для кожного α_i (i – номер рядка) і t_j (j –номер стовпчика) занесено значення функції $F_{i,j}=F(\alpha_i,t_j)$.

Для нового двигуна при $t = 5 \cdot 10^{-3}$ м ($j = 5$ – п'ятий стовпчик) у таблиці знаходимо найбільш близьке до одиниці значення $F_{5,5} = 1.038$. При цьому $\alpha_5 = 0.002 + 0.002 \cdot 5 = 0.030$ радіан (1.72^0) (розрахунки показують, що при монтажному зазорі між кільцем і канавкою поршня 0.1 мм і радіальній товщині кільця – 5 мм допустимий кут повороту кільця – біля 11^0, що виключає можливість заклинювання його в канавці).

Використовуючи формулу (2), отриманий за допомогою функції (5) кут $\alpha_5 = 0.03$, прийнявши попередньо $\delta_0 = 5 \cdot 10^{-6}$ м, знаходимо величину середнього тиску кільця на стінки циліндра від дії гідродинамічних сил.

Нижче наведено інтегральну функцію, яку також можна використовувати для визначення середнього тиску кільця на стінки циліндра:

$$p(x) := \frac{\delta_0 \cdot (\delta_0 + \alpha \cdot b) - \alpha \cdot x \cdot (\delta_0 + \alpha \cdot x) + (\delta_0 + \alpha \cdot x) \cdot (2 \cdot \delta_0 + \alpha \cdot b) \cdot \ln((\delta_0 + \alpha \cdot x))}{\alpha^2 \cdot (\alpha \cdot b + 2 \cdot \delta_0) \cdot (\delta_0 + \alpha \cdot x)} \cdot 6 \cdot \mu \cdot \frac{U}{b}$$

$$p(b) - p(0) = 3.025 \times 10^5$$

Отримана в розрахунках величина середнього тиску кільця на стінки циліндра $3{,}025 \cdot 10^5$ Па приблизно на 10% нижче за існуючий у нового двигуна СМД-14 тиск.

Подальший підбір параметрів продовжимо, взявши $\delta_0 = 4.5 \cdot 10^{-6}$ м.

$$\mu := 0.015 \quad U := 7.93 \quad \delta_0 := 4.5 \cdot 10^{-6} \quad b := 3 \cdot 10^{-3} \quad \alpha := 0.03 \quad D := 11 \cdot 10^{-2}$$

$$E := 1 \cdot 10^{11} \quad t := 5 \cdot 10^{-3}$$

$$p := \int_0^b \frac{6 \cdot \mu \cdot U \cdot \alpha \cdot x \cdot (b - x)}{(\delta_0 + \alpha \cdot x)^2 \cdot (\alpha \cdot b + 2 \cdot \delta_0) \cdot b} \, dx$$

$$p = 3.242 \times 10^5$$

При цьому $F(\alpha, t) = F(0{,}03, 5 \cdot 10^{-3}) = 1{,}084.$

Отримана в розрахунках величина середнього тиску кільця на стінки циліндра відповідає наведеному раніше значенню середнього тиску мастилознімального кільця для двигуна СМД-14 і практично задовільняє іншій умові $F(\alpha, t) \approx 1$. Процес ітерацій при $\delta_0 = 4.5 \cdot 10^{-6}$ м для нового мастилознімального кільця на цьому завершуємо.

Витрати мастила через зазор спряження циліндр-мастилознімальне кільце пропорційні величині δ_0.

На території України згідно з наказами Міністерства транспорту № 43 від 10.02.98, № 893 від 17.12.2002, № 99 від 16.02.2004 діють тимчасові норми витрат мастильних матеріалів. Наприклад, для дизельних і газодизельних вантажних автомобілів масою понад 3,5 т такою нормою є 2.8% від витрат палива. При роботі у зимових умовах норма може збільшуватись на 5...20% для температур від -10^0 С до -20^0 С відповідно. Для двигуна СМД-14 приймемо гранично допустиме вигоряння картерного мастила на рівні до 3% від витрат палива двигуном, що у два рази більше, ніж для нового двигуна (до 1,5% –[8]).

Тобто, враховуючи незмінність витрат мастила по висоті мастилознімального кільця, мінімальний гранично допустимий зазор у спряженні циліндр-мастилознімальне кільце має бути вдвічі більшим у зношеного двигуна у порівнянні з новим.

Указані, або інші, задані норми і належить використовувати при визначенні гранично допустимого вигоряння картерного мастила і допустимого мінімального зазору у

спряженні циліндр-мастилознімальне кільце для конкретного зношеного двигуна і умов його експлуатації.

Приймемо, виходячи з гранично допустимого вигоряння картерного мастила, допустиме значення мінімального зазору між кільцем і стінками циліндра для зношеного двигуна СМД-14 $\delta_0 = 9 \cdot 10^{-6}$ *м* (збільшення зазору у два рази порівняно з зазором для нового двигуна).

При цьому відношення середнього тиску кільця на стінки циліндра у зношеного по відношенню до нового двигуна має становити $\frac{p'}{p} \approx 0.68$ [8]. Тобто, для нашого випадку у зношеного двигуна СМД-14 середній тиск кільця на стінки циліндра має бути $p' \approx 3.242 \cdot 10^5 \cdot 0.68 = 2.205 \cdot 10^5$ Па.

Методом послідовних наближень знаходимо кут скручування кільця у зношеного двигуна . При цьому потрібно змінювати α до тих пір, поки не отримаємо значення середнього тиску кільця на стінки циліндра для зношеного двигуна (p'=2.205×10^{5}Па).

За алгоритмом, наведеним на рисунку 4, при $\delta_0 = 9 \cdot 10^{-6}$ *м* будуємо таблицю значень $F_{i,j} = F(\alpha_i, t_j)$ для мастилознімального кільця зношеного двигуна СМД-14 (рисунок 5).

F =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	2.158	2.109	2.062	2.017	1.974	1.933	1.893	1.855	1.818
1	1.748	1.708	1.67	1.633	1.598	1.565	1.533	1.502	1.472
2	1.436	1.403	1.372	1.342	1.313	1.286	1.259	1.234	1.209
3	1.195	1.168	1.142	1.117	1.093	1.07	1.048	1.027	1.006
4	1.005	0.982	0.96	0.939	0.919	0.9	0.882	0.864	0.847
5	0.854	0.835	0.816	0.798	0.781	0.765	0.749	0.734	0.719
6	0.732	0.715	0.7	0.684	0.67	0.656	0.642	0.629	0.616
7	0.632	0.618	0.604	0.591	0.578	0.566	0.555	0.543	0.533
8	0.55	0.538	0.526	0.514	0.503	0.493	0.482	0.473	0.463
9	0.482	0.471	0.46	0.45	0.441	0.431	0.422	0.414	0.406
10	0.424	0.415	0.405	0.397	0.388	0.38	0.372	0.365	0.357

Рис. 5. Значення $F_{i,j} = F(\alpha_i, t_j)$ для мастилознімального кільця зношеного двигуна СМД-14

В таблиці на рисунку 5 знаходимо, що $F(\alpha) = 1.006$ при $i = 3$ і $j = 8$. Тобто, при $\alpha_3 = 0.02 + 0.02 \cdot 3 = 0.026$ радіан і $t_8 = 4.5 \cdot 10^{-3} + 0.1 \cdot 810^{-3} = 5.3 \cdot 10^{-3}$ м. Таке поєднання значень указаних параметрів неприйнятне, оскільки радіальна товщина мастилознімального кільця у нового двигуна СМД-14 $t = 5 \cdot 10^{-3}$ м.

Наступне значення $F(\alpha) = 1.005$ маємо при $i = 4$ і $j = 0$. Тобто, при $\alpha_4 = 0.02 + 0.02 \cdot 4 = 0.028$ радіан і $t_i = 4.5 \cdot 10^{-3}$ м.

Перевірку відповідності останніх значень α і t необхідним умовам наведено на рисунку 6.

$$\mu := 0.015 \quad U := 7.93 \quad \delta_0 := 9\cdot10^{-6} \quad b := 3\cdot10^{-3} \quad \alpha := 0.028 \quad D := 11\cdot10^{-2}$$

$$E := 1\cdot10^{11} \quad t := 4.5\cdot10^{-3} \qquad p := \int_0^b \frac{6\cdot\mu\cdot U\cdot\alpha\cdot x\cdot(b-x)}{(\delta_0+\alpha\cdot x)^2\cdot(\alpha\cdot b+2\cdot\delta_0)\cdot b}\,dx$$

$$p = 2.089\times10^5$$

$$F(\alpha,t) := \frac{\int_0^b \frac{6\cdot\mu\cdot U\cdot\alpha\cdot x\cdot(b-x)\cdot x}{(\delta_0+\alpha\cdot x)^2\cdot(\alpha\cdot b+2\cdot\delta_0)}\,dx}{E\cdot b\cdot\left[\frac{\alpha^3}{2}\cdot\left[\frac{(D-t)^2}{4}\cdot\ln\left(\frac{D}{D-2\cdot t}\right)-\frac{(D-t)\cdot t}{2}\right]+\frac{b^2\cdot\alpha}{12}\cdot\ln\left(\frac{D}{D-2\cdot t}\right)\right]}$$

$$F\left(0.028, 4.5\cdot10^{-3}\right) = 1.005$$

Рис. 6. Алгоритм визначення середнього тиску кільця і функції $F(\alpha,t)$ за корегованими даними для зношеного двигуна СМД-14

Із наведених даних випливає, що при $\delta_0 = 9\cdot10^{-6}$ м, $\alpha = 0.028$ та інших незмінних розрахункових параметрах, як для нового, так і зношеного двигуна маємо $p = 2.089\cdot10^5$ Па, $t = 4.5\cdot10^{-3}$ м, $F(\alpha,t) = 1.005$, що можна вважати надійним за встановленими вище умовами результатом.

Визначаємо величину зносу мастилознімального кільця по радіальній товщині (Δt) і по збільшенню зазору в замку кільця (ΔS_3):

$$\Delta t = 5\cdot10^{-3} - 4.5\cdot10^{-3} = 0.5\cdot10^{-3} \text{ м};$$
$$\Delta S_3 = 2\pi\cdot\Delta t = 3.14\cdot10^{-3} \text{ м}.$$

З урахуванням технологічного зазору в замку кільця у нового двигуна ($0{,}65\cdot10^{-3}$ м) знайдемо величину гранично допустимого зазору мастилознімального кільця для двигуна СМД-14 при замірі його в циліндрі-шаблоні (новий циліндр):

$$S_3 = 0.65\cdot10^{-3} + 3.14\cdot10^{-3} = 3.79\cdot10^{-3} \text{ м}.$$

У практичних умовах (експлуатація, ремонт тракторних двигунів) прийнято гранично допустимі зазори в замку кілець округляти з точністю до 0.5 мм. Отже, у нашому випадку в інструкціях по експлуатації і ремонту двигуна СМД-14 можна вказувати, що гранично допустимий зазор в замку мастилознімального кільця становить $4\cdot10^{-3}$ м.

Список літературних джерел

1. Проников А. С. Надежность машин. Монография. / А. С. Проников //.– М.: Машиностроение, 1978. –592 с.

2. Хоменко І. М. Методика розрахунку поршневих кілець з врахуванням їх зносу / І. М. Хоменко // Вісник Чернігівського технолог. інституту. – 1997. – N3. – С. 65-71.

3.Хоменко І.М. Гранично допустиме спрацювання мастилознімальних кілець тракторних двигунів / І. М. Хоменко // Вісник Чернігівського технологічного інституту.– 2000. – № 10. – С. 82-86.

4. Хоменко І.М. Визначення гранично допустимого спрацювання компресійних поршневих кілець тракторних двигунів / І. М. Хоменко // Вісник Чернігівського технологічного інституту. – 2000. – № 10. – С.73–77.

5. Хоменко І.М. Про розрахунок граничних зазорів у спряженні вал-підшипник ковзання / І. М. Хоменко // Вісник Чернігівського технологічного інституту. – 2001. – № 12. – С. 68–72.

6. Хоменко И.М. О динамическом расчете подшипников скольжения / И. М. Хоменко // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, 1984.–№ 8.–С. 9-12.

7. Хоменко И.М. О предельном зазоре в сопряжении вал-подшипник: Изв. вузов. МВТУ им. Баумана / И. М. Хоменко, Ю. И. Жарий, И. И. Хоменко. – М.: Машиностроение, 1983.–№ 8.– С. 49-52.

8. Хоменко І. М. Технологічні критерії граничного зносу машин. Монографія (ISBN 966-7496-17-1) / І. М. Хоменко. – Чернігів: Чернігівський держ. техн. ун-т, 2005. – 191 с.

9. Хоменко І. М. Про визначення гранично допустимих зазорів у шарнірних спряженнях і зубчастих зачепленнях / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2008. – № 4. – С. 115–119.

10. Хоменко І. М. Критерії гранично допустимого зносу машин / І. М. Хоменко // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. Нац. авіац. ун-ту – К.: – 2008. – Вип. 50. – С. 27–33.

11. Хоменко І. М. Гранично допустимий зазор для радіального підшипника ковзання зі статично незрівноваженим валом / І. М. Хоменко, А. К. Кобринець // Проблеми тертя та зношування: Наук. –техн.. зб. Нац. авіац. ун-ту. – К.: – 2008. – Вип. 50.– С. 34–43.

12. Хоменко І. М. Гідродинаміка гідростатодинамічного радіального підшипника ковзання / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук, О. М. Яхно, А. К. Кобринець // Машинознавство. – Л.: Львівський нац. політехн. ун-т. – 2009. – № 4 (142). – С. 29-33.

13. Хоменко І. М. Про задачі трибології і триботехніки у машинознавстві / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук, О. М. Яхно, А. К. Кобринець // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – №1. – С. 39–45.

14. Хоменко І. М. Особливості розподілу тиску мастила у радіальному підшипнику ковзання / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук, О. М. Яхно, А. К. Кобринець // Проблеми тертя та зношування: Наук. –техн. зб. Нац. авіац. ун-ту. – К.: – 2009. – Вип. 51.– С. 157–169.

15. Хоменко І. М. Про особливості розподілу тиску мастила у радіальному підшипнику ковзання / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук, А. К. Кобринець // . – К.:– 2009. – С. 59-61 (Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2009» 21-23 вересня 2009р. Том II. Національний авіаційний університет України, м. Київ, 2009).

16. Хоменко І. М. Гранично допустимий знос машин / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук, А. К. Кобринець // Проблеми тертя та зношування: Наук. –техн.. зб. Нац. авіац. ун-ту. – К.: – 2009. – Вип. 52.– С. 29-38.

17. Хоменко І. М. Гранично допустимий зазор для радіального підшипника ковзання / І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук, А. К. Кобринець // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми триботехніки» 7-9 жовтня 2009 р. Національний університет кораблебудування. – Миколаїв: Видавництво НУК, 2009. – 93-94.

18. Хоменко І. М. Про розрахунок радіальних підшипників ковзання автотракторних двигунів / І. М. Хоменко, А. К. Кобринець // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2011. – №. 1 (47) . – С. 39-47.

УДК 621.923.42

Веремей Г. А., аспирант

Черниговский технологический государственный университет, г. Чернигов, Украина

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Исследованы существующие методы обеспечения параметров качества поверхностей сопряжения пары «клапан-седло» – деталей газораспределительного механизма в двигателях внутреннего сгорания. Данное соединение определяет эксплуатационные характеристики двигателя, которые зачастую в отечественном производстве не удовлетворяют запросам потребителя по причине несовершенства существующих методов обеспечения жёстких технических требований, предъявляемых к исследуемым деталям. Рассмотрено применение более совершенных путей достижения параметров качества поверхностей сопряжения пары «клапан-седло» за счёт использования высокоэффективных технологических методов и режущего инструмента в области металлообработки.

Введение

В современной автомобильной промышленности, которая является неотъемлемой частью машиностроения, эксплуатационные характеристики двигателя внутреннего сгорания (ДВС) во многом зависят от параметров качества сопряжения отдельных деталей его узлов, одним из которых является газораспределительный механизм (ГРМ) [1]. Деталями данного механизма, отвечающими за качество герметизации полости цилиндра в момент осуществления двигателем рабочего такта, являются пара «клапан-седло», сопрягающиеся по внешней и внутренней коническим поверхностям (рис.1). От качества сопряжения данных деталей зависит величина давления (компрессии), наводимого в камере сгорания в момент прохождения поршнем верхней мёртвой точки и определяющего мощностные характеристики двигателя [2]:

$$N = \frac{p \cdot V \cdot n \cdot i}{30m}, \qquad (1)$$

где N – эффективная мощность, p – давление в камере сгорания, n – частота вращения коленвала, i – число цилиндров в двигателе, m – тактность двигателя, V – объём камеры сгорания.

Качество контакта пары «клапан-седло», работающей в тяжёлых условиях под воздействием переменных сил и температур, определяется относительным расположением, формой и высотой микронеровностей поверхностного слоя сопрягаемых поверхностей. Именно поэтому к данному соединению предъявляются жёсткие технические требования, обеспечение которых достигается точными методами металлообработки, что представляет собой не простую технологически решаемую задачу и является актуальным вопросом в области машиностроения.

Анализ исследований

Исследование конструкции двигателя показывает, что качество соединения «клапан-седло» определяется концентричностью поверхностей $D_к$ и D_c (рис. 2), их шероховатостью и величиной биения тарелки клапана в момент посадки его на седло, которая зависит от соосности данных поверхностей (параметр A). Точность формы, относительного расположения, высота микронеровностей этих поверхностей формируются на

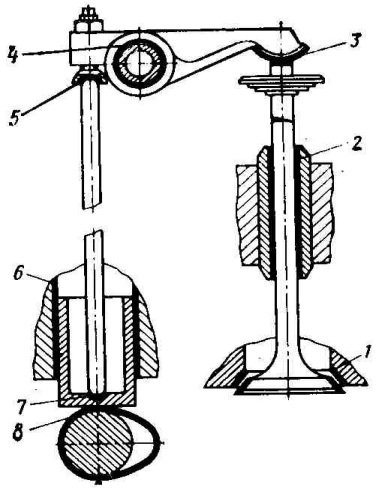
финишных операциях и зависят от жёсткости системы «станок- приспособление-инструмент-деталь» (СПИД), технологического процесса и методов
обработки данных деталей [3]. Практические исследования отечественных и зарубежных двигателей указывают, что допустимая величина биения фаски тарелки клапана относительно его седла не должна превышать 0.03 мм для клапанов легкового автомобиля.

Формулирование целей статьи

Целями данной статьи являются: анализ размерных связей поверхностей контакта пары «клапан-седло»; исследование существующих технологических методов обеспечения параметров качества соединения «клапан-седло» в отечественном и зарубежном производствах; выбор оптимального технологического процесса обработки клапана седла, позволяющего добиться качества данного соединения в соответствии с конструкторским допуском за счёт применения современных методов обработки в области шлифования.

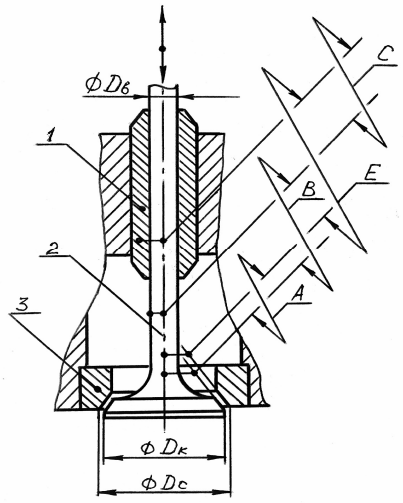
Изложение основного материала статьи

При анализе размерной цепи (рис. 2) видно, что для достижения точности требуемого параметра *A* необходимо обеспечить: соосность тарелки клапана и его стержня (параметр *B*), соосность стержня клапана и цилиндрического отверстия $D_в$ (параметр *C*), соосность фаски седла D_c и отверстия $D_в$ (параметр *E*). Точность



1 – конические поверхности сопряжения «клапан-седло», 2 – направляющая втулка, 3 – коромысло, 4 – втулка коромысла, 5 – регулировочный винт, 6 – блок двигателя, 7 – толкатель, 8 – кулачок

Рис.1. Газораспределительный механизм двигателя внутреннего сгорания



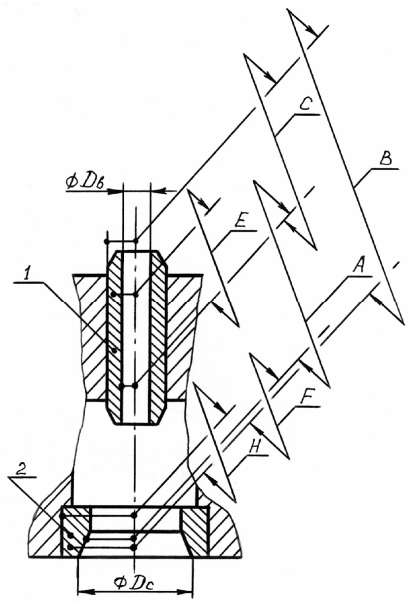
1 – направляющая втулка, 2 – клапан, 3 – седло клапана

Рис. 2. Параметры качества сопряжения поверхностей «втулка-клапан-седло»

параметров *B* и *C* зависит от методов обработки и достигается на финишных операциях технологического процесса обработки направляющей втулки и клапана. Т. е., при фор-

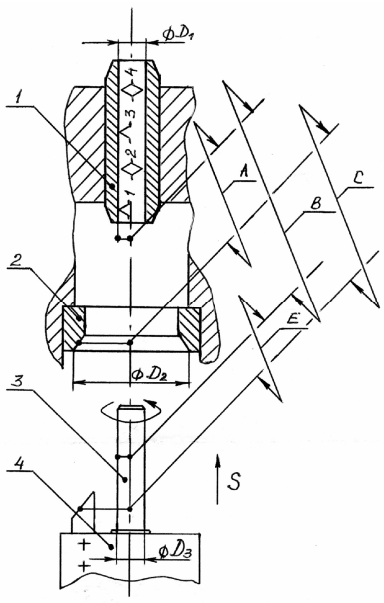
мировании точности параметра *A* основной технологической задачей является обеспечение соосности направляющей втулки и фаски седла клапана (параметр *E*), определяемой выбором финишных операций изготовления этих деталей и технологи-ческим процессом обработки седла, который может быть представлен в двух вариантах. Первый предполагает обработку поверхностей $D_в$ и D_c вне сборочной единицы (головки ДВС), а точность замыкающего звена будет достигнута в результате операции сборки направляющей втулки и седла клапана с головкой двигателя. Преимущества данного варианта – в простоте применения технологического оборудования, но, как показывает размерная цепь (рис. 3), точность параметра *A* будет зависеть от погрешности всех предыдущих методов обработки и сборки направляющей втулки, клапана и его седла, т. е. от следующих погрешностей: ω_B – расположения отверстий головки двигателя под запрессовку втулки и седла, ω_C – операции сборки (запрессовки втулки в головке двигателя), ω_E – расположения отверстия $D_в$ относительно наружного диаметра втулки, ω_F – расположения поверхности D_c относительно наружной поверхности седла клапана, ω_H – операции сборки (седла в головке двигателя).

Нет необходимости математически доказывать, что при расчёте величина замыкающего звена *A* не будет лежать в пределах допуска 0.03 мм. Это указывает на необходимость выбора обрабатываемых поверхностей $D_в$ и D_c в качестве установочных технологических баз, что позволит обеспечить точность параметра A, которая будет определяться погрешностью метода обработки и жёсткостью системы СПИД.



1- направляющая втулка, 2 – седло клапана

Рис. 3. Схема размерных связей поверхностей втулки и седла клапана



1- направляющая втулка, 2 – седло клапана 3- «пилот», 4 – режущий инструмент

Рис. 4. Схема обработки седла клапана

Выбор поверхности D_K в качестве технологической базы для обработки отверстия направляющей втулки $D_в$ затруднён по причине малой площади контакта короткой конусной поверхности. Потому базирование технологической оснастки необходимо производить по отверстию направляющей втулки (рис. 4). Как видно, соосность фаски седла и отверстия втулки будет формироваться параметрами *B, C, E* и зависеть соответст-

венно от погрешности метода обработки (ω_C), погрешности расположения режущего инструмента и направляющего «пилота» (ω_E), технологического зазора (B) между отверстием $D_в$ и «пилотом». Величина ω_E зависит в целом от жёсткости системы СПИД и будет определяться её упругими деформациями. ω_E = 0.01мм и принимается максимальной исходя из расчёта применения оборудования высокой точности. Величина зазора B при базировании "пилота" по отверстию втулки в соот-ветствии с температурным режимом принимается ω_B = 0.02 мм и зависит от точности изготовления самого "пилота" и финишной операции развёртывания поверхности $D_в$.

Воспользовавшись вероятностным методом определения допуска замыкающего звена [4], можно рассчитать допустимую погрешность обработки и, в зависимости от неё, назначить вид операции, позволяющий обеспечить точность его достижения. Условие расчёта допуска замыкающего звена вероятностным методом:

$$T_A = t\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \lambda \cdot T_i^2} \ , \qquad (2)$$

где T_A – допуск замыкающего звена, t – коэффициент риска (выбирается в зависимости от вероятности выхода размера за рассчитанные пределы), λ – коэффициент относительного рассеивания (выбирается в зависимости от закона распределения случайных размеров), T_i – допуск звеньев цепи, i – количество звеньев цепи.

Отсюда допуск любого звена цепи

$$T_i = \sqrt{\frac{T_A^2 - t^2 \cdot \lambda\left(\sum_{j=1}^{i-1} T_j^2 + \sum_{k=i+1}^{n} T_k^2\right)}{t^2 \cdot \lambda}} \qquad (3)$$

Принимая рассеивание случайных размеров по закону нормального распределения, значения вероятностных коэффициентов будут t = 3 и λ = 1/9, а допуски звеньев цепи (рис. 4) принимаются равными погрешностям ω_E и ω_B. Тогда, исходя из (3), погрешность обработки

$$\omega_C = T_A = \sqrt{\omega_A^2 - \omega_E^2 - \omega_B^2} \qquad (4)$$

Получаем величину погрешности обработки конического отверстия седла клапана $\omega_C = \sqrt{0.03^2 - 0.01^2 - 0.02^2} = 0.02$ мм.

Технологически обеспечить данную точность обработки позволяют методы чистового фрезерования или растачивания, применение которых имеет место на сегодняшний день не только в отечественных технологиях, но и в зарубежном производстве автомобильной продукции, рассчитанной на очень широкого потребителя. Эти же технологии в некоторых случаях включают доводку конических поверхностей сопряжения путём притирки в производственных условиях, а чаще – вручную, обычной дрелью и набором приспособлений, которые имеются в свободной продаже. Притирка поверхностей производится с целью улучшения параметра шероховатости и в данном примере с переменной вероятностью успеха приводит к положительным результатам, т. к., как правило, должна являться финишной после операции шлифования и производится вручную с переменными усилиями с помощью приспособлений, изготовленных кустарным методом.

Опыт автолюбителей, эксплуатирующих автомобили не только украинского производства, но и некоторые зарубежные, указывает, что удачная притирка новых клапанов и их сёдел при одном и том же состоянии цилиндро-поршневой группы двигателя (поскольку она также влияет на мощностные характеристики) позволяет повысить его компрессию до 8 % (максимум на 1 атм.).

Технологии передовых зарубежных автоконцернов исключают ручное вмешательство в формирование качества поверхностного слоя контактных поверхностей и решают этот вопрос за счёт жёсткости ситемы СПИД и применения современного оборудования с ЧПУ фирм: Serdi (Франция), Прецизион (Россия), Rottler (США), Peterson (США), Kwik-Way (США), Kolbenschmidt (Германия), Sunnen (США) и др. На рис. 4 представлена схема обработки седла клапана с применением приспособления байонетного типа, разработанного фирмой Serdi. Базирование направляющего «пилота» по отверстию втулки производится с «плавающим» шпинделем или столом, на котором размещается головка двигателя. Непосредственно перед самой операцией обработки система жёстко закрепляется, а требуемые параметры качества достигаются за счёт тонкого фрезерования, дающего точность обработки до 0.01 мм и позволяющего добиться шероховатости поверхности $R_a = 0.32$ мкм при использовании твердосплавных композиционных материалов.

Выводы

Из проведённого анализа размерных связей поверхностей контакта пары «клапан-седло» следует, что обеспечение параметра соосности конических поверхностей клапана и его седла в соответствии с конструкторскими требованиями возможно только при выборе технологического процесса обработки данных поверхностей с совмещёнными конструкторскими и технологическими базами.

Исследование существующих технологических методов обеспечения параметра шероховатости поверхностей сопряжения «клапан-седло» в отечественном и зарубеж-ном производстве некоторых компаний показывает, что качество данного соединения не всегда удовлетворяет запросам потребителя с точки зрения мощностных характерис-тик двигателя и, как следствие, может быть улучшено с помощью операции притирки вручную. На примере опыта зарубежных передовых автопроизводителей установлено, что качество сопряжения «клапан-седло» может быть обеспечено за счёт использования передовых технологий, современного оборудования и режущего инструмента,

В качестве альтернативного варианта может быть предложена схема базирования по отверстию направляющей втулки и привалочной плоскости головки двигателя с выбором в качестве базирующего элемента – конуса. Финишными операциями, позволяющими добиться требуемых параметров точности, могут быть выбраны тонкое шлифование фаски седла клапана с последующим дополнительным свободным алмазным шлифованием для формирования шероховатости поверхности.

Список литературных источников

1. Сирота В.І., Сахно В.П. Автомобілі. Основи конструкції. Навчальний посібник. - К.: Арістей, 2007. – 288с.
2. Тимченко И. И., Гутаревич. Ю. Ф. Автомобильные двигатели., Харьков, - Основа, 1995, 464с.
3. Бондаренко С. Г. Основы технологии машиностроения. Чернигов, ЧГТУ, 2005, - 567с.
4. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения.- Изд. 5-е. – М.: Машиностроение, 1979, - 344с.
5. Допуски и посадки. Справочник/ Под ред. Мягкова В. Д. – Л.: Машиностроение, 1982. – Ч. 2, 447 с.

УДК 621.941.025

В.В. Кальченко, д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Ю.Д. Юрченко, ст.. викладач

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ЗБІРНИХ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ З ОПТИМАЛЬНО ОРІЄНТОВАНИМИ НЕПЕРЕТОЧУВАНИМИ ПЛАСТИНКАМИ В T-FLEX CAD 3D

Наведені результати досліджень теплових полів у збірних токарних різцях з пасивним внутрішнім тепловідводом з використанням комп'ютерного моделювання в системі T-FLEX CAD 3D.

Постановка проблеми

Збірні токарні різці з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин (БТП), є одним з найбільш розповсюджених типів різальних інструментів, які широко використовуються на підприємствах різних галузей машинобудування.

Одним із шляхів підвищення ефективності обробки збірними токарними різцями з механічним кріпленням різальних пластин в умовах роботи без мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) є використання конструкцій різальних інструментів з внутрішнім тепловідводом. Застосування таких різців забезпечує значне підвищення стійкості різальних пластин шляхом інтенсифікації відведення тепла із зони різання.

Аналіз досліджень і публікацій

Авторами запропонована конструкція збірного токарного різця з пасивним внутрішнім тепловідводом, що забезпечує значне підвищення стійкості різальних оптимально орієнтованих пластин в 1,5…2,7 рази при обробці нержавіючих і жароміцних сталей, титанових сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів. Разом з цим такий різець має порівняно просту конструкцію, а умови експлуатації різця не відрізняються від умов експлуатації стандартизованих різців [1].

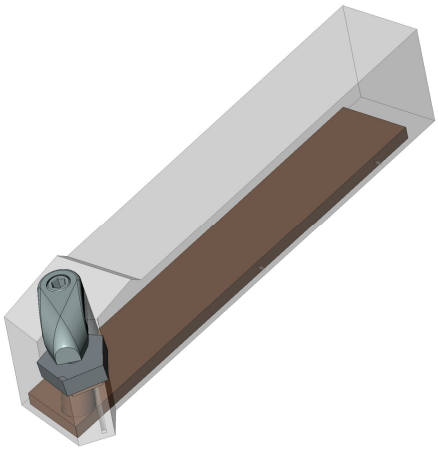


Рис. 1. Збірний токарний різець з пасивним внутрішнім тепловідводом

Характерною особливістю вказаної конструкції різця (рис. 1) є наявність спеціального каналу, заповненого матеріалом з високою теплопровідністю (мідь, алюміній). Теплопровідний канал з'єднує опорну поверхню різальної пластини з поверхнею різцетри-

мача верстата, що сприяє інтенсифікації відведення тепла від різальної пластини у масу різцетримача.

Мета статті

Мета даної роботи полягала у встановленні основних закономірностей впливу конструктивних розмірів теплопровідного каналу на розподіл тепла у збірних токарних різцях з пасивним внутрішнім тепловідводом та подальшій оптимізації його конструкції.

Виклад основного матеріалу

На першому етапі дослідження теплових полів у різців таких конструкцій проводились експериментальними методами з використанням натуральних та штучних термопар [2]. Дослідження підтвердили ефективність роботи різців з пасивним внутрішнім тепловідводом та дозволили отримати достовірні дані, але їх проведення було трудомістким і матеріалоємним.

Для проведення подальших досліджень була застосована методика комп'ютерного моделювання з використанням функціональних можливостей системи автоматизованого проектування «T-FLEX CAD 3D», що містить найсучасніші інструменти для створення моделей різної складності. Вказана система характеризується також наявністю широкого спектру засобів комплексного інженерного аналізу, в тому числі і модуля теплового аналізу, призначеного для вирішення задач теплопровідності і теплопередачі, визначення температурних полів та теплових потоків в об'ємі виробу.

Для проведення досліджень була розроблена тривимірна параметрична модель дослідної установки (рис. 2), яка складалась із збірного токарного різця з пасивним внутрішнім тепловідводом та різцетримача верстата. Для тестування створеної моделі та модуля теплового аналізу «T-FLEX CAD 3D» на адекватність, були проведені розрахунки температури у контрольних точках різця і побудуванні графічні залежності для порівняння результатів, отриманих експериментальним шляхом та на моделі. Розрахунки температур на моделі здійснювались при одних і тих же вихідних даних, що і при експериментальних дослідженнях[2].

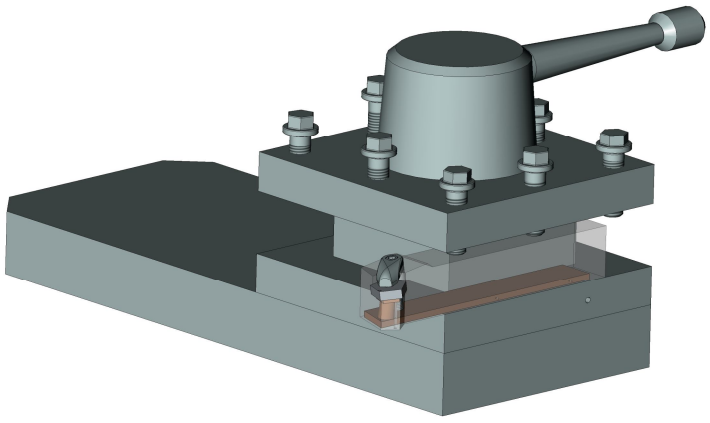


Рис. 2. Тривимірна параметрична модель дослідної установки

Конструкція збірного токарного різця з внутрішнім тепловідводом характеризується масою, об'ємом, матеріалом державки, теплопровідного каналу та різальної орієнтованої пластини, розмірами теплопровідного каналу, шорсткістю опорної поверхні під різальною пластиною та опорної поверхні різця.

Для проведення теплового аналізу в «T-FLEX CAD 3D» створювалась кінцево-елементна модель, що відображала геометричні і фізичні властивості модельованого виробу. Підготовка кінцево-елементної моделі здійснюється на основі побудованої

геометричної моделі в інтерактивному режимі за допомогою команд Препроцесора. Після чого кінцево-елементна модель оброблюється Процесором «T-FLEX Аналізу» і отримується рішення вихідної задачі.

У процесі досліджень було встановлено, що на розподіл тепла у збірному токарному різці з внутрішнім тепловідводом впливають такі фактори як:

- температура на передній поверхні різальної пластини;
- розмір ділянки контакту стружки з передньою поверхнею інструмента;
- коефіцієнти теплопровідності матеріалів різальної пластини, корпуса різця та теплопровідного каналу;
- довжина, товщина та ширина теплопровідного каналу;
- діаметр стрижня теплопровідного каналу;
- площина контакту опорної поверхні теплопровідного каналу із багатогранною оптимально орієнтованою різальною пластиною;
- площина контакту опорної поверхні теплопровідного каналу із різцетримачем верстата

В процесі дослідження були встановлені основні закономірності впливу конструктивних параметрів теплопровідного каналу на температуру під опорною поверхнею різальної пластини (рис. 3…5).

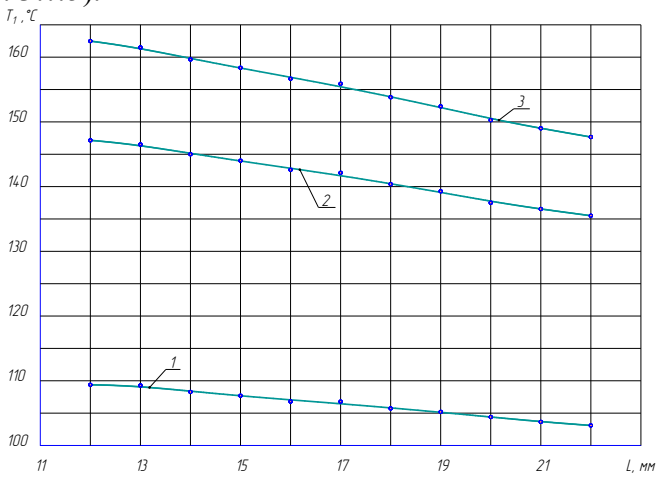


Рис. 3. Залежність температури під опорною поверхнею різальної пластини від ширини теплопровідного каналу.
(1 – 5 хвилин роботи; 2 – 10 хвилин роботи; 3 – 20 хвилин роботи.)

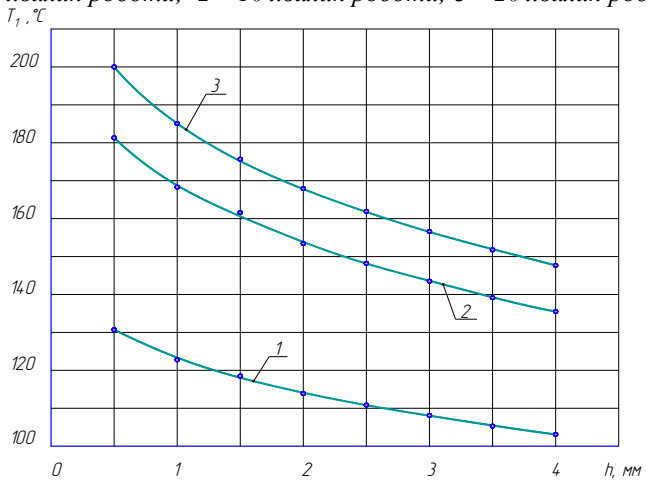


Рис. 4. Залежність температури під опорною поверхнею різальної пластини від товщини теплопровідного каналу.
(1 – 5 хвилин роботи; 2 – 10 хвилин роботи; 3 – 20 хвилин роботи.)

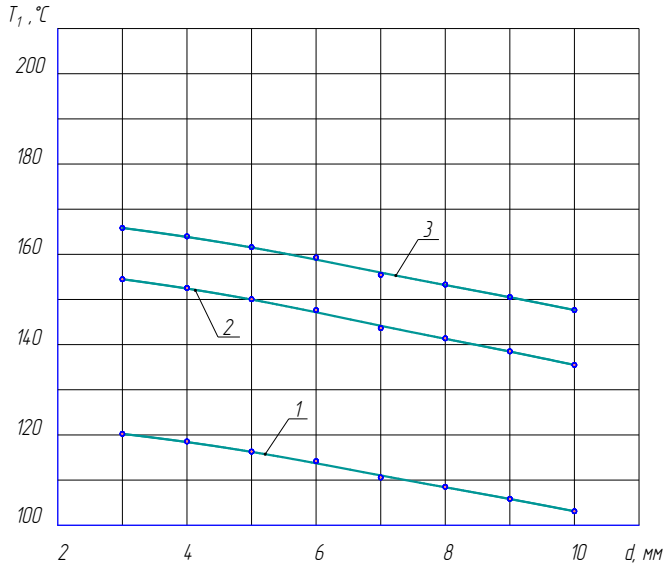


Рис. 5. Залежність температури під опорною поверхнею різальної пластини від діаметру стрижня теплопровідного каналу

Аналіз графічних залежностей дозволив встановити, що найбільш вагомий вплив на температуру під опорною поверхнею різальної оптимально орієнтованої пластини створюють ширина, товщина та діаметр стрижня теплопровідного каналу.

Встановлено, що при довжині теплопровідного каналу більше 80 мм температура під опорною поверхнею різальної пластини залишається практично незмінною. Також було встановлено, що форма опорної поверхні теплопровідного каналу мало впливає на інтенсивність відведення тепла від різальної пластини.

Проведені дослідження дозволили сформулювати конкретні практичні рекомендації, які можуть бути використані для проектування токарних різців з внутрішнім тепловідводом.

Висновки

Запропонована методика комп'ютерного моделювання в системі «T-FLEX CAD 3D» дозволяє значно прискорити процес дослідження теплових процесів у збірних токарних різцях з внутрішнім тепловідводом.

Встановлені основні закономірності впливу параметрів теплопровідного каналу на розподіл тепла в різці та різцетримачі верстата

Візуалізація теплових полів дозволяє виконати комплексну оцінку розподілу тепла в різці та різцетримачі верстата.

Можливості системи «T-FLEX CAD 3D» дозволили провести оптимізацію конструкції різця, орієнтації різальної пластини та параметрів теплопровідного каналу.

Список літературних джерел

1. Мироненко В.В., Юрченко Ю.Д. Збірні токарні різці з внутрішнім тепловідводом // Вісник Черкаського державного технологічного інституту. – 2002, №1. С

2.Мироненко В.В., Юрченко Ю.Д. Дослідження теплового поля у збірних токарних різцях з пасивним внутрішнім тепловідводом// Вісник Черкаського державного технологічного інституту. – 2007, - №3-4. С

ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.4:620.224

М.Г. Болотов, асистент
Г.П. Болотов, д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Р.М. Рижов, д-р техн. наук

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

ДИФУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ ДИСПЕРСНОЗМІЦНЕНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ГРУПИ АЛЮМІНІЙ-КАРБІД КРЕМНІЮ

Наведено результати досліджень по підвищенню якісних показників дифузійно-зварних з'єднань дисперснозміцнених композиційних матеріалів групи алюміній-карбід кремнію. Показано, що міцність з'єднань зростає при підвищенні пластичності контактуючих поверхонь, що досягається застосуванням при зварюванні проміжних прошарків металів, які утворюють з алюмінієвою матрицею пластичну евтектику.

Вступ

На даний час перспективи прогресу в машинобудуванні в значній мірі пов'язують з розробкою та широким впровадженням композиційних матеріалів (композитів). Композиційні матеріали (КМ) володіють комплексом властивостей, що відрізняють їх від традиційних конструкційних матеріалів і відкривають широкі можливості як для вдосконалення існуючих конструкцій самого різного призначення, так і для розробки нових конструкцій і технологічних процесів.

Композиційні матеріали є синтетичними матеріалами, які конструюються з метою реалізації заданих властивостей відносно до функціонального призначення деталі або конструкції і представляють собою гетерофазні системи, отримані з двох або більше компонентів. Серед сучасних КМ значне поширення отримують металеві композиційні матеріали на основі алюмінію, зміцненого високоміцними керамічними частками карбіду кремнію SiC з високою енергією міжатомних зв'язків – дисперснозміцнені композиційні матеріали (ДЗКМ) [1,2]. Дисперснозміцнені композити представляють собою матеріал, в матриці якого рівномірно розподілені дрібнодисперсні частки другої речовини. В таких матеріалах при навантаженні все зусилля сприймає матриця, у якій за допомогою значної кількості часток другої фази створюється структура, що ефективно чинить опір пластичній деформації.

Постановка проблеми

Проблемами технології із застосуванням композиційних матеріалів є механічна обробка та з'єднання деталей із КМ між собою та з деталями із традиційних матеріалів. Механічне з'єднання послаблює конструкцію внаслідок необхідності свердління отворів. Клейові з'єднання, що здійснюються в основному внапуск, призводять до підвищення матеріалоємності конструкцій і не забезпечують рівноміцності. Здатність до зварювання композитів обмежена, оскільки високотемпературний зварювальний нагрів здатний викликати не тільки втрату властивостей вихідного зміцнюючого матеріалу, але призвести також до крихкості зварних швів. В зв'язку з цим більш ефективними слід вважати процеси з'єднання ДЗКМ у твердому стані, в першу чергу за допомогою дифузійного зварювання, оскільки в цьому випадку не виникає проблем сегрегації зміцнюючих часток завдяки порівняно низькій температурі процесу.

Для дифузійного зварювання ДЗКМ характерним є застосування проміжних металів або сплавів у вигляді прошарків (фольги), покриттів або порошку проміж з'єднуваними деталями. В роботах [3,4] наведені результати експериментів по дифузійному зварюванню ДЗКМ на основі алюмінієвого сплаву 6061+20% SiC. Для підвищення міцності та хімічної однорідності з'єднань застосовували проміжні прошарки у вигляді фольги з міді, срібла та нікелю. Однак, досягнута в наведених роботах міцність зварних з'єднань не перевищує 55 МПа, що складає лише до 42% міцності основного матеріалу (рис. 1).

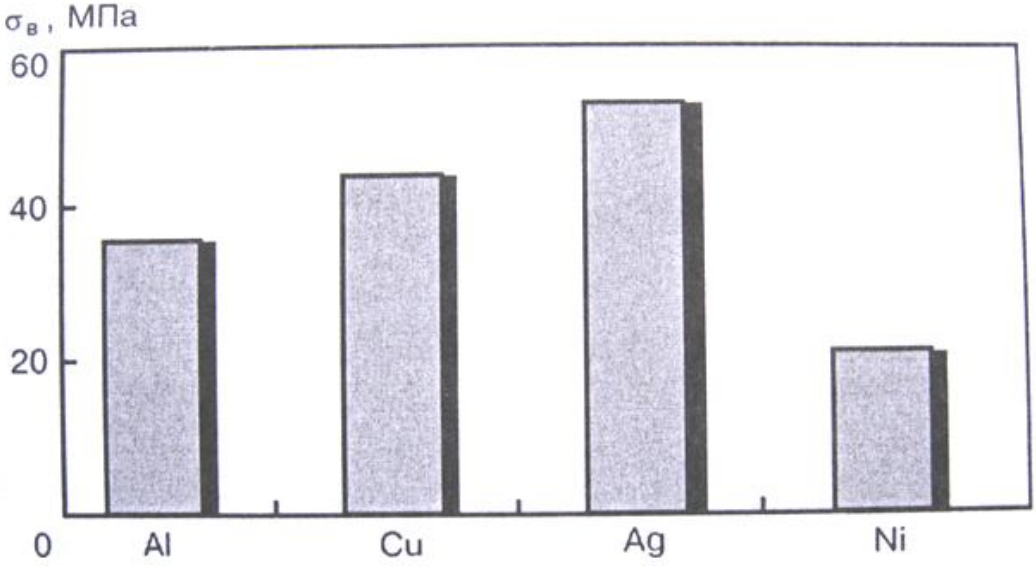


Рис. 1. Залежність міцності зварних з'єднань дисперснозміцнених композиційних матеріалів складу 6061+20%SiC, виконаних дифузійним зварюванням, від матеріалу проміжного прошарку

Мета роботи

Мета роботи полягає в дослідженні та розробці засобів підвищення механічних характеристик дифузійно-зварних з'єднань дисперснозміцнених композиційних матеріалів.

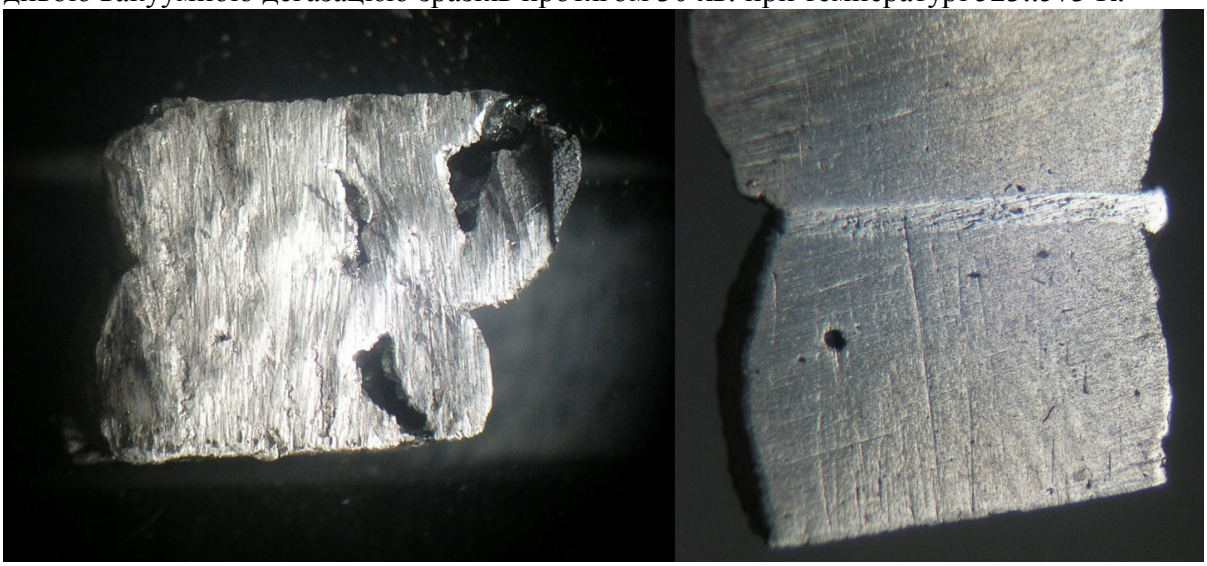
Методи та результати

В даній роботі досліджуються засоби підвищення міцності дифузійно-зварних з'єднань КМ на алюмінієвій основі. В якості основного матеріалу застосовували ДЗКМ групи Al – 20% SiC, в якому матричним матеріалом є алюмінієвий сплав АД–33 (аналог американського сплаву 6061).

Зварювання здійснювали в зварювальному пристрої з важільною (механічною) системою стискання, встановленому в камері вакуумної установки. Зварювання здійснювали в режимі вільної деформації. Зразки для зварювання мали вигляд циліндрів діаметром 10 мм і висоту 6 мм. Перед зварюванням зразки протравлювали в 50%-му розчині ортофосфорної кислоти при температурі 333...353 К протягом 10 с.

Внаслідок наявності у своєму складі значної об'ємної долі зміцнюючих часток пластичність КМ, навіть на алюмінієвій основі, досить обмежена. Для прикладу, пластичність ДЗКМ САП-3 та САП-4 групи Al – Al_2O_3 з вмістом зміцнюючих часток оксиду алюмінію 13...22% складає усього 1,5...3% при 293 К [5]. Тому, для забезпечення пластичної течії КМ в зоні з'єднання за вихідну була прийнята температура зварювання Т= 873 К. Однак, при руйнуванні зварних зразків, отриманих при даній температурі, була виявлена значна пористість в об'ємі металу (рис. 2а). Імовірно вона утворюється

внаслідок виділення водню, яким може насичуватись поверхня зміцнюючих часток в процесі електролізу при нанесенні на неї нікеля або міді під час виготовлення композиту. Із зниженням температури зварювання до 813 К пористість помітно зменшується (рис. 2б), тому для зварювання була прийнята температура Т= 793...803 К з попередньою вакуумною дегазацією зразків протягом 30 хв. при температурі 523..573 К.



а) б)

Рис. 2. Внутрішня пористість, що утворюється при нагріванні вихідного (а) та дегазованого (б) композиту

Отримані при таких температурах зварні з'єднання мають досить низьку міцність і можуть руйнуватись навіть при виготовленні шліфів. Застосування проміжного прошарку у вигляді фольги товщиною 0,1 мм з технічного алюмінію АД-1, пластичність якого досягає 35% при температурі 293 К, забезпечило міцність з'єднання на зріз до 24,3 МПа. Така низька міцність з'єднань пояснюється, в першу чергу, температурою процесу, недостатньою для забезпечення активації з'єднуваних поверхонь. В зв'язку з цим, для підвищення ступіня зсувної деформації в зоні контакту був застосований прошарок із сплаву АМг-2, який володіє самою високою пластичністю серед сплавів алюмінію – до 75% при температурі 573 К [5]. Для прикладу, пластичність сплаву АМг-6 досягає 55% при тій же температурі. Крім того, магній, що знаходиться у сплаві, реагує з оксидом алюмінію за реакцією [6]

$$Al_2O_3 + 3Mg \rightarrow 3MgO + 2Al,$$

здійснюючи додатково хімічну активацію поверхонь. При застосуванні суцільного такого прошарку товщиною 0,2 мм міцність з'єднань підвищилась до 36 МПа. Ще більш висока міцність з'єднань ДЗКМ отримана при застосуванні перфорованого прошарку зі сплаву АМг-2. Перфорацію здійснювали свердлінням отворів діаметром 1 мм з кроком 2 мм, коефіцієнт перфорації складав 0,12...0,15. Із застосуванням такого прошарку досліджували залежність міцності зварного з'єднання від часу зварювання та зусилля стискання. За результатами механічних випробувань на зріз встановлені оптимальні режими: час зварювання 30 хв., зусилля стискання 7,5 МПа при деформації зразків 20...25%. Максимальна міцність зразків, отриманих на цих режимах, досягає 59,7 МПа, що складає біля 50% міцності вихідного матеріалу. Досягнута міцність приблизно відповідає міцності матеріалу прошарку, який не розплавляється і не розчиняється повністю в процесі зварювання.

В той же час, імовірно саме присутністю в зоні контакту прошарків, що розплавляються , утворених більш легкоплавкою евтектикою, пояснюється підвищена міцність з'єднань ДЗКМ, отримана в роботі [3] (рис. 1) через прошарки міді та срібла при темпе-

ратурі зварювання 823...853 К (температура плавлення евтектик Al-Cu та Al-Ag складає, відповідно, 821 та 839 К). Однак, значна крихкість цих евтектик обмежує міцність з'єднань.

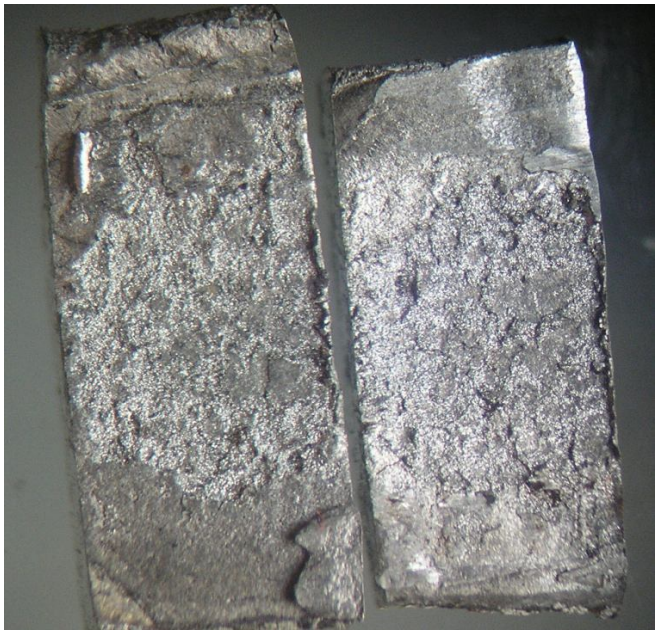


Рис. 3. Зовнішній вигляд зони руйнування композитів, зварених через прошарок цинку

Із широко поширених металів пластичну евтектику з алюмінієм при температурі 655 К утворює цинк. Така низька температура утворення евтектики при подальшому нагріванні до температури зварювання може сприяти розм'ягшенню з'єднуваних поверхонь КМ. В процесі зварювання під час прикладання зусилля стискання більша частина рідкої евтектики буде витискатись із зазору, забезпечуючи додаткове очищення з'єднуваних поверхонь. Зварювання зразків здійснювали через прошарки цинку товщиною 5...10 мкм та 50...100 мкм. В першому випадку прошарки отримували вакуумним напиленням, в другому – розкатуванням нагрітої гранули цинку, коли вона знаходилась в пластичному стані. Результати руйнівних випробувань свідчать (рис. 3), що у другому випадку руйнування супроводжується помітними виривами металу з'єднуваних поверхонь, а міцність з'єднань досягає 71,7 МПа (міцність для першого випадку складає до 55,6 МПа). З урахуванням позитивних результатів застосування перфорованих прошарків були здійснені дослідження по зварюванню з таким прошарком зі сплава АМг-2 з одночасним нанесенням шару цинку товщиною до 10 мкм на обидві з'єднувані поверхні КМ. Однак, в цьому випадку на шліфі з'єднань (рис. 4) спостерігаються локальні тріщини на межі проміжного прошарку та шару евтектики, які, імовірно, утворюються в процесі охолодження внаслідок різниці коефіцієнтів теплового розширення. Наявність тріщин спричинила і зниження міцності з'єднань в середньому до 65,5 МПа.

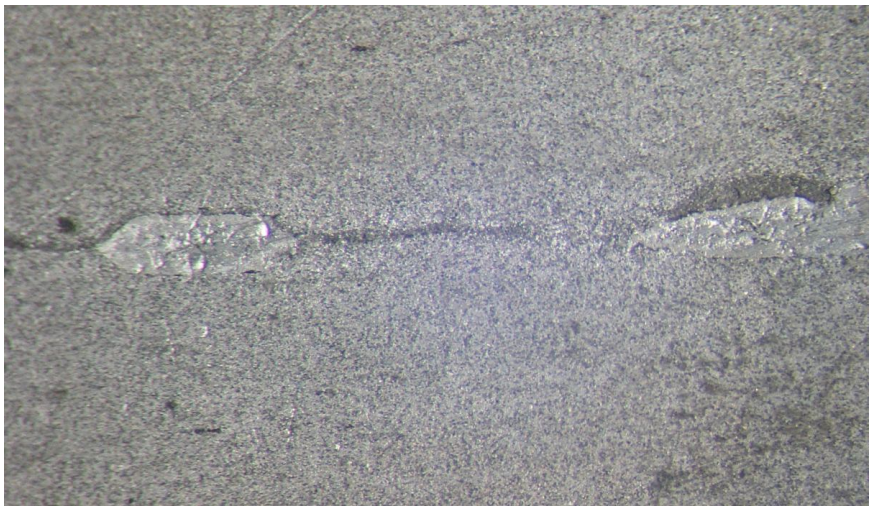


Рис. 4. Макрошліф зони з'єднання композитів, зварених через перфорований прошарок

Висновки

1. Відносно низька пластичність ДЗКМ на алюмінієвій основі зі значним вмістом часток зміцнюючої фази вимагає при зварюванні в твердій фазі (дифузійному зварюванні) утворення в зоні контакту умов підвищеної пластичної течії з'єднуваних поверхонь. Застосування з цією метою проміжних прошарків на основі цинку, що розплавляються в процесі зварювання, забезпечує міцність з'єднання на рівні біля 60% від міцності вихідного ДЗКМ.

2. Доцільним є проведення подальших досліджень по впливу додаткової термічної обробки зварних з'єднань ДЗКМ групи Al-SiC на їх мікроструктуру та властивості.

Список літературних джерел

1. Пилиповский Ю.Л., Грудина Т.Л., Сапожникова А.Б. Композиционные материалы в машиностроении. –Киев: Техніка, 1990. – 141 с.

2. Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Сапожникова А.Б. Композиционные материалы в технике. –К.: Техніка, 1985. –152 с.

3. Wang Guoging, Niu Jitai, Zhao Feng. Diffusion bonding of SiC whisker reinforced aluminium composites //J. of Harbin Institute of Technology. –1990. –№1. –P. 126-128.

4. Рябов В.Р., Богданова Т.В., Дзыкович И.Я., Болотов Г.П. Диффузионная сварка дисперсноупрочненного алюминиевого сплава //Автоматическая сварка. –1993. –№3. –С. 34-38.

5. Конструкционные материалы. Справочник /Под ред. Б.Н. Арзамасова.– М.: Машиностроение, 1990. –688 с.

6. Bushly R.S., Scott V.D. Joining of particulate silicon carbide reinforced 2124 aluminium alloy by diffusion bonding //Mater. Sci. and Tech. –1995. – 11, №8. – P. 753-758.

МЕХАНОХІМІЯ

УДК 678.057.5

П.І.Чередніченко, д-р техн. наук
В.Г.Бакалов, канд.техн.наук
О.В.Бакалов, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ПЛОСКОЩІЛИННОЇ ГОЛОВКИ НА ЯКІСТЬ ПЛІВКИ

Розроблено математичну модель, яка враховує в'язкісні властивості полімеру, геометричні розміри внутрішніх каналів плоскощілинної головки, процес витягування плівки між головкою і притискним валком. Визначено вплив геометричних параметрів головки та технологічних параметрів формування плівки на її якість.

Постановка проблеми. Плоскощілинні головки використовуються при виготовленні тонких полімерних плівок або для ламінування матеріалів. Існуючі вітчизняні плоскощілинні головки не задовольняють потребам промисловості, тому що вони не дозволяють виробляти тонкі плівки які мають незначні коливання товщини плівки по її ширині. Відомо [1,2], чим рівномірніше товщина плівки по ширині, тим вона якісніша і її можна виробляти тонше, що є більш економічним. Для проектування плоскощілинних головок, які будуть задовольняти промисловість, необхідно знайти залежність товщини плівки і її рівномірність від розмірів внутрішніх каналів плоскощілинної головки. Тому математичне моделювання процесу течії полімеру у внутрішніх каналах плоскощілинної головки і формування плівки є актуальним науковим завданням і представляє значний практичний інтерес.

Аналіз публікацій. На сьогодні є ряд робіт, які присвячені проектуванню екструзійних плоскощілинних головок. Найбільш відомі серед них – роботи Рябініна Д.Д. [2], в яких досліджується течія розплаву поліетилену в круглих та плоскощілинних каналах, а також роботи Кима В.С. та Каплуна Я. Б. [3-6], в яких досліджується течія ньютонівських рідин в трикутній плоскощілинній головці. Метою цих дослідів було створення методу розрахунку та регулювання опору головки.

Слід зауважити, що дослідження, які проводилися Рябініним Д. Д. і Каплуном Я. Б., не враховують особливостей геометрії плоскощілинної головки, реологічних властивостей розплаву полімеру, а також його температуру.

На думку окремих авторів [7-9], розрахунок плоскощілинної головки для переробки термостабільних розплавів полімерорганічних композицій проводиться за допомогою моделювання методом скінченних елементів, таких, як циліндр та щілина, з яких складається профіль формуючих каналів плоскощілинної головки. Але, на нашу думку, стиковка цих елементів в цьому методі з достатньою точністю неможлива, а саме з комбінації вказаних елементів складається профіль формуючих каналів плоскощілинних головок.

Мета роботи. Розробити математичну модель, яка дозволяє розрахувати оптимальні геометричні розміри внутрішніх каналів плоскощілинної головки і враховує реологічні властивості течії полімеру у вузьких каналах головки та ефект зменшення товщини плівки між головкою та охолоджувальним валком.

Основний матеріал. Нами розроблено математичну модель, яка описує вплив технологічних параметрів процесу ламінування, а також вплив геометричних розмірів формуючих каналів головки на товщину та рівномірність плівки. Запропонована мо-

дель складається з трьох взаємно пов'язаних моделей: моделі руху розплаву в каналах головки, моделі опису реологічних властивостей розплаву полімеру, моделі витягування плівки між головкою та охолоджувальним валком.

Під час розробки математичної моделі течії розплаву полімеру у формуючих каналах плоскощілинної головки прийняті такі науково-обґрунтовані припущення: розплав є нестисливою рідиною; течія ламінарна; гравітаційні сили настільки малі, що ними можна нехтувати; у місці контакту рідини зі стінками головки немає проковзування.

В основі математичної моделі лежить розбивка плоскощілинної головки на прості ділянки. Так, колектор розбивається на конусні труби різних діаметрів, а щілина, що утворена плитами, на плоскі прямокутні щілини (рис. 1).

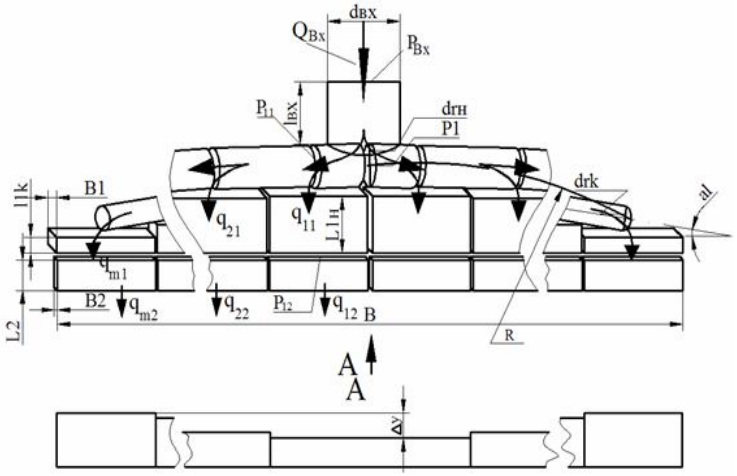


Рис.1. Розрахункова схема плоскощілинної головки

З об'єктів, наведених на рис. 1 можна одержати практично будь-який профіль каналів плоскощілинної головки.

Основні геометричні позначення плоскощілинної головки, які використовуються в математичній моделі представлені на рис.1: d_{BX} – діаметр вхідного патрубка; Q_{Bx} – вхідна об'ємна витрата; P_{Bx} – вхідний тиск; l_{BX} – довжина вхідного патрубка; $P1$ – тиск на вході у колектори; $d_{гн}$ – діаметр рукава колектора на вході; $d_{гк}$ – діаметр рукава колектора на виході; P_{11} – тиск в кінці першої ділянки колектора; P_{12} – тиск між перехідною та вузькою щілиною; al – кут нахилу рукава колектора до горизонту; $B1$ – товщина розподільчої щілини; $B2$ – товщина вузької щілини; L_{1H} – початкова висота перехідної щілини; $l1k$ – кінцева висота розташування рукава; $L2$ – висота вузької щілини; B – довжина головки; R – радіус кривизни колектора; Δy – прогин губки.

Для кожної ділянки можна записати рівняння об'ємної витрати розплаву полімеру через поперечний переріз ділянки, коли відоме значення перепаду тиску, або, навпаки, визначити перепад тиску, коли відоме значення об'ємної витрати. Оскільки відомі швидкість ламінування плівкою матеріалу та розміри кінцевої щілини, то витрати розплаву можна перерахувати в товщину плівки.

Слід відзначити, що для створення рівномірності витікання полімеру із головки кінцева губка (щілина $B2$) має в середині прогин на величину Δy.

Для визначення витрат розплаву полімеру на кожній ділянці потрібно знати його реологічні властивості. Нами встановлено, що залежність напруження зсуву розплаву поліетилену залежить від швидкості зсуву, його температури і має вигляд:

$$\tau = A \cdot e^{E/RT} \dot{\gamma}^{\,c \cdot T^2 + d \cdot T + z}, \qquad (1)$$

де τ – напруження зсуву; A – ефективна в'язкість; E – енергія активації; R – газова стала; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву; T – температура розплаву полімеру; c, d, z – безрозмірні коефіцієнти.

Нами розроблено програму, яка дозволяє по експериментальних залежностях напруження зсуву розплаву поліетилену від швидкості зсуву при різних температурах розрахувати всі невідомі параметри і коефіцієнти рівняння (1). Таким чином вказане рівняння має складний просторовий вигляд залежності напруження зсуву (τ) від швидкості ($\dot{\gamma}$) та температури (T) (рис.2).

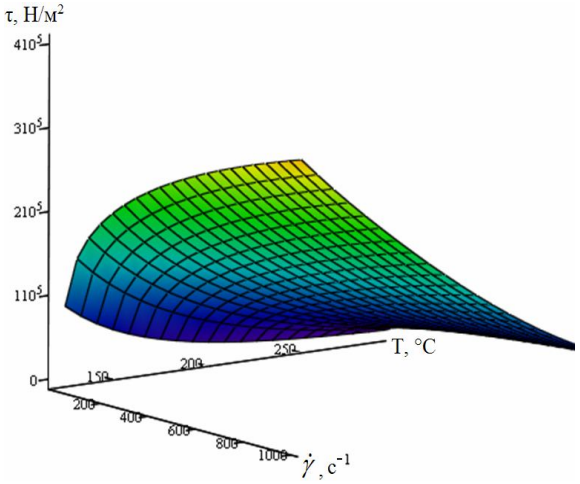


Рис.2. Залежність напруження зсуву (τ) від його швидкості ($\dot{\gamma}$) і температури (Т) для поліетилену 15802-020

Після плоскощілинної головки плівка витягується. При цьому ширина та товщина плівки зменшується. Нами розроблено математичну модель [10], яка дозволяє розраховувати ширину та товщину плівки перед ламінуванням. Під час розробки математичної моделі плівку розбивали на елементарні продовжні смуги, які мали перемінну ширину та товщину. Для вказаних смуг записувались рівняння балансу витрат полімеру по довжині, рівняння рівноваги сил, які діють на смугу та відоме рівняння Шаповала В.М. [9], що поперечне напруження в два рази менше поздовжнього. Розроблена математична модель дозволила аналітично отримати залежність товщини витягнутої плівки δ_1 за рівнянням:

$$\delta_1 = \delta_0 \frac{b_0 \upsilon_0}{b \upsilon_1}. \qquad (2)$$

де δ_0 – товщина плівки на виході із головки; υ_0 – швидкість плівки на виході з головки; υ_1 – швидкість плівки при торканні паперу.

В основу алгоритму розрахунку геометричних розмірів головки покладений баланс тисків і баланс витрат при отриманих тисках по всіх ділянках і по всій головці. Сутність такого розрахунку полягає в тому, що задається значення тиску $P1$ (в межах від 0 до P_{Bx}) після першої ділянки циліндричної труби. Після цього розраховуються витрати полімеру Q_{BX} на вході циліндричної труби довжиною l_{BX} за рівнянням (а) системи (3). Отримані витрати полімеру Q_{BX} розподіляються рівними частками на два нахилених конічних канали, тому що головка вважається симетричною. Витрати $Q_{BX}/2$ та вхідний тиск $P1$ відомі і за рівнянням (в) системи (3) розраховуємо тиск в кінці конічного каналу P_{11}. Для визначення витрат полімеру q_{11} на першій ділянці широкої щілини задаємо тиск P_{12} в межах від 0 до $P1$. Використовуючи рівняння (б) системи (3), розраховуємо q_{11}. Аналогічно розраховуємо витрати на вузькій щілині q_{12} за рівнянням (б) сис-

теми (3), з урахуванням того, що тиск на вході цієї щілині є P_{12}, а на виході з головки надлишковий тиск $P_{ВИХ}$ дорівнює нулю.

$$Q_m = \frac{\pi n R^{\frac{3n+1}{n}}}{(3n+1)}\left(\frac{dp}{2\mu_0 dx}\right)^{1/n} \quad а)$$

$$Q_{щ} = \frac{nh^{\frac{2n+1}{n}}}{(2n+1)}\left(\frac{1}{\mu_0}\frac{dp}{dx}\right)^{1/n} \quad б)$$

$$Q_k = \frac{\pi\mu_0}{2^{2n+3}(n+3)}\left[\frac{6\Delta p tg\alpha}{n\left[\frac{1}{d_2^{3n}-d_1^{3n}}\right]}\right]^n \quad в)$$

$$\Delta p_м = \zeta\rho\frac{v^2}{2} \quad г)$$

$$Q_{BX} = 2\sum_{i=1}^{m} q_{i2} \quad д)$$

$$q_{i2}=q_{i1} \qquad i=1,2....,m \quad е)$$

$$\mu_0 = Ae^{E/RT} \quad ж)$$

$$n = cT^2 + dT + T \quad з)$$

Геометричні розміри головки

$$d_{BX}, l_{BX}, al, drn, drk, B1, B2, l1k, L2, \measuredangle y, B \quad и)$$

$$b = b_0 - l\frac{1-f}{\sqrt{1-(1-f)^2}} \quad к) \qquad (3)$$

$$\delta_1 = \delta_0\frac{b_0 v_0}{b v_1} \quad л)$$

Тиск на вході P_{BX}

Умови: Граничні: м)

Тиск на виході $P_{ВИХ}$

Початкові: $T=f_T(l_i)$ *де* $l_i = i\frac{B}{m}$ н)

Враховуючи, що витрати на широкій щілині та витрати на вузькій щілині будуть різними, методом дихотомії необхідно змінювати тиск P_{12} таким чином, щоб виконувалось рівняння (е) системи (4) $q_{11}=q_{12}$ із заданою точністю (похибка не повинна перевищувати значення Δq=1.0·10-11). Слід зауважити, що ця точність дає похибку на виході менше 0,0001% за витратами полімеру.

В системі рівнянь (3) позначення: Q_m – об'ємна витрата розплаву полімеру через трубу; μ_0 – "умовна" в'язкість розплаву полімеру; n – індекс течії; x – поточна координата. p – тиск полімеру; R – радіус труби; $Q_{щ}$ – об'ємна витрата розплаву полімеру через щілину; h – половина товщини щілини; $Q_к$ – об'ємна витрата розплаву полімеру через конічну трубу; ΔP – перепад тиску на конічному каналі; d_1 – більший діаметр конічної труби; d_2 – менший діаметр конічної труби; 2α – кут конусності; $\Delta p_м$ – місцеві опори; ξ – коефіцієнт місцевого опору; ρ – щільність полімеру; Q_{BX} – витрати полімеру на вході у головку; q_{12} – витрати полімеру на виході з плоскощілинної головки з i-тої ділянки; q_{11} – витрати полімеру на виході з широкої прямокутної щілини з i-тої ділянки; l_i – ширина ділянок.

Після визначення витрат на перших ділянках щілин q_{11} визначаємо витрати на другій конічній трубі як різницю $Q_{BX}/2$- q_{11}. Після цього можна розрахувати тиск в кінці другої ділянки конічної труби P_{21}, процес розрахунку повторити для другої ділянки щілин і так далі до останньої ділянки. Після проведених розрахунків маємо значення витрат на всіх ділянках на виході з головки. Наступним кроком є перевірка, чи виконується рівняння балансу витрат на вході і виході з головки (рівняння (д) системи (3)). Нами прийнята точність балансу витрат на вході та на виході з головки (Δq=1,0·10^{-6}), яка дає похибку по загальних витратах менш ніж 0,01%. Коли витрати на вході перевищують витрати на виході, то величину тиску $P1$ необхідно збільшувати, якщо навпаки, витрати на вході менші ніж витрати на виході, то тиск $P1$ необхідно зменшувати. Для знаходження значення тиску, при якому буде зберігатися із заданою точністю баланс витрат входу і виходу, застосуємо метод дихотомії.

Отримані витрати на виході головки дозволяють розрахувати товщину плівки на виході по рівнянню (л) системи (3) та її ширину по рівнянню (к) системи (3) при відомому значенні швидкості (υ_1) матеріалу, який ламінується.

Таким чином, в цілому, для всієї головки на кожній ділянці буде зберігатися баланс тисків та витрат полімеру.

На основі цього алгоритму було розроблено програму для знаходження тисків та витрат для всієї головки при відомих геометричних параметрах головки, вхідному та вихідному тисках, а також розподілу температур полімеру по ширині головки. Програма розроблена на алгоритмічній мові Delfi (рис.3). Вона дозволяє розрахувати для вже існуючих виробництв точні значення товщин плівки по її ширині.

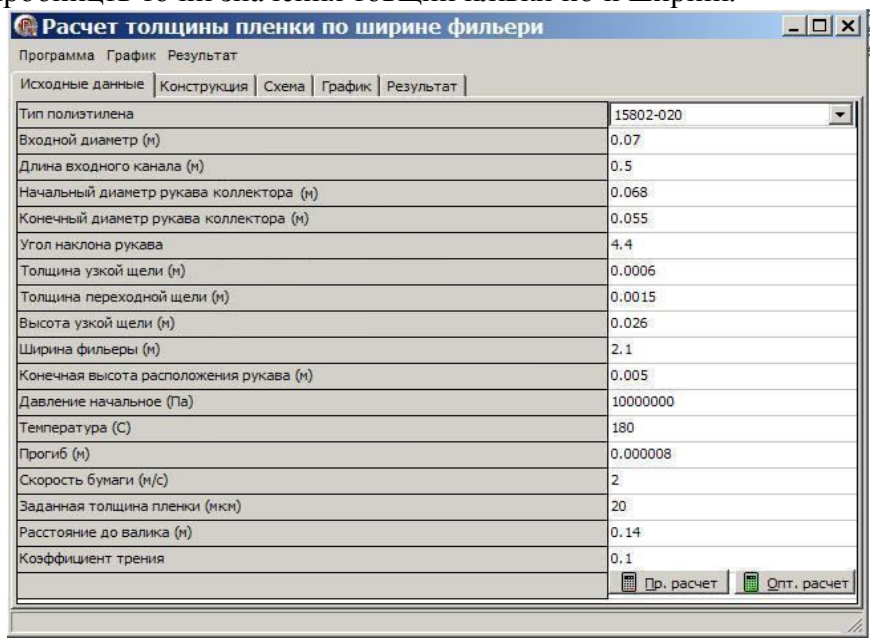


Рис.3. Загальний вигляд інтерфейс програми розрахунку товщини плівки на виході із головки

Обробка результатів розрахунків дозволила провести аналіз впливу геометричних розмірів внутрішніх каналів плоскощілинної головки та технологічних параметрів (тиск на вході у головку, температура полімеру) на рівнотовщинність плівки полімеру на виході з головки, а також дослідити, як змінюється товщина плівки по центру головки та на її край. В роботі побудовані графіки цих залежностей, з яких зроблено висновок, що найбільш впливовим фактором на рівномірність покриття є кут нахилу формуючих каналів. На товщину покриття найбільш суттєво впливає перша ширина щілини B_2, а також достатній вплив довжини вузької щілини, тиску та температури розплаву.

Враховуючи, що більшість геометричних параметрів внутрішніх каналів впливають на витрати полімеру з головки, знайти аналітичним методом їх оптимальні значення неможливо. Для знаходження оптимальних геометричних параметрів головки, при яких витрати полімеру вздовж щілини будуть постійними, потрібно вибрати цільову функцію оптимізації. При цьому в якості цільової функції оптимізації геометричних розмірів нами пропонується рівняння, яке враховує відхилення середньої товщини плівки від потрібної та нерівномірність товщини плівки по її ширині:

$$F = a_1 \cdot (1-k)^2 + e \cdot (S - S_{пот})^2, \qquad (5)$$

де a_1, e – коефіцієнти ; S – товщина плівки, яка розраховується; $S_{пот}$ – товщина плівки, яку потрібно отримати ($S_{пот}$≈2–40 мкм).

При знаходженні цієї цільової функції необхідно отримати її найменше значення. Для вирішення цієї задачі використовувався метод оптимізації, заснований на покоординатному спуску по кожному параметру. Цей метод дозволяє врахувати, який з па-

раметрів найбільш суттєво впливає на рівномірність витікання полімеру і знайти його оптимальне значення. Оптимальні геометричні параметри головки знаходились, коли рівнотовщинність плівки (k) є найбільшою.

Створена математична модель процесу ламінування дозволила встановити вплив технологічних параметрів процесу та геометричних розмірів головки на рівнотовщинність та товщину покриття, а також визначити оптимальні значення параметрів, при яких виробляється ламінований матеріал найкращої якості.

Для оцінки оптимальності визначених параметрів проводились розрахунки по програмі з вивчення впливу на товщину та рівнотовщинність плівки змінних значень одного параметра в межах ±10 % (що є показовим) і постійних значень інших параметрів. Розрахунки показують, що найбільше впливає на товщину полімерного покриття товщина вузької щілини (B_2), висота вузької щілини (L_2), тиск початковий (P_{BX}), вхідна температура (T). Вплив інших параметрів менше 5%. Представимо отримані результати розрахунку у вигляді графіків, рис.4.

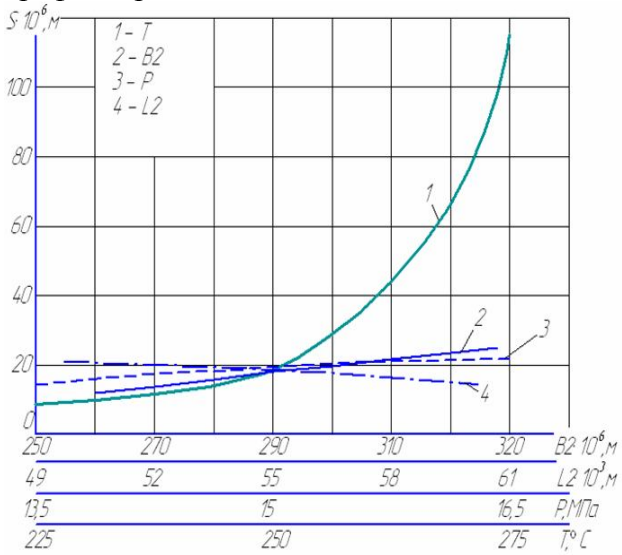


Рис.4. Залежність середньої товщини полімерного покриття (S) від товщини вузької щілини (2), висоти вузької щілини (4), тиску початкового (3), вхідної температури (1)

З рис.4 видно, що зі збільшенням товщини вузької щілини (B_2) та тиску початкового (P_{BX}) товщина полімерного покриття (S) зростає. Причому, при зростанні товщини вузької щілини товщина полімерного покриття зростає швидше, ніж при зростанні тиску початкового. При зростанні висоти вузької щілини товщина полімерного покриття лінійно зменшується приблизно на 10%. Як видно з рис.4, найбільший вплив на товщину полімерного покриття здійснює вхідна температура розплаву.

Розрахунки по програмі показують, що на коефіцієнт рівнотовщинності найбільше впливає діаметр рукава колектора на виході (d_{rk}), кут нахилу рукава колектора (al), товщина розподільчої щілини (B_1), прогин губки (Δy), а вплив інших параметрів незначний (рис.5).

З рис.5 видно, що найбільший вплив на коефіцієнт рівнотовщинності має прогин губки. При зміні цього параметра рівнотовщинність плівки змінюється суттєво.

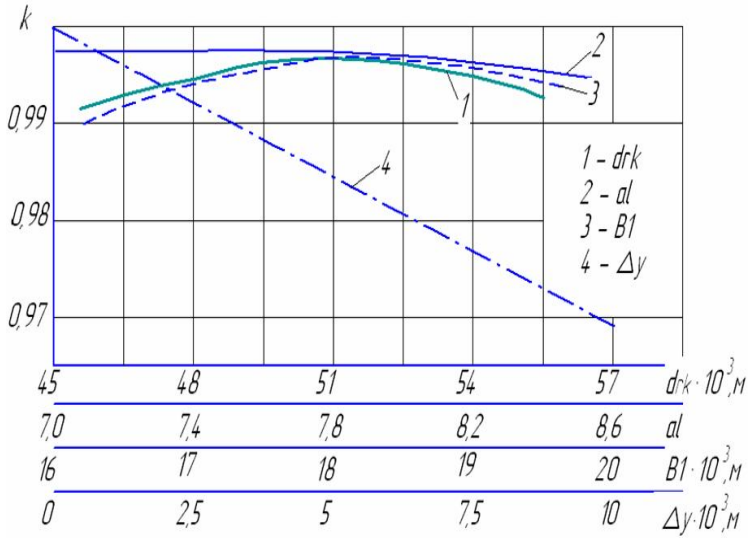


Рис.5. Залежність коефіцієнта рівнотовщинності (k) від діаметра рукава колектора на виході (1), кута нахилу рукава колектора (2), товщини розподільчої щілини (3), прогину губки (4)

Висновки і пропозиції. Розроблено математичну модель, яка дозволяє розрахувати оптимальні геометричні розміри внутрішніх каналів плоскощілинної головки, що дозволяють отримати потрібну товщину та рівнотовщинність полімерної плівки.

Список літературних джерел

1. Полимерные пленки. Под ред. Е.М.Абдель-Бари. -Спб.: Профессия, 2006. - 352 с.

2. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины. Конструкции и технические расчеты. -Спб.: Профессия, 2007. - 472 с.

3. Рябинин Д. Д., Самсоненко Ю. Н., Шевчишен С. Ю. К расчету плоскощелевых головок для производства полиэтилентерефталатных пленок. //Химическое машиностроение, вып. 29. - К.: Техніка, 1979, С. 13-16.

4. Рябинин Д.Д. Исследование течения расплавов полимеров в формующих каналах плоскощелевых экструзионных головок: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.04.09/ Днепк химико-технолог. ин-т. – Днеп-к: 1974. – 27 с.

5. Торнер Р.В. Переработка полимеров. - М.: Химия, 1976. - 404 с.

6. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров. -М.: Колос, 2005. - 568 с.

7. Сокольський О. Л. Розроблення плоскощілинних головок для екструзійного формування листових та плівкових виробів із полімерних композицій: Автореф. дис. канд. техн. наук. 05.05.13 /Нац. техн. ун-т України “КПІ”. -К.: 2005. - 173 с.

8. Nobrega J.M., Cameiro O.S., Pinho F.T., Oliveira P.J. Flow Balancing of Profile Extrusion Dies. In: ANTEC, SPE Annual Technical Conference. Paper presented May 6-10, 2001, Dallas, USA, P. 129-136.

9. Шаповал В.М. Механика элонгационного течения полимеров. – М.: Физматлит, 2007. – 176 с.

10. Чередніченко П.І., Бакалов О.В., Бакалов В.Г. Методика розрахунку плоскощілинної головки. Вісн. Чернігів. держ. техн. ун-у №45, 2010, Серія „Технічні науки” С. 208-213.

УДК 678.027.3-057

И.М. Кузяев, д-р.техн.наук
А.А. Митрохин, канд.техн.наук
Н.А. Рожко, инженер

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

ПОЛУЧЕНИЕ ХИМВОЛОКОН ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА КОМБИНИРОВАННЫХ ЭКСТРУДЕРАХ

Разработана многофункциональная экструзионная приставка с червячно-дисковым узлом, оснащенным ультразвуковым генератором для производства изделий из полимерных нанокомпозитов, в том числе и для получения химических волокон. Представлены теоретические основы и экспериментальные данные для разделения нанодисперсных агрегатов в полимерном материале. Получено уравнение для расчета температурного поля, возникающего в междисковых зонах червячно-дисковых экструдеров для полимерных жидкостей.

1. Постановка задачи

Существует два основных способа получения химических волокон, а именно: из полимерного раствора и расплава полимера. При этом раствор или расплав полимера, из которого формируются нити, называется прядильным раствором. При изготовлении химических волокон необходимо из исходного твердого полимера или его композита в конце процесса получить длинные тонкие нити, имеющие соответствующую продольную ориентацию макромолекул, то есть в процессе переработки необходимо выполнить переориентацию макромолекулы полимера. Для чего следует перевести исходный полимер, в виде порошка или гранул, в вязкотекучее состояние (раствор или расплав). В жидком состоянии (раствор или расплав) в полимерной среде с соответствующей вязкостью уменьшается межмолекулярное взаимодействие и, соответственно, увеличивается расстояние между молекулами, что приводит к возможности их свободного перемещения.

При этом возникают различного типа взаимодействия между молекулами, атомами и другими элементарными частицами, в том числе и наночастицами.

Ориентационное и индукционное взаимодействия связаны с наличием у атомов (молекул, частиц) постоянного дипольного, квадрупольного или другого более высокого мультипольного момента. Молекулярное взаимодействие недипольных молекул стало понятным и разрешимым с использованием аппарата квантовой механики. Следуя основным положениям квантовой механики, дипольный момент атома в основном состоянии испытывает квантовые флуктуации [1]. Одно из проявлений таких флуктуаций предопределяет отличие от нуля квадрата дипольного момента. Данное обстоятельство приводит к новому типу ван-дер-ваальсового взаимодействия, связанного с диполь-дипольными дисперсионными силами.

Первый, достаточно полный математический аппарат для описания дисперсионных сил был создан Ф. Лондоном [2,3], согласно которому энергия взаимодействия U между отдельными атомами и молекулами на расстоянии H, большем по сравнению с их размерами, составляет

$$U = -\frac{C}{H^6}, \qquad (1)$$

где C – константа, характеризующая тип атомов и имеющая всегда положительное значение.

Для определения сил межмолекулярного взаимодействия F необходимо использовать соотношение

$$F = -\frac{dU}{dH}. \quad (2)$$

Выражения (1, 2) получены во втором приближении теории возмущений, примененной к электростатическому взаимодействию двух диполей. Силы межмолекулярного притяжения при этом обратно пропорциональны седьмой степени расстояния между молекулами.

Дальнейшее развитие теория Ф. Лондона получила в макроскопической теории Лифшица [4], в которой взаимодействующие тела рассматриваются как сплошные среды. При этом основная идея теории Лифшица заключается в том, что взаимосвязь между телами происходит за счет флуктуационного электромагнитного поля, которое всегда присутствует внутри всякой материальной среды и выходит за ее пределы благодаря термодинамическим флуктуациям.

Одним из ярких примеров такого поля является тепловое излучение тела. При этом даже при абсолютном нуле существуют электромагнитные флуктуации, в то время как тепловое излучение отсутствует; (флуктуации имеют чисто квантовый характер). В данном случае, в понимании обобщенного термодинамического состояния, проявляется одна общая черта: все флуктуации связаны с неаддитивностью свободной энергии системы тел при учете ван-дер-ваальсовых сил. Это объясняется тем, что свободная энергия не просто пропорциональна объему системы, а зависит при определенном объеме также и от параметров, которые характеризуют взаимное расположение тел. Такого типа неаддитивность, связанная с дальнодействующим характером сил Ван-дер-Ваальса, представляет собой качественно новый эффект.

Следует отметить, что получение волокон из растворов полимеров осуществляют для полимеров, имеющих, как правило, дешевый и доступный растворитель. Растворы используются в большинстве случаев для искусственных и некоторых синтетических волокон, например, полиакрилонитрильных, поливинилспиртовых, поливинилхлоридных.

Расплав полимера применяют для получения волокон из полимеров, для которых температура плавления ниже температуры разложения. При этом расплавы готовят, например, для полиамидных, полиэфирных и полиолефиновых волокон.

Чтобы получить прядильный раствор, следует выполнить ряд операций, среди основных из которых необходимо выделить такие: смешение полимеров из различных ингредиентов для осуществления необходимой однородности перерабатываемой полимерной системы; фильтрацию полимерной системы, заключающуюся в удалении механических примесей и нерастворившихся (нерасплавившихся) частиц полимера путем прохождения перерабатываемого материала через фильтры (при этом фильтрация необходима для предотвращения засорения фильер и улучшения качества нитей); дегазацию расплава (раствора), осуществляющуюся для удаления пузырьков воздуха, которые, попадая в отверстия фильер, могут обрывать образующиеся волокна.

Следует заметить, что для получения химических волокон из композитных полимерных материалов, в том числе и нанокомпозитов, наиболее приемлемым является получение волокон из расплавов полимеров.

2. Описание экспериментального оборудования

Для проведения всего комплекса работы разработан и изготовлен целый ряд экспериментальных установок, которые представляют собой как автономные агрегаты, так и узлы к существующему оборудованию.

Для проведения исследований разработана экспериментальная установка, базирующаяся на высокоточном червячном экструдере и позволяющая изучать влияние режимов переработки на производительность, мощность агрегата и качество получения го-

товых изделий или полуфабрикатов, в том числе и полимерного волокна как из чистого полимера, так и полимерных композитов.

К данной установке сконструирована и изготовлена многофункциональная приставка для анализа влияния скоростей сдвига на протекание процессов при получении нанокомпозитов с возможностью взаимодействия на процесс переработки ультразвуковыми колебаниями.

Многофункциональная приставка представляет собой червячно-дисковый узел, схема которого изображена на рис. 1 (первый вариант исполнения). Приставка по рис. 1 содержит две основные части: функционально-исследуемую часть (ФИЧ-1) I и узел упорного подшипника II, которые крепятся к основанию базового червячного экструдера III.

Узел упорного подшипника состоит из таких элементов: корпуса 1, фланцев 2 и 3, радиально-упорного подшипника 4 и радиальных подшипников 5, 6, а также приводного вала 7. Функционально исследуемая часть содержит корпус переходника 8 с патрубком 9 и нагревателями 10. Оптимизация температуры в этой зоне осуществляется с помощью термопары 11.

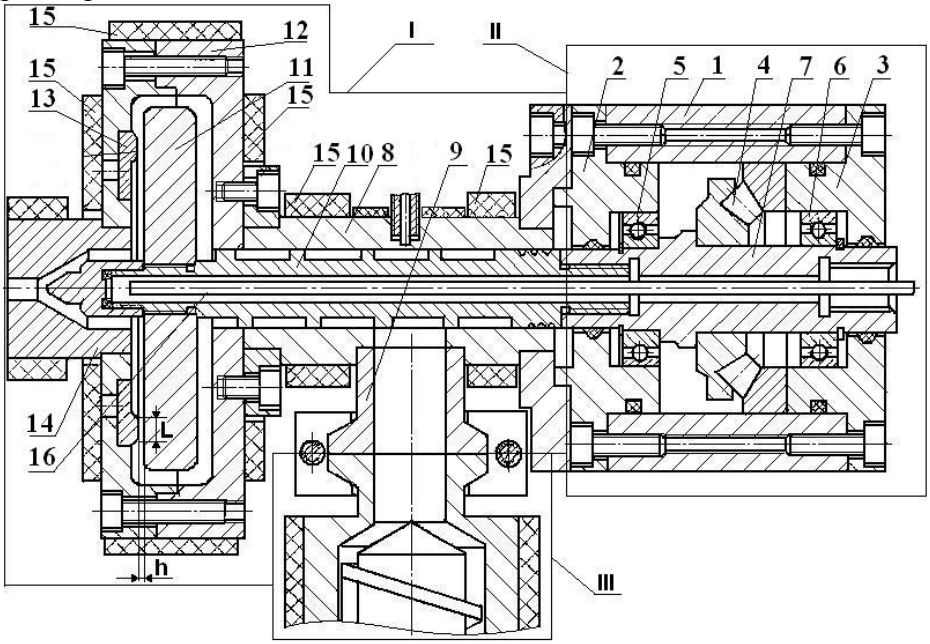


Рис. 1. Многофункциональная приставка с ФИЧ-I (с червячно-дисковым узлом)

Внутри корпуса переходника 8 установлен червяк 10, одним концом вмонтированный в приводной вал 7, а на другом конце крепится вращающийся диск 11. Диск 13 извне охватывается корпусом 12 с внутренними и внешними торцевыми стенками. На внешней торцевой поверхности смонтирована вставка 13 с профильной поверхностью, подбирая которую можно изменять высоту h и длину кольцевой части L, изменяя тем самым скорость деформации и время ее влияния. На выходе из рабочей части установлен патрубок 14 с выходным отверстием.

Нагревание полимерного материала в рабочих зонах дисковой части осуществляется с помощью нагревателей 15. Система охлаждения внутренней поверхности осуществляется через охлаждающую трубку 16. Охлаждение внешней поверхности рабочих элементов осуществляется с помощью вентиляторов (на рисунке не показаны).

Во втором варианте исполнения функционально-исследуемая часть снабжена дополнительно ультразвуковыми волноводами, позволяющими создавать ультразвуковое воздействие в области установки вставки 13. При этом можно изменять три параметра: частоту, амплитуду и длительность воздействия.

Кроме того, также была изготовлена функционально-исследуемая часть по схеме двухчервячного экструдера.

3. Проведение экспериментальных исследований

Одним из наиболее распространенных конструкционных полимерных материалов является полиамид, в том числе и для получения искусственных волокон. Данный материал в чистом виде имеет довольно высокие физико-механические характеристики. Однако, в некоторых случаях возникает необходимость в повышении нагрузочной способности при минимальных габаритных размерах рабочих узлов и машинных агрегатов в целом. В связи с данной проблемой также выполняется исследование по оптимизации свойств с использованием разных комплексных наноматериалов.

Проведены эксперименты по изучению механических свойств композитов, которые состоят из полиамида П-12 и нанодисперсного монтмориллонита (ММТ).

На первой стадии подготовку полимерных композитов выполняли на функционально-исследуемой части по схеме двухчервячного экструдера с такими параметрами: диаметр червяков – 32 мм; соотношение длины червяков к диаметру L/D = 20; частота вращения – 150 об/мин.

На рис. 2 показан график зависимости напряжения при растяжении от деформации при разных массовых частях ММТ.

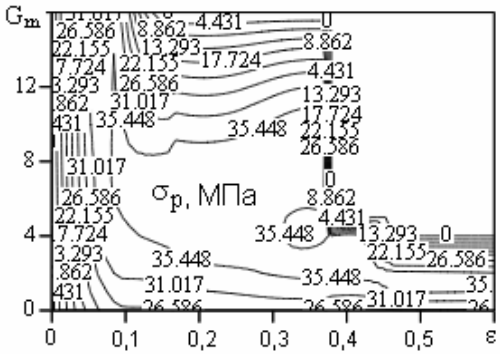


Рис. 2. График зависимости напряжения при растяжении σ_p от деформации ε при разных массовых частях монтмориллонита G_m

Как видно из последнего рисунка, с ростом количества ММТ увеличиваются и прочностные характеристики, а именно, временное сопротивление на разрыв и граница текучести. Однако, такой характер наблюдается при определенном соотношении массы полимера и ММТ. При G_m = 4 масс. ч ММТ имеет место явно выраженный максимум для границы текучести при обработке на двухчервячном экструдере, как видно из плоского графика на рис. 3.

При этом нельзя однозначно сказать, идет ли насыщение ММТ как отдельных частиц, или не получено равномерное распределение наполнителя по объему полимера.

С целью оценки интенсивности влияния сдвиговых деформаций на степень разделения нанокомплексов и их характер распределения по объему полимерной массы, подготовку композитов на второй стадии проводили на червячно-дисковом экструдере согласно схемы на рис. 2.

В этом случае частота вращения оставалась такой же, но варьировалась геометрическими параметрами h и L.

Графики, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что соответствующая обработка в дисковом зазоре приводит к значительному повышению механических свойств изделий, изготовленных из полимерных нанокомпозитов.

Данный эффект можно объяснить двумя основными причинами. Во-первых, в дисковом зазоре можно создать скорости сдвига на интервале $10^2 – 10^4$ c^{-1}, причем на разных промежутках по времени, приводящие к делению наноагрегатов на отдельные элементы, которые имеют свободные радикалы, что позволяет создавать новые связи. Во-вторых, данные элементарные наночастички равномерно распределяются по всей по-

лимерной матрице, создавая более разветвленную площадь контакта между наночастичками и расплавом полимера.

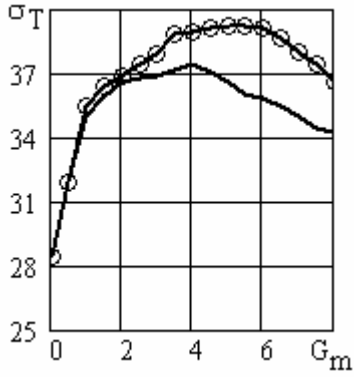


Рис. 3. Зависимости границы текучести σ_T от содержимого G_m монтмориллонита в полиамиде: —— - при обработке на двухчервячном экструдере; —o— - при обработке на червячно-дисковом экструдере

На рис. 4 показан график, полученный при тех же параметрах, что и для рис. 2, но с добавлением ультразвукового воздействия при частоте в 14 кГц и амплитуде колебаний 140 мкм.

При сравнении графиков на рис. 2 и рис. 4 видно, что ультразвуковое воздействие значительно повышает прочностные свойства получаемого продукта. При этом наблюдается смещение максимума напряжений в сторону увеличения массовых частей нанонаполнителей.

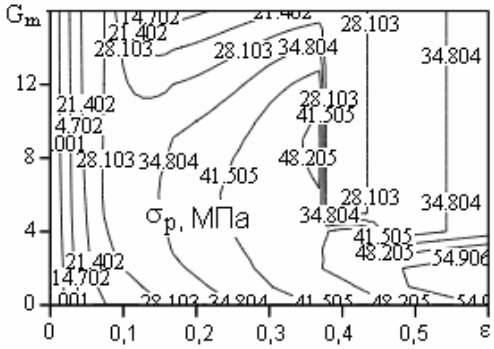


Рис. 4. График зависимости напряжения при растяжении σ_p от деформации ε при разных массовых частях монтмориллонита G_m с учетом ультразвукового воздействия

4. Основные теоретические положения

Очень большое влияние на качество получаемого изделия оказывает температурное поле, возникающее в рабочем объеме перерабатывающего оборудования, что связано со значительными диссипативными процессами. Данные процессы связаны с внутренним трением, вызванным повышенными скоростями сдвига, что особенно следует отнести к междисковым зазорам червячно-дисковых экструдеров.

Для описания температурного поля в междисковых зазорах червячно-дисковых экструдеров получено такое выражение

$$T = 0{,}5\cdot\left(T_p + T_k\right) + 0{,}5\cdot\left(T_p - T_k\right)\cdot\left[\sum_{k=0}^{\infty} erfc\left(0{,}5\cdot\alpha_k/\sqrt{r}\right) - \sum_{k=0}^{\infty} erfc\left(0{,}5\cdot\beta_k/\sqrt{r}\right)\right] +$$

$$+ 2\cdot\left(T_p + T_k - 2\cdot T_n\right)/\pi\cdot\sum_{k=1}^{\infty}(-1)^k\cdot(2\cdot k-1)^{-1}\cdot\cos\left[z\cdot\pi/h\cdot(2\cdot k-1)\right]\times$$

$$\times\exp\left[-\pi^2/\left(AV\cdot h^2\right)\cdot(2\cdot k-1)^2\cdot r\right] - 4\cdot h^2\cdot FD/\pi^3\cdot\sum_{k=1}^{\infty}(-1)^k\cdot(2\cdot k-1)^{-3}\times$$

$$\times\cos\left[z\cdot\pi/h\cdot(2\cdot k-1)\right]\cdot\left\{1-\exp\left[-\pi^2/\left(AV\cdot h^2\right)\cdot(2\cdot k-1)^2\cdot r\right]\right\}, \qquad (3)$$

где $\alpha_k = \sqrt{AV}\cdot\left[-z + h\cdot(1+2\cdot k)\right]$; $\beta_k = \sqrt{AV}\cdot\left[z + h\cdot(1+2\cdot k)\right]$; $AV = \rho\cdot C_p\cdot V_r/\lambda$; $FD = q_{dis}/\lambda$; q_{dis} – функция диссипации; T_p – температура поверхности подвижного диска; T_k – температура поверхности корпуса дисковой зоны; T_n – начальная температура жидкости на входе в междисковый зазор.

Получены и другие зависимости для описания технологических процессов, позволяющих оптимизировать свойства выпускаемых изделий из полимерных материалов на экструзионном оборудовании [5-8].

Выводы

1. Разработана и изготовлена многофункциональная приставка с червячно-дисковым и двухчервячным узлами для исследования процессов экструзии, в том числе и для получения химических волокон.

2. Приведены экспериментальные результаты, показывающие высокую степень адекватности с данными, которые получены с помощью построенных математических моделей.

3. Получены теоретические соотношения для моделирования процессов переработки, связывающие технологические и конструктивные параметры со свойствами материала.

4. Полученные результаты исследований позволяют оценить параметры ультразвукового воздействия на свойства получаемого изделия.

Список литературных источников

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – М.: Наука, 1974. – 752 с.
2. F. London. Zur theorie und systematic der molekularkräfte // Zeitschrift für Physik. – 1930. – B.63. – S. 245 – 279.
3. F. London. The general theory of molecular forces // Trans. Far. Soc. – 1936. – Vol. 33. – P. 8 – 26.
4. Лифшиц Е.М. Теория молекулярных сил притяжения между твердыми телами // ЖЭТФ. – 1955. – Т.29. – №1. – С. 94 – 110.
5. Кузяев И.М. Основополагающие аспекты моделирования процессов в дисковых зазорах при течении через них жидких сред // Вопросы химии и хим. технологии. – 2007. – № 2. – С. 188–203.
6. Кузяев И.М. Разработка программного пакета в системе Mathcad для оптимизационного проектирования и моделирования работы экструзионных агрегатов // Plastics Processing Technology Summit, 2004. – Xi'an: China. – 2004. – P. 68 – 78
7. Кузяев И.М. Моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в агрегатах с рабочими пространствами между двумя дисками при переработке жидких сред // Промышленная теплотехника. – 2003. – Vol.25, № 5. – С. 17 – 24.
8. Кузяев И.М. Моделирование поведения агрегатов из нанодисперсных частиц в полимерной среде под действием периодически изменяющегося силового поля // Вопросы химии и химической технологии. – 2005. – № 5. – С. 139 – 145.

УДК 620.197.3

И. Н. Курмакова, канд. хим. наук
Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, Украина

А. А. Королев, канд. техн. наук
О.И. Сизая, докт. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, Украина

ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ БРОМИДА ИМИДАЗОАЗЕПИНИЯ ПРИ КИСЛОТНОМ ТРАВЛЕНИИ СТАЛИ

Исследованы противокоррозионные свойства бромида 1-(4-этоксифенил)-2-(1,4-бенздиоксан-6-ил)-2-гидрокси-2,3,6,7,8,9-гексагидро-5Н-имидазо[1,2-а]азепиния в хлоридной среде при pH 0-2. Установлено, что при концентрации 1,2 ммоль/л защитный эффект составляет 97,3% и увеличивается при повышении температуры (98,2% при 333К). Высокое защитное действие объяснено с привлечением результатов расчетов зарядов на адсорбционно-реакционных центрах молекулы (Chem3D, метод MOPAC, PM3) и оценки влияния ингибитора на величину краевого угла смачивания.

Постановка проблемы

Азотсодержащие гетероциклы – производные имидазола, бензимидазола, пиридина известны как высокоэффективные ингибиторы (Ин) коррозии, хорошо зарекомендовавшие себя в противокоррозионной практике [1]. В рядах четвертичных солей с конденсированным имидазоазепиниевым циклом найдены соединения, проявляющие высокий защитный эффект при ингибировании кислотной коррозии углеродистой стали [2-4]. При этом механизм ингибирующего действия указанных солей изучен недостаточно, не рассмотрено их влияние на смачивание поверхности металла агрессивной средой, поверхностное натяжение и коэффициент растекания. Исследование противокоррозионных свойств и поверхностной активности бромида 1-(4-этоксифенил)-2-(1,4-бенздиоксан-6-ил)-2-гидрокси-2,3,6,7,8,9-гексагидро-5Н-ими-дазо[1,2-а]азепиния позволит расширить арсенал ингибиторов кислотной коррозии и с привлечением полученных ранее результатов установить корреляционные зависимости, позволяющие прогнозировать ингибирующее действие производных бромида имидазоазепиния.

Анализ последних исследований и публикаций

Квантовохимические расчеты стали важной составляющей исследований, связанных с ингибированием коррозии металла [5-8]. Они позволяют не только оценить механизм адсорбции ингибиторов на поверхности металла, установить закономерности «структура – свойства», но и прогнозировать ингибирующее действие не исследованных ранее соединений.

Изыскание новых ингибиторов кислотной коррозии особенно перспективно в рядах азотсодержащих гетероциклических соединений с разными, в том числе ароматическими, заместителями, что способствует проявлению эффекта внутримолекулярного синергизма.

В представленной работе исследовалось производное ряда бромида имидазоазепиния (БИА) с заместителем, представляющим собой конденсированную систему бензольного и диоксанового циклов, что обеспечивает большее экранирование поверхности молекулой ингибитора и соответственно большие защитные свойства.

Формулирование целей статьи

Цель работы – исследование ингибирующего действия четвертичной соли имидазоазепиния при кислотном травлении углеродистой стали в кислых хлоридных растворах и выявление корреляционной зависимости коэффициента ингибирования от заряда на

адсорбционных центрах молекулы в ряду реакционной серии бромидов 1-(4-этоксифенил)-2-гидрокси-2,3,6,7,8,9-гексагидро-5Н-имидазо[1,2-а] азепиния.

Изложение основного материала исследований

Структурная формула соединения, исследованного в работе (любезно предоставлено проф. А.М.Демченко), с указанием величины зарядов на основных адсорбционно-реакционных центрах (Chem3D, метод MOPAC, PM3) приведена на рис. 1.

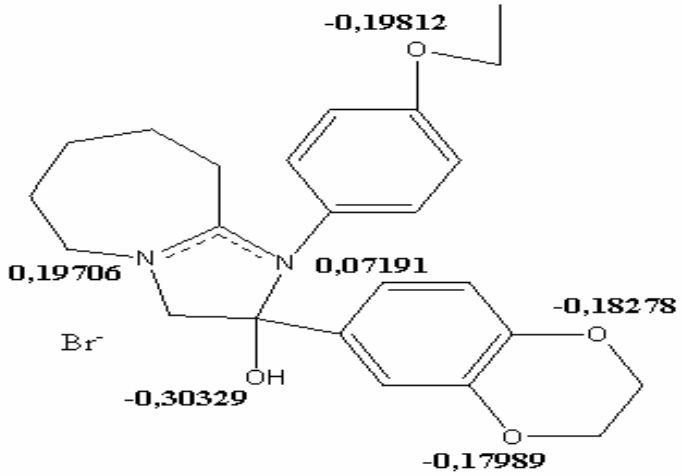


Рис. 1. Заряды на реакционно-адсорбционных центрах БИА

Выбранная четвертичная соль является представителем серии веществ, исследованных в [3]. Наличие в структуре соединений этой реакционной серии гетероатомов, в том числе азота и кислорода, бензольных колец, гидроксильной группы, делает их перспективными ингибиторами с высокой противокоррозионной активностью.

Ингибирующее действие БИА на коррозию стали 45 оценивали гравиметрическим ($С_{Ин}$= 0,5 г/л) и электрохимическим ($С_{Ин}$= 1,2-4,8 ммоль/л) методами [9]. Коррозионная среда – растворы *HCl* (10%-ный и с pH 0-2). Температура – 293; 313 и 333 К. Защитный эффект рассчитывали по формуле $Z_m = (1 - 1/\gamma_m) \times 100\%$), где γ_m – коэффициент торможения коррозии. Поляризационные кривые (потенциостат П-5848) снимали от стационарного потенциала (80 мВ/мин) с применением стеклянной трехэлектродной электрохимической ячейки с разделенными катодным и анодным пространствами на торцевом электроде из стали 45, впрессованном во фторопластовый кожух. Электрод сравнения – хлорид-серебряный, вспомогательный – платиновый. Потенциал рабочего электрода пересчитывали на стандартную водородную шкалу. По поляризационным кривым определяли потенциал (φ_c) и ток (I_c) электрохимической коррозии, катодного ($I_к$ при $\varphi_к$ = -0,5 В) и анодного (I_a при φ_a = -0,14 В) парциальных процессов, коэффициенты торможения γ_c, $\gamma_к$, γ_a ($\gamma = I / I'$, где I, I' – ток коррозии без ингибитора и в присутствии ингибитора соответственно), величину смещения адсорбционного потенциала ($\Delta\Psi'$). Константы уравнения Тафеля ($a_к$, a_a, $b_к$, b_a) определяли при математической обработке (Microsoft Excel) экспериментальных значений тока и потенциала (5-7 точек), соответствующих начальным прямолинейным участкам катодной и анодной поляризационных кривых. Рассчитывали также коэффициенты катодно-ингибиторной ($\beta_э = I_c/I'$) и катодной ($\beta_{кп} = I_c'/I'$) защиты, где I' – скорость растворения стали при $\varphi_к$ = -0,5 В в ингибированной среде.

Механизм ингибирования устанавливали по характеру спада катодного тока (на 0,6 В отрицательнее стационарного) при введении ингибитора в перемешиваемый раствор фона [1]. Коэффициент апроксимации (R^2) рассчитывали для зависимостей: $lnI - f(\tau)$, ΔI

- f(lnτ), lnΔI - f(lnτ), lnlnI/I∞ -f(τ), lnγ - f(lnτ), lnlnγ - f(lnτ) с использованием программы Microsoft Excel.

Адсорбцию БИА на стали оценивали по величине краевого угла смачивания (θ) с учетом угла натекания и оттекания и величине поверхностного натяжения (σ), которое определяли сталагмометрическим методом. Работу адгезии ($W_a=\sigma+cos\theta$), когезии ($W_к=2\sigma$) и коэффициент растекания по Гаркинсу ($f= W_a - W_к$) рассчитывали согласно [10].

Исследование БИА показало высокую противокоррозионную эффективность, что превосходит изученные ранее бромиды имидазо[1,2-а]азепиния [3]. Так, при концентрации 1,2 ммоль/л в 10% *HCl* защитное действие на стали 45 по результатам гравиметрии – 97,3%; 97,4% и 98,2% при 293 К; 313 К и 333 К соответственно. Рассчитанная энергия активации коррозионного процесса в присутствии БИА на 3 кДж/моль меньше, чем в неингибированном растворе *HCl*, что можно объяснить значительным тепловым эффектом при хемосорбции молекулы на поверхности стали.

Результаты электрохимических исследований процесса коррозии стали в присутствии БИА представлены на рис. 1, 2 и в табл. 1 - 3.

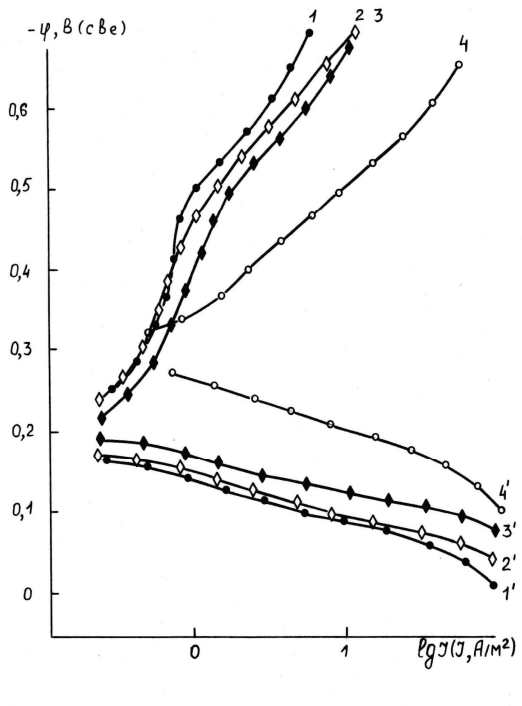


Рис. 1. Поляризационные катодные (1-4) и анодные (1'-4') кривые стали 45 в 0,1М HC1 при изменении концентрации БИА: 1,1'– 1,2 ммоль/л; 2,2' – 2,4 ммоль/л; 3,3'– 4,8 ммоль/л; 4,4'– без БИА.

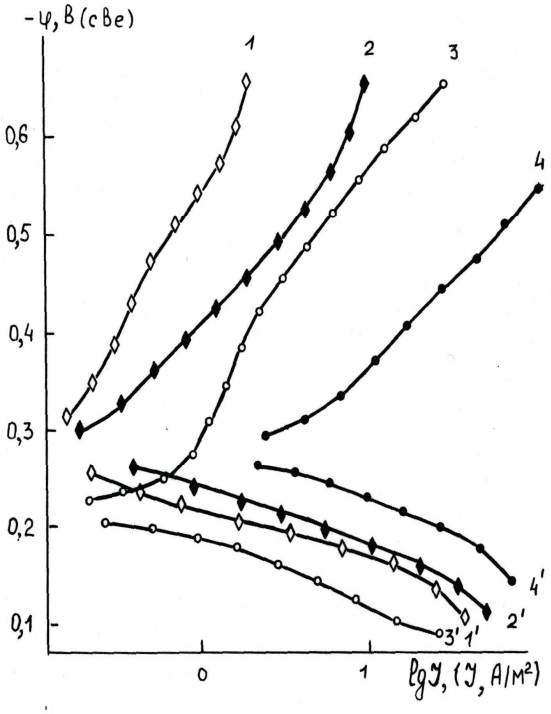


Рис. 2. Поляризационные катодные (1-4) и анодные (1'-4') кривые стали 45 в растворах HC1:
1,1′; 2,2′ – pH=2; 3,3′; 4,4′ – pH =0;
1,1′;3,3′ – с добавкой 1,2 ммоль/л БИА; 2,2′; 4,4′ – без БИА

В ингибированном растворе потенциал электрохимической коррозии в зависимости от концентрации БИА выше на 70-90 мВ, что указывает на преимущественное торможение процесса окисления металла возле φ_c. Константы уравнения Тафеля $a_к$ и a_a увеличиваются в ингибированном растворе на 110-320 мВ. Исследованная соль является ингибитором смешанного типа с преимущественным торможением анодного процесса.

При этом коэффициент катодно-ингибиторной защиты на порядок больше, чем катодной (табл. 2).

Таблица 1

Кинетические параметры сопряженных электродных процессов стали 45 в 0,1 М HCl

$C \cdot 10^3$ моль/л	Плотность тока, А/м^2			$-\varphi_c$, В	$\Delta\Psi'$, В	Константы уравнения Тафеля			
	I_c	I_a	$I_к$			$a_к$	a_a	$в_к$	$в_a$
-	0,48	79,43	9,12	0,29	-	0,92	0,56	0,16	0,06
1,2	0,07	7,24	1,70	0,22	0,16	1,19	0,61	0,20	0,04
2,4	0,04	1,29	1,29	0,21	0,18	1,22	0,65	0,20	0,04
4,8	0,03	0,95	0,95	0,20	0,25	1,24	0,66	0,20	0,04

Таблица 2

Коэффициенты ингибирования стали 45 БИА в 0,1 М HCl (293К)

$C_{Ин} \cdot 10^3$, моль/л	γ_c	$\gamma_к$	γ_a	$\beta_э \cdot 10^{-8}$	$\beta_{кп} \cdot 10^{-9}$
1,2	6,9	5,4	11,0	1,2	1,7
2,4	12,0	7,1	61,6	4,2	3,9
4,8	16,0	9,6	83,6	7,5	5,0

Кинетические параметры катодного выделения водорода (табл. 3) указывают на изменение механизма катодного процесса, который при действии БИА реализуется как смешанный – «замедленный разряд - рекомбинация».

Таблица 3

Кинетические параметры катодного выделения водорода

Характеристика	Фон	БИА	Теория	
			замедленный разряд	замедленная рекомбинация
$-d\varphi_к/dpH$	0,13	0,10	0,12	0,06
$-dlgI_к/dpH$	0,87	0,55	1,00	0,50
$d\varphi_к/dlgI_к$	0,16	0,20	0,12	0,06

С увеличением pH кислоты ингибирующее действие БИА уменьшается (рис. 2, 3), что указывает на адсорбцию молекул БИА на поверхности стали в виде катиона и согласуется с положительными значениями $\Delta\Psi'$ (табл. 1).

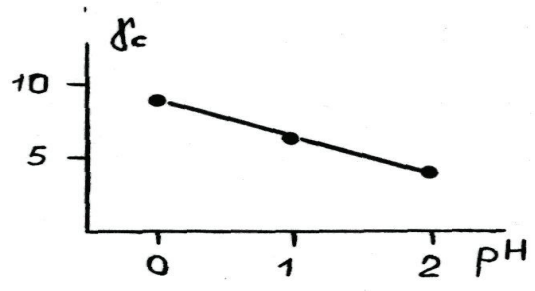
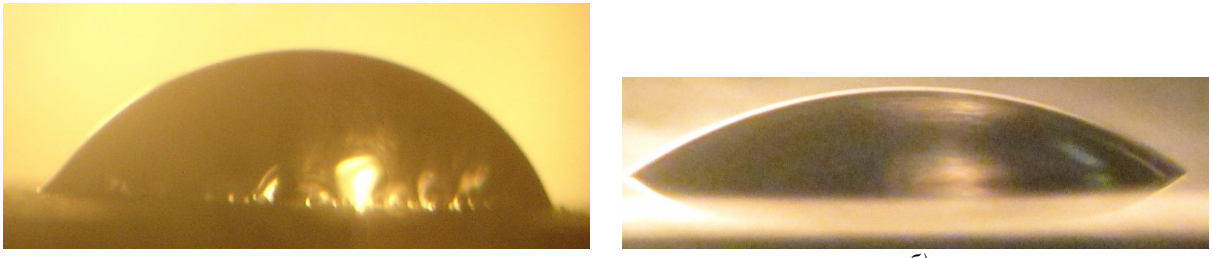


Рис. 3. Зависимость коэффициента торможения электрохимической коррозии от pH раствора HCl

Адсорбции ингибитора способствует его поверхностная активность. Введение БИА в раствор *HCl* снижает поверхностное натяжение на 8,7%, увеличивает работу адгезии W_a на 2,6%, снижает работу когезии $W_к$ на 8,6%. В результате коэффициент растекания по Гаркинсу увеличивается с -24,8 до -9,2, т.е. на 62,9% (рис. 4).



а) *б)*

Рис. 4. Капля 0,1М HCl на поверхности стали: а) без ингибитора; б) с 0,5 г/л БИА.

Исследование кинетики спада тока при катодной поляризации электрода позволило установить блокировочное действие при хемосорбции БИА на экспоненциально-неоднородной поверхности. Коэффициент аппроксимации (R^2) в координатах $lg\Delta I = 0{,}055 lg\tau + 3{,}06$ равен 0,98; время установления адсорбционного равновесия – до 200 секунд.

Образование макроциклических металлохелатных пленок возможно при участии нескольких адсорбционных центров – бензольные ядра, атомы кислорода диоксанового цикла, пиррольный и пиридиновый атомы азота имидазольного ядра.

Учитывая результаты исследования и данные [3] для ряда производных бромида имидазо[1,2-а]азепиния можно получить корреляционные зависимости коэффициента торможения от заряда атома азота (рис. 5). При этом ингибирующее действие возрастает с увеличением заряда на общем для конденсированной системы атоме азота – N(2) и уменьшением заряда на имидазольном азоте – N(1).

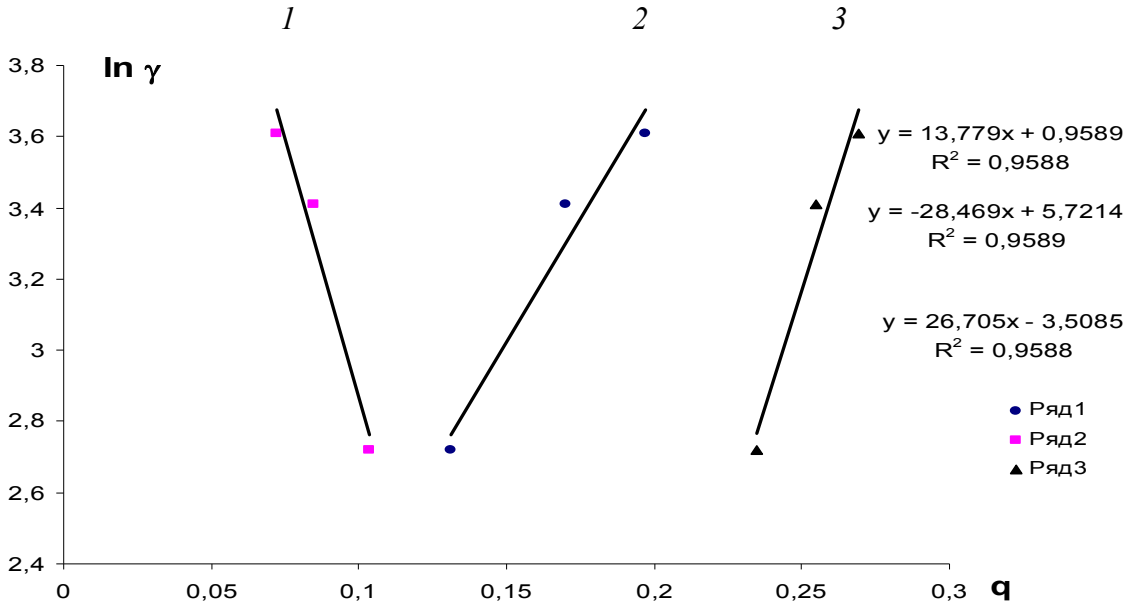


Рис. 5. Зависимость коэффициента торможения коррозии от заряда:

1 – $ln\gamma_m$ - q N(1); 2 – $ln\gamma_m$ - q N(2); 3 – $ln\gamma_m$ - (q N(1) + q N(2)).

Установленная корреляция позволяет сделать вывод, что образование адсорбционных соединений металл-БИА происходит с участием азота имидазольного цикла N(1) по донорно-акцепторному механизму с передачей электронов на свободные орбитали железа. Общий для гетерогенной системы атом азота N(2), имеющий больший положительный заряд, отвечает за электростатическое взаимодействие молекулы с отрицательно заряженной в соляной кислоте поверхностью металла.

Выводы

Исследования показали, что бромид 1-(4-этоксифенил)-2-(1,4-бенздиоксан-6-ил)-2-гидрокси-2,3,6,7,8,9-гексагидро-5Н-имидазо[1,2-а]азепиния является эффективным ингибитором коррозии малоуглеродистых сталей как при комнатной, так и повышенных температурах (Z_m = 97,3%; 97,4% и 98,2% при 293; 313 и 333К соответственно).

Введение данного ингибитора в раствор *HCl* снижает поверхностное натяжение на 8,7%. В результате коэффициент растекания по Гаркинсу увеличивается на 62,9%.

Предложенный ингибитор может быть рекомендован для обработки технологических сред с целью обеспечения качества процессов и защиты оборудования.

Список литературных источников

1. Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. –Л.: Химия, 1986. – 144с.
2. Грузнова С.В., Курмакова И.Н., Демченко А.М. и др. //Защита металлов. –1992. – Т.28. № 6. –С.1020 – 1023.
3. Курмакова И.Н., Грузнова С.В., Демченко А.М. и др. //Защита металлов. –1994. – Т.30, № 5. –С.550 – 551.
4. Старчак В.Г., Курмакова И.Н., Челябиева В.Н. и др. //ЖПХ. –1996. –Т.69. № 9. – С.1496 – 1500.
5. Колотыркин Я.М. Успехи и задачи развития теории коррозии //Защита металлов. – 1980. –Т.16, № 6. –С.660 – 668.
6. Авад Г.Х., Асад А.Н., Абдель А.М., Масуд С.С. //Защита металлов . – 1997. – Т.33. №6. – С.565-572.
7. Бугай Д.Е., Габитов Л.И., Бреслер И.Г. и др. //ДАН СССР. – 1990. – Т.314. №2. – С.384-386.
8. Дорошенко Т.Ф., Скрыпник Ю.Г., Лящук С.Н. // Защита металлов. – 1995. – Т.31. №4. – С.360-364.
9. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыксин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях в электрохимической защите. – Л.: Химия, 1972. – 240с.
10. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1982. – 400с.

УДК 621.762:669.23

А.А. Внуков, науч. сотр.
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск
Е.Э. Чигиринец, д-р техн. наук
Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ ЧИСТОГО МЕДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПОРОШКА

Рассмотрены вопросы влияния химической чистоты основных компонентов сернокислого электролита (в первую очередь сульфата меди) на процессы структурообразования медного электролитического осадка и его химический состав. Для оценки морфологии частиц осажденной меди использовали методы растровой электронной микроскопии. Для оценки чистоты медного осадка применяли рентгеноструктурный анализ и методы эмиссионного атомного спектрального анализа.

Постановка проблемы

Химический состав металлических порошков во многом зависит от химического состава исходных материалов для их получения, а также метода их производства. Содержание основного металла в порошках бывает, как правило, не ниже 98-99%. Такая чистота исходных порошкообразных металлов для получения из них большинства изделий является удовлетворительной. Однако, для изготовления некоторых видов изделий, обладающих специальными свойствами, требуются порошки более высокой чистоты.

Предельное содержание примесей в порошках определяется допустимым содержанием их в готовой продукции, за исключением оксидов, которые могут быть удалены при спекании. Поэтому в большинстве порошков допускается сравнительно высокое содержание кислорода (0,2-1,5 %), что соответствует содержанию оксидов порядка 1-10 %. Большее содержание оксидов обычно снижает прессуемость порошка и прочность формовок, затрудняет спекание и ухудшает механические свойства получаемых изделий.

Наибольшую химическую чистоту металлических порошков обеспечивает электролитический метод их получения. В частности, в большинстве марок производимой в настоящее время порошковой меди содержится свыше 99,5 % основного компонента. Однако, современные технологии требуют повышения чистоты медных порошков до 99,99 % и выше, что позволит расширить области их применения и повысить уровень свойств спеченных изделий.

Одним из главных недостатков электролитического метода является высокие требования по химической чистоте основных компонентов электролитов, и особенно сернокислых. Речь идет, в первую очередь, о примесях, которые в большом количестве содержатся в пятиводном сульфате меди, оказывая отрицательное влияние не только на чистоту медного осадка, но и на процессы его формирования.

Особенно вредно на структуру осадка влияет повышенное содержание хлоридов в электролите, вносимых с медным купоросом. Присутствие хлоридов способствует повышению дендритности частиц порошка, приводит к образованию слишком тонких нитей и ветвей. Насыпной вес порошков сильно уменьшается, они становятся настолько легкими, что требуется длительное их измельчение для придания нормального насыпного веса. При этом сильно возрастает окисляемость порошков при последующих операциях их промывки, сушки и просева [1].

С плохо очищенной серной кислотой в электролит можно занести сернистый газ, окислы азота, органические и другие примеси, вредно сказывающиеся на структуре и качестве осадка. При этом на катоде могут выделяться тонкие (ползучие) черные порошки в виде шлама.

Цель и задачи исследований

Цель исследований – получение химически чистого медного электролитического порошка с содержанием основного компонента не менее 99,9 %.

Задача исследований – оценка степени влияния химического состава основных компонентов сернокислого электролита, а также типа воды для его приготовления на химическую чистоту и процессы структурообразования медного электролитического осадка.

Методика исследований

Процесс электролитического осаждения вели с использованием медного растворимого анода (химический состав анодов приведен в таблице 1) и платинового катода по следующему режиму:

- состав электролита: 130 г/л H_2SO_4+40 г/л $CuSO_4$;
- плотность тока – 15 А/дм^2;
- температура электролита – 45 - 50^{0}С;
- форма катода – пластина;
- время электролиза – 1 час;
- циркуляция электролита 1 л/мин.

Таблица 1

Химический состав медных растворимых анодов

Содержание элементов, %									
Cu	Fe	Zn	Si	P	Sb	S	Co	Se	остальное
99,9668	0,0020	0,0018	0,012	0,0058	0,0017	0,0022	0,001	0,0009	0,0058

После истечения процесса электролиза полученный осадок промывали и сушили на воздухе при температуре 80°С в течение 1 часа.

Для приготовления сернокислого электролита использовали различные марки медного купороса (химический состав использованных для исследований марок кристаллогидрата сернокислой меди приведен в таблице 2), а также два вида воды: техническую и дистиллированную.

Таблица 2

Химический состав использованной в исследованиях меди сернокислой пятиводной

Наименование показателя	Марка и сорт сульфата меди		
	А, высший	В, высший	В, второй
1. Массовая доля медного купороса - в пересчете на $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, % не менее - в пересчете на медь, %, не менее	 99,1 25,2	 98,1 24,97	 93,1 23,67
2. Массовая доля железа, %, не более	0,02	0,04	0,10
3. Массовая доля свободной серной кислоты, %, не более	0,20	0,20	0,20
4. Массовая доля нерастворимого в воде осадка, %, не менее	0,03	0,05	0,10
5. Массовая доля мышьяка, %, не менее	0,002	0,012	0,028

Химический состав электролитов для получения исследуемых видов медного осадка приведен в таблице 3.

Таблица 3

Химический состав электролитов для получения исследуемых видов медного осадка

№ опыта	Марка и сорт сульфата меди			Тип воды	
	А, высший	В, высший	В, второй	техническая	дистиллированная
1	+			+	
2	+				+
3		+		+	
4		+			+
5			+	+	
6			+		+

Готовый медный осадок контролировали по химическому составу, а также исследовали морфологию частиц меди. Для оценки морфологии частиц осажденной меди использовали методы растровой электронной микроскопии. Для оценки чистоты медного осадка применяли рентгеноструктурный анализ и методы эмиссионного атомного спектрального анализа.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований химического состава полученного медного осадка приведены в таблице 4.

Таблица 4

Химический состав медного осадка

№ опыта	Содержание элементов, %								
	Cu	Fe	Zn	Si	P	Sb	S	Co	Se
1	99,866	0,052	0,018	0,012	0,0038	0,0017	0,0022	0,001	0,0009
2	99,842	0,063	0,022	0,013	0,0039	0,0017	0,0023	0,001	0,0009
3	99,500	0,107	0,035	0,039	0,0044	0,0280	0,0840	0,001	0,0100
4	99,600	0,056	0,032	0,022	0,0036	0,0150	0,0290	0,001	0,0012
5	99,350	0,211	0,128	0,052	0,0049	0,0035	0,0990	0,001	0,0130
6	99,410	0,115	0,123	0,044	0,0047	0,0320	0,0920	0,001	0,0120

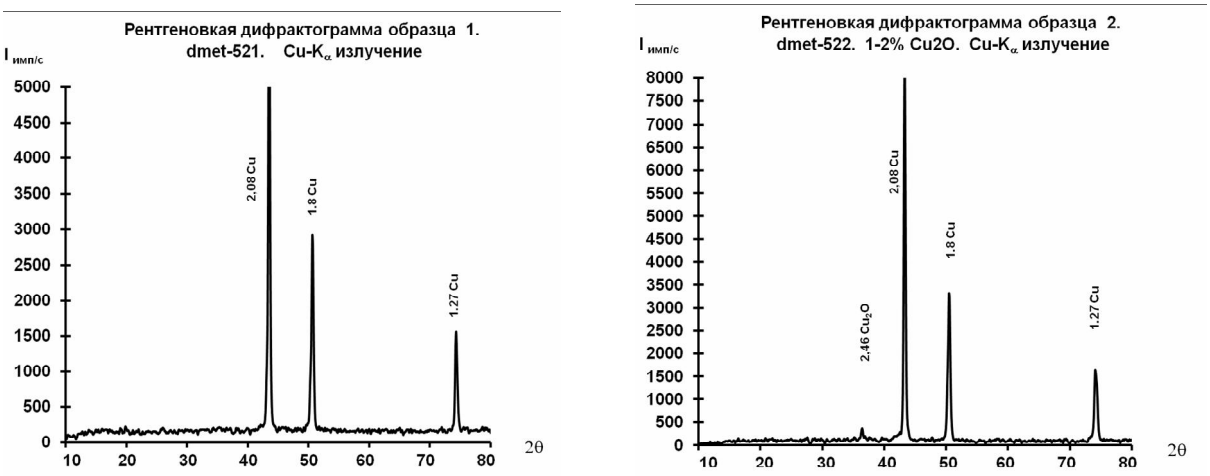
Согласно полученным данным наиболее чистый по содержанию основного компонента осадок образуется в электролитах 1 и 2, приготовленных с использованием марки А высшего сорта сульфата меди. Такой результат является закономерным с точки зрения количества примесей в купоросе, которые переходят в медный порошок.

Однако, наиболее значимым с точки зрения технологических и физических свойств медного порошка, а также его внешнего вида, является содержание в нем кислорода в виде оксидов меди. Рентгенофазовый анализ полученных порошков показал, что осадок, полученный из электролита на дистиллированной воде и подвергнутый промывке дистиллированной водой для всех использованных электролитов после сушки, содержит большее количество кислорода в виде оксида меди (I) (рис. 1 и 2).

Как уже было отмечено выше, особый интерес с точки зрения как склонности к окислению, так и морфологии частиц меди представляет влияние хлоридов [2, 3], в присутствии которых получаются высокодисперсные частицы с хорошо развитой структурой. Добавки хлоридов используют для регулирования насыпной плотности и удельной плотности порошков.

Механизм действия хлоридов на электроосаждение порошковой меди зависит от концентрации их в электролите. При маленьких концентрациях ионы хлора, адсорбируясь на поверхности растущего осадка, оказывают деполяризующее действие. Деполяризующее действие обусловлено образованием на катоде промежуточного комплекса типа $[Cu^{2+} - Cl^{-} - e^{-} (Cu)]$, в котором ион хлора, выполняет роль электронного мостика. В

этом случае разряд ионов меди существенным образом облегчается, становится возможным образование новых металлических зародышей на пассивирующих гранях, которые дают начало развитию боковых ответвлений дендритов, содействуя формированию рыхлых осадков с ярко выраженной дендритной структурой частиц.



электролит 3 электролит 4

Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы медного порошка

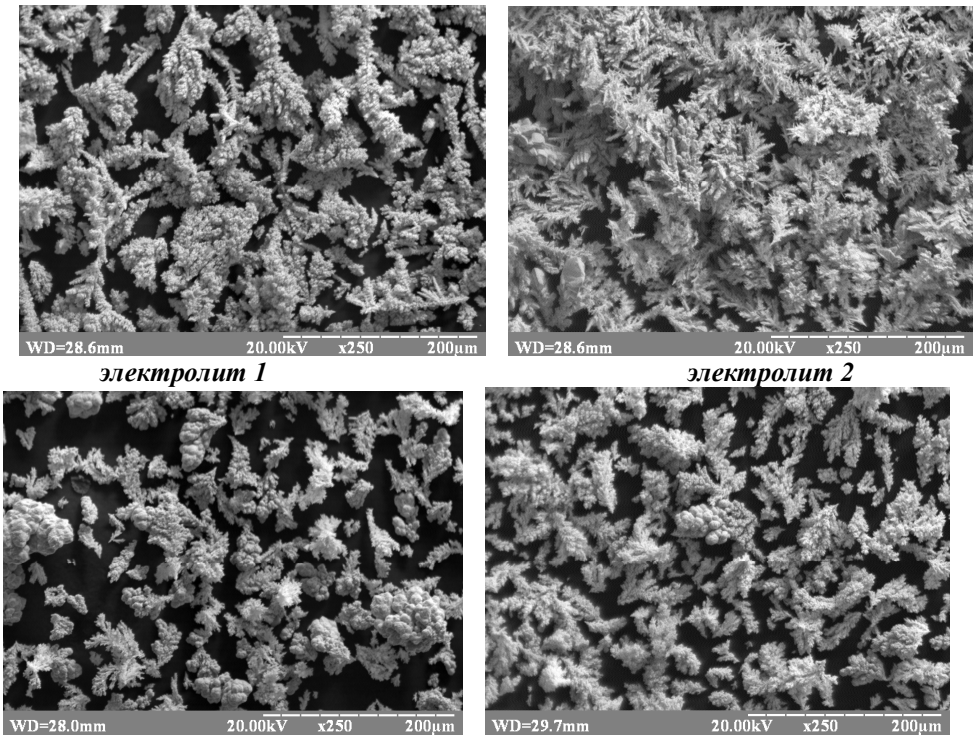
электролит 3 электролит 4

Рис. 2. Общий вид порошка после сушки

При значительном увеличении концентрации хлоридов в растворе в прикатодном слое становится возможным образование коллоидных частиц типа ***CuCl*** [4], которые адсорбируются на поверхности растущего осадка, пассивируя его активные участки. Их действие проявляется также в понижении степени дендритности осадка и увеличении дисперсности.

В нашем случае значительное увеличение концентрации хлоридов в растворе, приводящее к пассивации активных участков осадка, достигается в тех электролитах, где хлориды вносятся не только с купоросом, но и в значительной степени с технической водой.

Подтверждается влияние высокой концентрации хлоридов и на морфологию медного осадка. Частицы меди, осажденные из электролитов, приготовленных из технической воды, значительно тоньше и имеют меньшую дендритность (рис. 3).



электролит 1 ***электролит 2***

электролит 5 ***электролит 6***

Рис. 3 Морфология частиц медного порошка, полученного из разных электролитов

Выводы

1. Химическая чистота медного электролитического осадка в значительной степени зависит от чистоты составляющих электролита. В большей степени на химический состав порошковой меди влияет чистота медного купороса.

2. Содержание кислорода в виде оксида меди (I), в отличие от других примесей, значительно ниже в порошке, полученном из электролита, приготовленного с использованием технической воды. Это связано с пассивирующим действием на формируемый медный порошок коллоидных частиц ***CuCl*** при высокой концентрации хлоридов в растворе. Влияние чистоты кристаллогидрата меди на содержание кислорода в медном порошке менее значительно, т.к. основное количество хлоридов вносится в электролит с технической водой.

3. Пассивация хлоридами активных центров роста частиц меди приводит к уменьшению их среднего размера и понижению степени дендритности. Поэтому осадки, полученные из электролитов на технической воде, получаются более мелкокристаллическими и имеют менее развитую структуру поверхности по сравнению с порошками, полученными из электролитов на дистиллированной воде.

4. Применение того или иного электролита для получения медного осадка в каждом конкретном случае будет зависеть от свойств, которые необходимо придать порошку.

Список литературных источников

1. Балакина М.К, Серпученко Е.А., Куршенко О.Д., Анистратенко Г.А. Электрокристаллизация меди в присутствии поверхностно-активных веществ. // Укр. хим. журн. - 1978. - Т. 44. - №1. – С 42-45.

2. Лосев В.В., Молодов А.И.- ДАН СССР, 1960.- т. 130, № 1, с. 111-114; 1963, т. 148, № 5. - С. 1114-1117.

3. Помосов А.В., Крымакова Е.Е. О прогнозировании свойств электролитического медного порошка. // Порошковая металлургия. -1976. - №6.- С. 1-4.

4. Ничипоренко О.С. , Помосов А.В., Набойченко С.С. Порошки меди и ее сплавов – М: Металлургия, 1988. - 206 с.

УДК 620.197.3
Е. С. Бондарь, аспирант
С. В. Ткаченко, канд. биол. наук
А. М. Демченко, д-р.фарм.наук

Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, Украина
О. И. Сизая, д-р.техн.наук

Черниговский государственный технологический университет, Украина

КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЕДИ И ХРОМИРОВАННОЙ СТАЛИ В СРЕДЕ С БАКТЕРИАЛЬНОЙ СУЛЬФАТРЕДУКЦИЕЙ

Исследовано коррозионное поведение меди и хромированной стали в нейтральной среде с бактериальной сульфатредукцией. Показано, что сульфатвосстанавливающие бактерии способны прикрепляться как к поверхности меди, так и хромированной стали. При этом хромированная сталь является более устойчивой в указанной среде. Регуляция бактериальной сульфатредукции с помощью производных изохинолина с биоцидным дествием обеспечивает защитный эффект меди до 75%.

Постановка проблемы

В технологических процессах и системах часто используются среды с бактериальной сульфатредукцией. Они являются чрезвычайно агрессивными за счет накопления биогенного сероводорода – продукта функционирования сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ). Коррозионное разрушение, инициированное жизнедеятельностью СВБ, в большей мере изучено для сплавов железа, при этом установлено, что малоуглеродистые стали в таких средах не устойчивы [1-4]. Медь также подвержена коррозии в средах с бактериальной сульфатредукцией [1]. При этом микробиологический фактор, являющийся доминирующим при биокоррозии металлов, для меди и хромированной стали изучен недостаточно. Представляет практическую ценность оценка коррозионного поведения меди и хромированной стали в среде с бактериальной сульфатредукцией и ее регуляция с применением биоцидов, в том числе ряда производных изохинолина.

Анализ последних исследований и публикаций

Микроорганизмы играют важную роль в процессах повреждений конструкционных материалов, в том числе коррозии металлов [1-4]. Процесс биокоррозии осуществляется микробным сообществом, в состав которого входят бактерии цикла серы – сульфатвосстанавливающие, тионовые, а также железовосстанавливающие, денитрифицирующие, амонифицирующие и другие [4, 5]. При этом микробные сообщества прикрепляются к поверхности металла и образуют биопленку, что интенсифицирует биоповреждение [4–6].

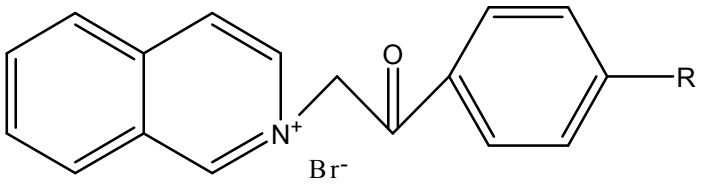
Микробную коррозию металлов ингибируют органические соединения, которые одновременно проявляют и биоцидное действие по отношению к коррозионно активным микроорганизмам, и тормозят электрохимический процесс [4, 7]. Антимикробные и противокоррозионные свойства характерны для азотсодержащих гетероциклических соединений, в том числе содержащих четвертичный азот [4, 8, 9]. При этом одним из показателей их эффективного биоцидного действия на СВБ является угнетение продуцирования бактериями биогенного сероводорода.

Формулирование целей статьи

Цель работы – оценить скорость коррозии меди и хромированной стали в нейтральной среде с бактериальной сульфатредукцией, а также влияние на нее производных изохинолина с различной биоцидной активностью.

Изложение основного материала исследований

Биоцидную активность производных изохинолина ***I-III*** (рис. 1) по отношению к СВБ, продуцирующих сероводород, изучали методом диффузии в агар и оценивали по диаметру зоны подавления роста микроорганизмов в питательной среде Постгейта "В" **(**ПСП**)** [10].



,

где ***I*** – R=H, ***II*** – R=Cl, ***III*** – R= C $(CH_3)_3$.

Рис.1 Общая формула производных изохинолина

Производные изохинолина получены с высоким выходом конденсацией изохинолина с α-бромкетонами в ацетоне, их строение доказано методами физико-химического анализа (хроматомасс спектроскопия, ПМР)**.**

Коррозионное поведение образцов меди и хромированной стали (пластины, 4,8 $см^2$) исследовалось в герметических сосудах, заполненных водно-солевой средой Постгейта "В" с СВБ (пятисуточная культура с начальным титром 10^8 кл/мл). Культура СВБ выделена из ферросферы корродировавшего газопровода методом накопления на питательной среде Постгейта "В" [10]. Время испытаний – 240 часов, концентрация веществ – 3,5 ммоль/л. Методом предельных 10-кратных разведений определяли численность СВБ, которые за время эксперимента прикрепились к металлической поверхности. Бактерии с металлической поверхности снимали с помощью ультразвука частотой 25 кГц на приборе УЗМ-003/н.

По результатам весовых измерений рассчитывали скорость коррозионного процесса в средах с бактериальной сульфатредукцией без и в присутствии производных изохинолина ***I-III*** (K_m = Δm/(S·τ), де Δm – потеря массы образца, г; S – площадь образца, $м^2$; τ – экспозиция, час), глубинный показатель ($П = K_m \cdot 8{,}76 \cdot 10^{-3}/7{,}86$, мм/год), коэффициент торможения коррозионного процесса ($\gamma_m = K_m / K_m'$, где K_m, K_m' – скорость коррозии без и в присутствии ингибитора).

Концентрацию накопленного сероводорода оценивали методом йодометрического титрования.

Эффективные заряды на атомах молекул соединений ***I-III*** рассчитывали с помощью компьютерной программы ChemOffice (Cambride Soft) по методу MNDO-PM 3.

Статистическую обработку результатов электрохимических исследований проводили для уровня вероятности 0,95, число измерений n = 3.

Полученные экспериментальные данные приведены в табл.1, 2 и на рис.1, 2.

Установлено, что в среде с бактериальной сульфатредукцией медь корродирует со скоростью $6{,}81 \cdot 10^{-6}$ мм/год (табл.1), а хромированная сталь остается устойчивой. Коррозии меди способствует повышение агрессивности среды в результате накопления сероводорода – основного продукта жизнедеятельности СВБ, концентрация которого к концу эксперимента составила 283 мг/л. При этом на поверхности и меди, и хромированной стали выявлены прикрепленные СВБ в количестве $6 \cdot 10^3$ и $6 \cdot 10^4$ кл/$см^2$ соответственно.

Введение в коррозионную среду производных изохинолина (***I – III***) влияет на скорость коррозии исследованных металлов. В случае меди вещества ***I*** и ***II*** ускоряют коррозионный процесс в 2,17 и 2,38 раза, а ***III*** проявляет защитный эффект – 75% (табл. 1).

Таблица 1

Показатели коррозии меди в водно-солевой среде с бактериальной сульфатредукцией в присутствии производных изохинолина

Коррозионная среда	$K_m \cdot 10^3$, г/(м^2·час)	$П \cdot 10^6$, мм/год	γ_m
ПСП + СВБ	6,94	6,81	–
ПСП +СВБ + ***I***	26,9	26,40	0,46
ПСП +СВБ + ***II***	16,49	16,18	0,42
ПСП +СВБ + ***III***	1,73	1,70	4,00

Установленное действие исследованных изохинолинов на коррозию меди объясняется их влиянием на процесс сульфатредукции планктонных СВБ, активностью и количеством прикрепленных к металлической поверхности микроорганизмов. Так, вещество ***I,*** являясь слабым биоцидом (рис. 2), угнетает жизнедеятельность СВБ: накопление сероводорода за счет функционирования планктонных бактерий снижается по сравнению с контролем на 19,8% (табл. 2). СВБ обнаруживаются на поверхности меди, при этом они проявляют, вероятно, большую активность, чем в среде без ингибитора, и инициируют процесс биокоррозии.

Вещество ***II*** не проявляет биоцидного действия на СВБ, что способствует усилению их сульфатредукции на 13,1%. На поверхности меди обнаруживается на порядок больше прикрепленных бактерий, чем в случае действия вещества ***I,*** что также ускоряет коррозионный процесс.

Таблица 2

Микробиологические показатели процесса коррозии меди и хромированной стали в водно-солевой среде с бактериальной сульфатредукцией в присутствии производных изохинолина

Коррозионная среда	Медь		Хромированная сталь	
	Накопление H_2S, мг/л	Количество СВБ, кл/см^2	Накопление H_2S, мг/л	Количество СВБ, кл/см^2
ПСП + СВБ	283	$6 \cdot 10^3$	283	$6 \cdot 10^4$
ПСП + СВБ + ***I***	227	$6 \cdot 10^1$	227	$6 \cdot 10^3$
ПСП + СВБ + ***II***	320	$6 \cdot 10^2$	340	$6 \cdot 10^2$
ПСП + СВБ + ***III***	170	не зафиксированы	255	не зафиксированы

Производное изохинолина ***III*** с достаточным биоцидным действием (рис. 2) угнетает жизнедеятельность планктонных СВБ, что снижает сульфатредукцию на 39,9%. Прикрепленных к поверхности меди бактерий при действии этого вещества не обнаружено, что и обеспечивает его защитное действие.

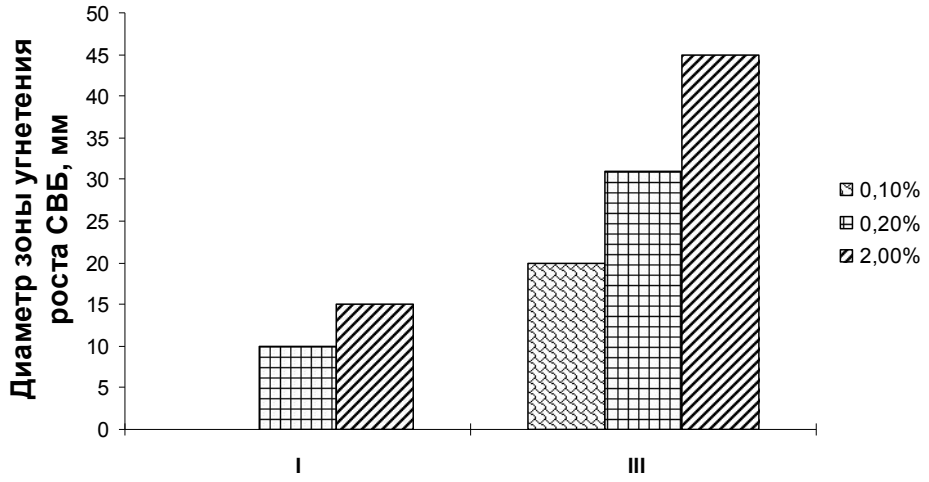


Рис. 2. Биоцидное действие производных изохинолина

Биоцидное действие исследованных производных изохинолина, которое обусловлено способностью молекулы адсорбироваться на отрицательно заряженной поверхности бактериальной клетки, согласуется с величиной зарядов (табл. 3). Производное ***III*** характеризуется наименьшим отрицательным зарядом на бензольном ядре, что приводит к минимальному отталкиванию при электростатическом взаимодействии поверхности клетки и положительно заряженного атома азота гетероцикла.

Таблица 3

Заряды на атоме азота и циклических заместителях производных изохинолина

Вещество	Суммарный заряд на гетероцикле	Заряд на атоме N	Суммарный заряд на бензольном ядре
I	1,01381	0,49196	-0,97426
II	0,88806	0,61251	-1,00299
III	0,72266	0,49620	-0,92654

Установлено, что усиление агрессивности среды за счет процесса сульфатредукции СВБ при введении в коррозионную среду добавок может понижать устойчивость и хромированной стали. Так, скорость коррозии при концентрации вещества ***II*** 3,5 ммоль/л составила 1,7 мг/(м^2·час).

Выводы

Таким образом, к поверхности меди и хромированной стали в среде с бактериальной сульфатредукцией могут прикрепляться сульфатвосстанавливающие бактерии. Регуляторами их активности являются производные изохинолина. При этом изохинолин с хлорзамещенным арильным радикалом не обладает биоцидным действием, усиливает сульфатредукцию, скорость биокоррозии меди и хромированной стали. Изохинолин с алкильным (третбутил-) заместителем в бензольном ядре обладает биоцидным действием, угнетает процесс сульфатредукции, препятствует прикреплению бактерий на поверхность, снижает скорость биокоррозии меди, проявляя защитный эффект 75%.

Список литературных источников

1. Гарг Г.Н. Саньял Б., Пандей Г.Н. Микробиологическая коррозия металлов, вызываемая сульфатвосстанавливающими бактериями // Биоповреждения в строительстве / под ред. Ф.М. Иванова, С.Н. Горшина. – М. : Стройиздат, 1984. – С. 222–230.

2. Iverson W.P. Microbial corrosion of metals // Adv. Appl. Microbiol. – 1987. – Vol. 32. – P. 1–36.
3. Герасименко А.А. Биокоррозия и защита металлоконструкций. 1. Особенности процесса биокоррозии. Микробная коррозия в природных средах // Практика противокоррозионной защиты. – 1998. – № 4(10). – С. 14–26.
4. Андреюк К.І., Козлова І.П., Коптєва Ж.П. та ін. Мікробна корозія підземних споруд. К.: Наук. думка, 2005. 260 с.
5. Liu H., Huang L., Zheng J. Specification of sulfate reducing bacteria biofilms accumulation effects on corrosion initiation // Mater. and Corros. – 2007. – Vol. 58, № 1. – P. 44–48.
6. Lewandowski Z. Structure and function of bacterial biofilms // Biofilms: recent advances in their study and control / [ed. by L. V. Evans]. – Haywood : Haywood Acad. publ., 2000. – P. 2–17.
7. Погребова И.С., Козлова И.А., Пуриш Л.М. и др. Механизм ингибирования микробной коррозии стали в присутствии сульфатредуцирующих бактерий // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2001. – Т. 37, № 1. – С. 57–63.
8. Белоглазов С.М., Кондрашев Е.М., Чупахина Г.Н. Замещенные триазины как ингибиторы-биоциды при коррозии мартенситных сталей в водно-солевой среде с СРБ // Вестник Тамбовского ун-та. Серия: Естеств. и техн. науки. – 1999. – Т. 4, № 2. – С. 202–203.
9. Приходько С.В. Курмакова І.М. Демченко Н.Р, Третяк О.П. Мікробноіндукована корозія сталі в присутності похідних триазолоазепінію // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – Спец. вип. № 5 – С. 919–923.
10. Руководство к практическим занятиям по микробиологии / под ред. Н.С. Егорова. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 215с.

УДК 620.197.3
О.Л. Гуменюк, канд. хім. наук
Ю.В. Квашук, аспірант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

В.П. Антоненко, наук.співробітник

Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка, НВК ТОВ "Укроргсинтез", м. Київ, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ГЕРБІЦИДНИХ ПРЕПАРАТІВ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ МЕТАЛЕВИХ СПОРУД І КОМУНІКАЦІЙ

Сполуки, які містять в основі ядро -3,4-дихлор-(2Н)-піридазин-3-ону, мають високу фітотоксичну активність і використовуються в якості гербіцидних препаратів у сільському господарстві. Синтезовано нові похідні 3,4-дихлор-(2Н)-піридазин-3-ону та зроблено прогнозну оцінку впливу цих речовин на корозійні властивості металевих споруд та комунікацій. Проведені квантово-механічні розрахунки параметрів молекул синтезованих речовин з використанням програми РМ 3, визначені заряди на активних центрах молекул, величини дипольних моментів, проведена оптимізація геометрії та отримані тривимірні зображення поверхні молекул

Постановка проблеми

Хімія глибоко проникла в різні сфери економіки, у тому числі й сільське господарство. Незважаючи на те, що в розвинених країнах з кожним роком зростає кількість агровиробників, які повністю перейшли на традиційний спосіб вирощування культур, українські виробники сільгосппродукції поки що не можуть відмовитись від застосування мінеральних добрив, пестицидів та гербіцидів. Тому вітчизняні хіміки працюють над створенням нових препаратів для захисту рослин, які повинні відрізнятися від попередніх аналогів селективністю дії, більшою ефективністю, нетоксичністю, коротким терміном деградації і низькою собівартістю виробництва.

Щорічно в нашій країні синтезують до 50 тисяч нових хімічних сполук, більшість з яких є гетероциклічними сполуками (ГТЦ). Як з такої кількості відібрати ті, що мають необхідну специфічну дію? Біологічну активність нових синтезованих сполук порівнюють з біологічною активністю вже відомих препаратів. Через "сито" біологічних тестів вдається за рік "просіяти" тільки декілька сотень речовин. Це, звичайно, вкрай мало. Чи можливо передбачити активність речовин без лабораторних досліджень? Як скоротити час та кошти на їх випробування?

З цієї точки зору варто було б скористатися досвідом хіміків-фармацевтів, які розробили відповідну комп'ютерну програму, що дає змогу зробити попередні висновки про фармакологічні властивості синтезованих нових речовини. Спочатку був створений банк даних речовин – активних компонентів фармпрепаратів, в якому їх хімічні формули відповідно кодуються, базуючись на відомостях про те, які саме групи атомів в структурі сполук впливають на їх протизапальні, антибактеріальні, знеболюючі та ін. властивості. Створена комп'ютерна програма порівнює структуру нової синтезованої сполуки з наявними в банку даних і, як результат, видає висновок про її фармакологічну дію. Використовуючи аналогічну схему, можна створити програму інформаційної обробки та аналізу нових синтезованих гетероциклічних сполук щодо їх ефективності як гербіцидів та пестицидів, а також протикорозійної активності, оскільки відомо, що багато ГТЦ є інгібіторами корозійних процесів металевих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Інтерес до впливу гетероциклічних сполук на корозійні процеси металів базується на вже відомих закономірностях взаємозв'язку будови речовин з їхніми протикорозійними властивостями [1 – 6]. Однією з складових інгібувальної дії ГТЦ є наявність реакційних центрів. Ефективність захисних властивостей характеризується величинами зарядів – q

на реакційних центрах. Під час адсорбції на залізі та інших перехідних металах, що мають незавершені d-підрівні, органічні інгібітори виступають як донори, а йони металів – акцептори електронів [1, 6]. Адсорбційний зв'язок "метал – інгібітор" буде тим міцнішим, а ступінь захисту тим вищим, чим більша електронна густина на реакційно-активній ділянці молекули інгібітора [2 – 6].

Важливим критерієм для вибору інгібіторів є не тільки електронна густина на реакційному центрі молекули, але й величина її дипольного моменту μ [1]. В той же час, до кореляції інгібіторного захисту *(Z)* з μ необхідно підходити з певною обережністю [1], тому що величина μ складної молекули є в першому наближенні векторною сумою моментів окремих зв'язків. Якщо атом зв'язку, що в основному визначає величину μ, є реакційно-активним, то дана кореляція буде спостерігатися. В протилежному випадку сумарний дипольний момент сполуки може не характеризувати полярність реакційного центра і залежність Z від μ повинна бути відсутньою.

Автори [1 – 5] припускають залежність між захисним ефектом інгібіторів та покривною здатністю їхніх молекул. Інгібіторний захист Z і молекулярна маса M різних метильних похідних гетероциклічних азотовмісних сполук пов'язані співвідношенням [1]:

$$Z = \left(\frac{M}{16}\right)^{1,83} \qquad (1)$$

Відомо, що гетероциклічні сполуки, які містять в основі ядро -3,4-дихлор-(2*H*)-піридазин-3-ону, мають високу фітотоксичну активність і використовуються в якості гербіцидних препаратів [7 – 9].

Постановка завдання

Синтезувати нові похідні 3,4-дихлор-(2H)-піридазин-3-ону, провести квантово-механічні розрахунки (semi-empirical PM 3) параметрів їхніх молекул та зробити прогноз щодо їх впливу на корозійні властивості металевих споруд.

Виклад основного матеріалу дослідження

2-R-3,4-Дихлор-(2H)-піридазин-3-они, які були використані в нашому дослідженні, отримано взаємодією відповідних гідразинів з мукохлорною кислотою з наступною циклізацією одержаних гідразонів в кислому середовищі (рис. 1) за методом [10]:

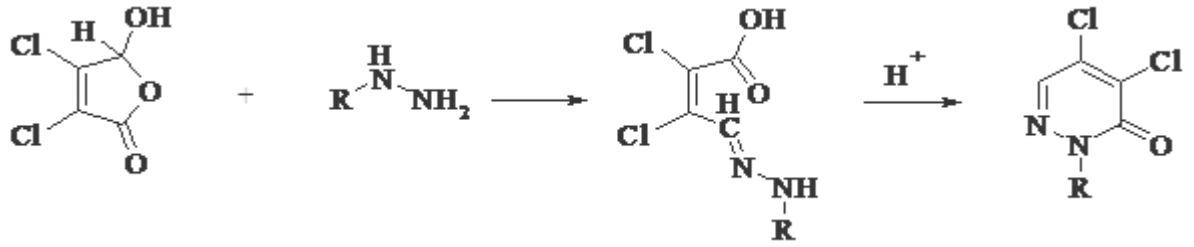


Рис. 1. Синтез 2-R-3,4-Дихлор-(2H)-піридазин-3-онів

На рис. 2 наведено схему синтезу 4-Гідрокси-5-нітро-2-феніл-(2*H*)-піридазин-3-ону, який одержали взаємодією відповідного дихлорпіридазин-3-ону з нітритом натрію [11]:

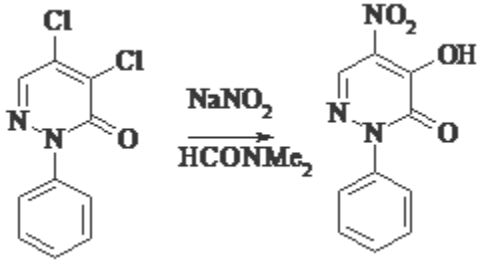
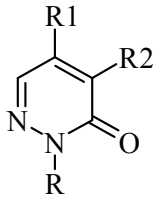


Рис. 2. Синтез 4-Гідрокси-5-нітро-2-феніл-(2H)-піридазин-3-ону

Властивості одержаних піридазин-3-онів – сполук (Сп) 1 – 5 наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості синтезованих піридазин-3-онів



№	R	R_1	R_2	$T_{пл}$,°C	Зовнішній вигляд	^{1}H-ЯМР (ppm) ДМСО-d_6
Сп 1	H	Cl	Cl	202-204	Крихкий, сірий	8,10(s,1H), 12,6(s,1H, NH)
Сп 2	CH_3	Cl	Cl	140-142	Крихкий, сірий	3,35(s,3H, CH_3) 8,30(s,1H,CH)
Сп 3	Ph	Cl	Cl	224-225	Голчастий, жовтий	7,30-8,1(m,5H,Ph), 8,35(s,1H,CH)
Сп 4	3,4-дихлорфеніл	Cl	Cl	223(розкл.)	Пористий, кремовий	7,55-7,65(m,2H, 4,5-Ph), 7,85(s,1H, 2-Ph), 8,35(s,1H,CH)
Сп 5	2,4-дифлуорфеніл	Cl	Cl	142-144	Пористий, кремовий	7,25-7,75(m,3H,3,5,6-Ph), 8,35(s,1H,CH)

З метою попереднього прогнозу впливу синтезованих нових речовин на корозійні властивості металів були проведені квантово-механічні розрахунки параметрів їхніх молекул з використанням програми PM 3 і визначені заряди на активних центрах молекул, величини дипольних моментів (табл. 2) та отримані двовимірні зображення розподілу електронної густини в молекулах (рис. 3). Для з'ясування покривної здатності досліджуваних сполук, за допомогою алгоритму Geometry optimization з використанням напівемпіричного методу PM 3, була проведена оптимізація геометрії та отримані тривимірні зображення поверхні молекул (рис. 4).

Як видно з рис. 3, найбільше скупчення електронної густини знаходиться на таких реакційних центрах як $N^{(1)}$, $N^{(2)}$ та O. Введення метильного радикалу біля $N^{(1)}$ у Сп 2 не вплинуло на величину зарядів на цих центрах в порівнянні з Сп 1. В той же час введення радикалу фенілу (Сп 3), дихлорфенілу (Сп 4) і дифлуорфенілу (Сп 5) в це ж положення призвело до підвищення зарядів на $N^{(1)}$, $N^{(2)}$ та O. На таких реакційних центрах як $Cl^{(1)}$, $Cl^{(2)}$, $Cl^{(3)}$, $Cl^{(4)}$, та $F^{(1)}$, $F^{(2)}$ є помірне скупчення електронної густини (рис. 3), що підтверджується і величиною зарядів на них (табл. 2).

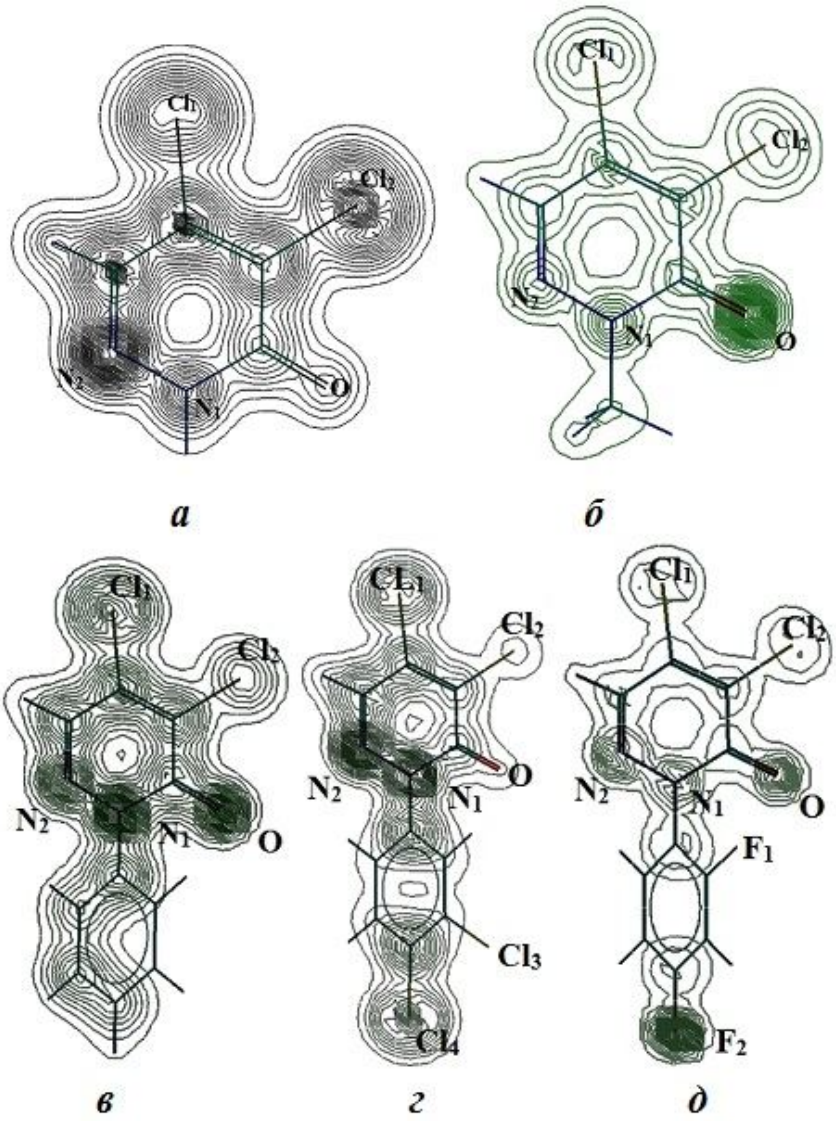


Рис. 3. Розподіл електронної густини в молекулах Сп 1 (а), Сп 2 (б), Сп 3 (в), Сп 4 (г) Сп 5 (д)

Виходячи із залежності протикорозійних властивостей від кількості активних центрів в молекулі та величини зарядів на них, високих захисних властивостей слід очікувати від Сп 4 та Сп 5. Можна також зробити припущення про переважання блокувальної дії в механізмі захисної дії Сп 4 та Сп 5. Великі значення дипольного моменту цих сполук будуть сприяти їх кращій адсорбції на поверхні металу, в порівнянні з Сп 2 та Сп 3. Більше значення дипольного моменту Сп 1, в порівнянні з Сп 2 та Сп 3, а також відсутність радикалу біля $N^{(1)}$ у Сп 1 полегшить протонування, що, в свою чергу, полегшить адсорбцію молекули Сп 1 на поверхні металу.

Прогнозуючи захисні властивості ГТЦ, необхідно враховувати також їх розчинність, як відомо з ускладненням будови молекули ГТЦ, що супроводжується збільшенням молекулярної маси, як правило, знижується розчинність речовини [4]. Так, в даному випадку, Сп 1 має кращу розчинність в порівнянні з Сп 3 – Сп 5.

Отримані тривимірні зображення поверхні молекул Сп1 – Сп 5 (рис. 4) дають змогу уявити розміщення молекули на адсорбуючій поверхні металу, зробити висновок про її покривну здатність. Як видно з рисунка 4, найкращу покривну здатність мають молекули Сп 4 та Сп 5. Для Сп 1 можна спрогнозувати значний внесок енергетичного ефекту в захисний механізм його дії завдяки відсутності стеричних обмежень для адсорбції молекули Сп 1 і високого значення її дипольного моменту.

Таблиця 2

Результати комп'ютерних розрахунків електронних зарядів і сумарного дипольного моменту Сп 1 – СП 5

Показники	Сп 1	Сп 2	Сп 3	Сп 4	Сп 5
Дипольний момент μ, D	2,541	2,326	2,201	2,911	3,104
Електронні заряди *q*:					
$N^{(1)}$	+0,142	+0,145	+0,248	+0,240	+0,242
$N^{(2)}$	-0,059	-0,056	-0,060	-0,061	-0,065
O	-0,382	-0,384	-0,365	-0,361	-0,358
$Cl^{(1)}$	0,109	0,106	0,106	0,110	0,110
$Cl^{(2)}$	0,162	0,162	0,159	0,165	0,166
$Cl^{(3)}$	–	–	–	0,087	
$Cl^{(4)}$	–	–	–	0,091	
$F^{(1)}$	–	–	–		-0,067
$F^{(2)}$	–	–	–		-0,073

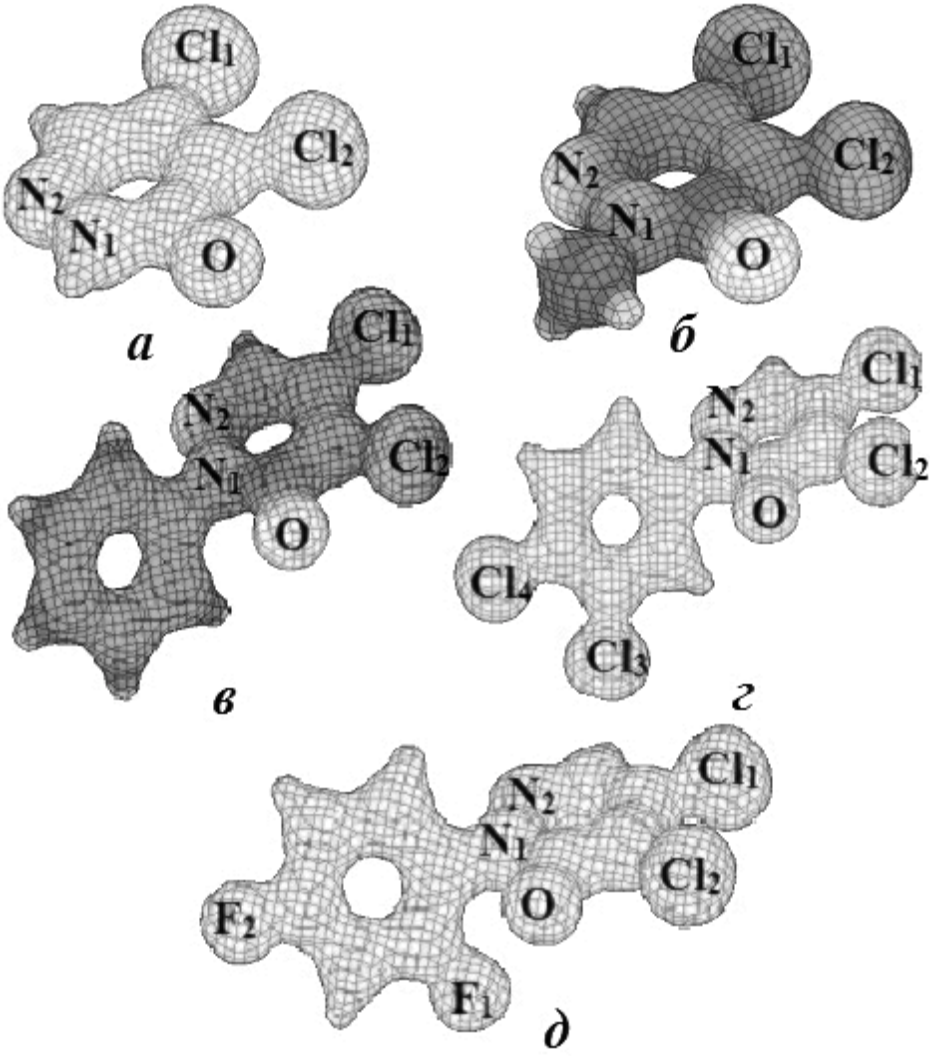


Рис. 4. Тривимірні зображення поверхні молекул Сп 1 (а), Сп 2 (б), Сп 3 (в), Сп 4 (г) Сп 5 (д)

Висновки

Прогноз протикорозійної ефективності синтезованих похідних 3,4-дихлор-(2*H*)-піридазин-3-ону, зроблений на основі комп'ютерних розрахунків електронних параметрів їхніх молекул, дає змогу припустити, що всі ГТЦ будуть виявляти протикорозійну ефективність. Більш високі значення захисної дії слід очікувати у Сп 3– Сп 5, в порівнянні з Сп 1, Сп 2, що може бути наслідком збільшення кількості радикалів з системою спряжених π-зв'язків (фенільні радикали) і, як наслідок, зростання покривної здатності молекули; зростання як позитивного, так і негативного зарядів на реакційно-активних центрах молекул; введення сильних електроноакцепторних замісників у фенільний радикал, що надає молекулі більшої полярності, в результаті чого полегшується фізична адсорбція інгібітора на поверхні металу.

Подальші дослідження будуть спрямовані на практичну перевірку прогнозних розрахунків.

Список літературних джерел

1. Григорьев В.П., Экилик В.В. Химическая структура и защитное действие ингибиторов коррозии. – Ростов-на-Дону: изд. РГУ, 1978. – 184 с.
2. Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. – Л.: Химия, 1986. – 142 с.
3. Балезин С.А. Об определяющих факторах коррозии и ингибирования // Журнал физ. хим. – 1973. – Т. 47, № 12. – С. 2961 – 2964.
4. Антропов Л.И., Погребова И.С. Связь между адсорбцией органических соединений и их влияние на коррозию металлов в кислых средах // Итоги науки и техники. Сер. Коррозия и защита металлов. – М.: ВИНИТИ. – 1973. – Т. 2. – С. 27 – 112.
5. Ледовских В.М. О влиянии пространственного строения моно- и полифункциональных органических веществ на их ингибирующие свойства. // Защита металлов. – 1982. – Т. 18, № 4. – С. 629 –632.
6. Попов В.В., Скрыпник Ю.Г., Лящук С.Н. О вкладе электронной и стерической составляющей при количественной оценке защитной способности N-анилинпиридиниевых солей с помощью уравнений Тафта // Защита металлов. – 1999. – Т. 29, № 2. – С. 310 – 312.
7. Гиллер С.А., Авота Л.Я., Лаздыньш А.А. [Ин-т орган. синтеза ЛатвССР]. Авт. св. СССР, кл.С 07 d 51/04, №436055, заявл. 6.06.72, опубл. 25.12.74, РЖХ 19О463 П
8. Mowry, D. T. *Chem. Zbl.* 1954, 4244
9. Dury,K. *Angew. Chem. internat. Edit. Engl.* 4, 292 (1965)
10. Mowry, D.T. *J. Amer. chem. Soc.* 75, 1909 (1953)
11. Reicheneder,F.; Dury,K. French Patent 1384304; *Chem.Abstr.* 1965, 62, 16265b

УДК 620.197.3

З.В.Слободян, канд. техн. наук
Л.А.Маглатюк, канд. техн. наук
Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, м. Львів

В.М.Синіло, начальник ЦЗЛ
АТ "СКФ Україна" (публічне), м. Луцьк

Р.Б.Купович, провідний інженер
Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, м. Львів

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІНГІБІТОРА КОРСОЛ–2 ДЛЯ ЗАХИСТУ ЛОКАЛЬНИХ ВОДООБОРОТНИХ СИСТЕМ

Показано, що вода локальної оборотної системи АТ "СКФ УКРАЇНА" є корозійно-активною та схильною до соле- та біологічних відкладень. В результаті лабораторних та дослідно-промислових досліджень інгібіторів серії КОРСОЛ встановлено, що найвищий захист від корозії та солевідкладення виявляє модифікація КОРСОЛ-2. При цьому спостерігається і мінімальне мікробіологічне забруднення системи.

Вступ

Інтенсифікація сучасних виробництв різко збільшила споживання прісної води, внаслідок чого у ряді регіонів України спостерігається стійка тенденція зростання водного дефіциту. Переведення водооборотних систем на замкнуті цикли із зменшенням споживання води не повинно при цьому погіршувати температурний режим охолодження.

Однак у замкнутих водооборотних системах з часом зростає карбонатна твердість, вміст хлоридів та сульфатів, змінюється pH середовища, швидкість потоку, градієнт температур та ін. Ці фактори посилюють спряжені процеси корозії та солевідкладення. Відкладення солей твердості та продуктів корозії на внутрішніх поверхнях створює небезпеку перегрівання і розриву стінок обладнання, знижує його працездатність і продуктивність. За товщини шару відкладень 0,5 мм перевитрати електроенергії складають 1,5%. При цьому різко зростає гідравлічний тиск в теплообмінниках та збільшуються енерговитрати на перепомповування води та очищення обладнання.

Оскільки на підприємствах рідко застосовують спеціальну водопідготовку, то якість охолодження з часом суттєво погіршується. В зв'язку з тим необхідно проводити інспекцію стану внутрішніх поверхонь обладнання, що контактують з водою, визначати корозійну активність води та її схильність до утворення накипу і створювати відповідні інгібіторні технології зниження швидкостей корозії та солевідкладення. Відома значна кількість реагентів, здатних суттєво гальмувати корозію та солевідкладення [1-4]. Однак, різний склад охолоджувальної води та специфіка експлуатації водооборотних систем вимагає конкретизації рішень захисту в кожному окремо взятому випадку.

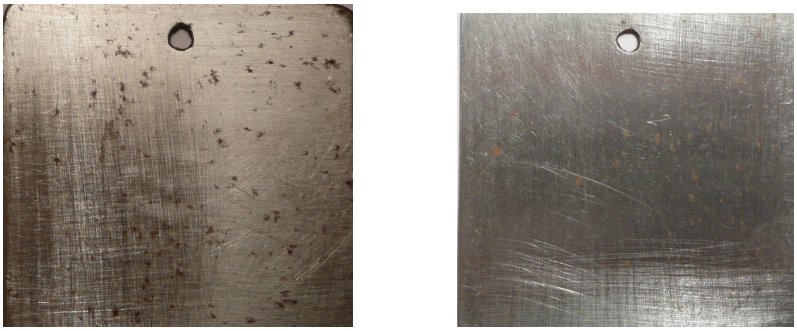
Метою роботи було вивчення корозійної активності води, її схильності до солевідкладення, прояву мікробіологічної дії та розроблення технології інгібіторного захисту локальної водооборотної системи STRB підприємства АТ"СКФ Україна".

Результати та обговорення

Визначено, що загальна твердість використовуваної води становить 6,8 *мг-екв/л*; pH = 7,6; окислювальність 5,27 *мг* ***O****/л.* Показник окислювальності служить своєрідним індикатором наявності органічних домішок у воді. Так, окислювальність води STRB зросла до 7,1 *мг* ***O****/л* супроти вихідної та порівняно з окислювальністю демінералізованої води (1,83 *мг* ***O****/л)*, що може бути наслідком забруднення системи змащувально-охолоджувальними рідинами.

Лабораторні випробування корозійної активності води, її схильності до солевідкладення та впливу інгібіторів різного складу та різної концентрації на ці процеси виявили наступне.

Зразки із сталі 20 після корозійних випробувань у воді підприємства вкриті поодинокими пітингами та дрібними виразками. Максимальна глибина пітинга становила 0,1 *мм*. В середовищах з додатками інгібіторів КОРСОЛ-1 та КОРСОЛ-3 лише за концентрації 50 *мг/л* спостерігалось утворення на поверхні зразків кольорів мінливості. В присутності інгібітора КОРСОЛ-2 за всіх випробуваних концентрацій зразки залишалися чистими, без корозійних пошкоджень (рис.1).



а *б*

Рис. 1. Загальний вигляд контрольних зразків після експозиції у воді локальної системи (а) та в присутності інгібітора КОРСОЛ-2 (б). Час випробувань 5 діб за t = 25°С при перемішуванні

В динамічних умовах швидкість корозії сталі 20 помітно зменшується вже за концентрації інгібіторів 50 *мг/л*. Найефективнішою є модифікація КОРСОЛ–2, ступінь захисту якої за концентрації 100 *мг/л* становить 95%. Збільшення концентрації інгібітора у воді практично не підвищує ефективності захисту (табл.1).

Таблиця 1

Швидкість корозії (K, г/м²·год), ступінь захисту (Z, %) сталі 20 у воді ОСВ-1 інгібіторами сімейства КОРСОЛ. Час випробувань 120 год, t=25°С, перемішування

Інгібітор	Концентрація *мг/л*									
	0		50		100		150		200	
	K	*Z*	*K*	*Z*	*K*	*Z*	*K*	*Z*	*K*	*Z*
КОРСОЛ-1	$1{,}8\cdot10^{-5}$	-	$1{,}9\cdot10^{-6}$	89	$1{,}4\cdot10^{-6}$	92	$1{,}4\cdot10^{-6}$	92	$1{,}3\cdot10^{-6}$	93
КОРСОЛ-2	$1{,}8\cdot10^{-5}$	-	$1{,}4\cdot10^{-6}$	92	$0{,}9\cdot10^{-6}$	95	$0{,}9\cdot10^{-6}$	95	$0{,}8\cdot10^{-6}$	95
КОРСОЛ-3	$1{,}8\cdot10^{-5}$	-	$2{,}0\cdot10^{-6}$	88	$1{,}8\cdot10^{-6}$	91	$1{,}5\cdot10^{-6}$	91	$1{,}5\cdot10^{-6}$	92

Відкладення солей твердості за температури 25°С на поверхні зразків із нержавної сталі практично не спостерігалось. Дані, отримані за температури 35°С, приведені в таблиці 2. Протягом 120 *год* з води підприємства на поверхню зразків осіла незначна кількість солей твердості, яка в присутності інгібіторів помітно зменшилась. Найбільше зниження швидкості солевідкладення спостерігається в присутності інгібітора КОРСОЛ-2

Таблиця 2

Швидкість солевідкладень (W, г/м²·год), ступінь захисту (Z, %) сталі 20 у воді ОСВ-1 інгібіторами сімейства КОРСОЛ. Час випробувань 120 год, t=35°С, перемішування

Інгібітор	Концентрація *мг/л*									
	0		50		100		150		200	
	W	*Z*	*W*	*Z*	*W*	*Z*	*W*	*Z*	*W*	*Z*
КОРСОЛ-1	$2{,}1\cdot10^{-3}$	-	$0{,}3\cdot10^{-3}$	86	$0{,}1\cdot10^{-3}$	95	$0{,}1\cdot10^{-3}$	95	$0{,}1\cdot10^{-3}$	95
КОРСОЛ-2	$2{,}1\cdot10^{-3}$	-	$0{,}2\cdot10^{-3}$	90	$0{,}2\cdot10^{-3}$	90	$0{,}15\cdot10^{-3}$	92	$0{,}15\cdot10^{-3}$	92
КОРСОЛ-3	$2{,}1\cdot10^{-3}$	-	$0{,}3\cdot10^{-3}$	86	$0{,}2\cdot10^{-3}$	90	$0{,}15\cdot10^{-3}$	92	$0{,}15\cdot10^{-3}$	92

Слід відзначити, що поряд із відкладеннями солей твердості спостерігалось і налипання на поверхні зразків осаду органічного походження у вигляді острівців.

Таким чином, лабораторні дослідження показали, що вода підприємства є корозійноактивною та схильною до солевідкладень. Найефективніше гальмування процесів корозії та солевідкладення спостерігалось в присутності інгібітора КОРСОЛ–2 за концентрації 100 *мг/л*. Наступне збільшення концентрації інгібітора практично не впливало на ефективність захисту.

Інгібітор КОРСОЛ–2 пройшов дослідно-промислову перевірку у локальній водооборотній системі. Для корозійних досліджень в систему закладали зразки-свідки із сталі 20, для визначення кількості солевідкладень – зразки із нержавної сталі Х18Н10Т. Зразки перебували в системі 502 *год* (~21 добу). Інгібітор вводили в систему із розрахунку 100 мг/л. В зв'язку з технічними обставинами частина теплоносія була видалена із водообороту і поповнена неінгібованою водою. Додаткове введення інгібітора проводилось теж з розрахунку 100 *мг/л*. Результати випробувань приведені в таблиці 3.

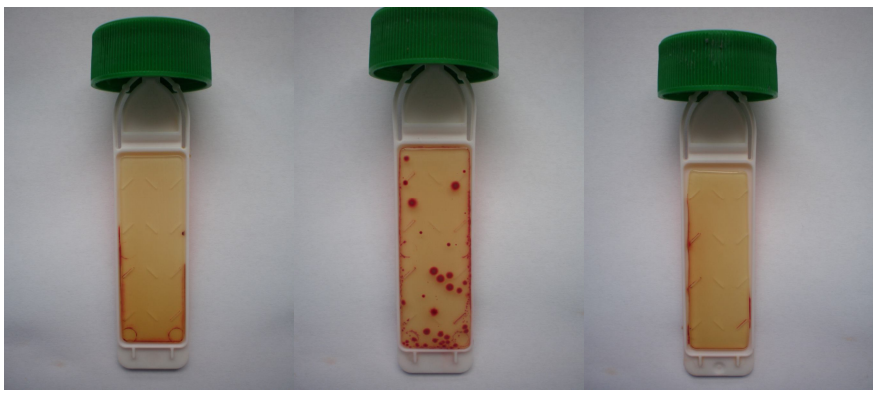
Таблиця 3

Ефективність інгібітора КОРСОЛ-2 (100 мг/л) у воді локальної водооборотної системи, τ = 502 год

Середовище	Швидкість корозії , K_m, *г /(см^2·год)*	Глибинний показник, *П*, *мм/рік*	Ступінь захисту, *Z*, %	Кількість солевідкладень, *г/см^2*
Вода	$18{,}0\cdot10^{-6}$	0,2	-	0,0032
Вода + КОРСОЛ-2	$1{,}8\cdot10^{-6}$	0,02	90	0,0010

В результаті дослідно-промислової перевірки інгібітора КОРСОЛ-2 (100мг/л) встановлено, що за відсутності додаткового підживлення системи свіжою водою інгібіторний захист від корозії та солевідкладення становив 90-95% (час випробувань 502 *год*). Підживлення системи вимагає додаткового введення інгібітора, без чого ефективність захисту знижується на 30%. Візуальне обстеження виявило наявність мастилоподібних компонентів на поверхні зразків.

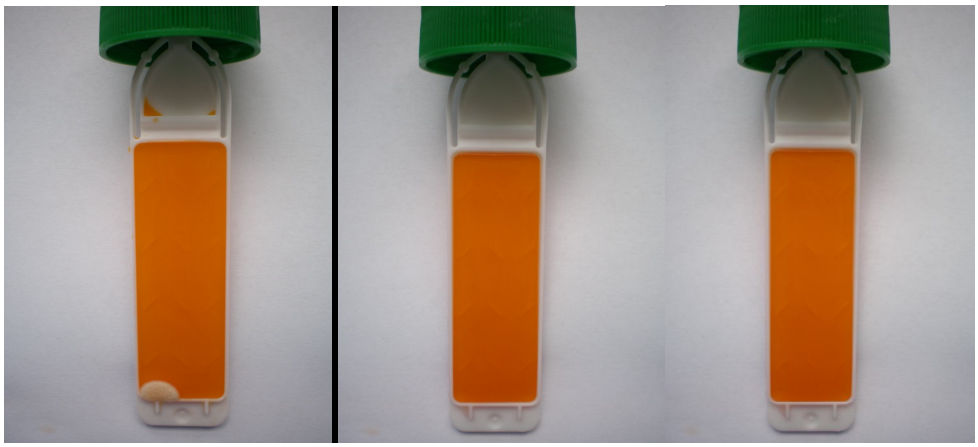
Біологічне забруднення води, яке може ініціювати біокорозію, досліджували спеціальними тестами, які виявляють наявність бактерій, грибків та дріжджів. На агар-агарі, що контактував з водою ОСВ-1, висіялись поодинокі острівці бактерій, кількість яких не більше 10 *кл/мл*, що можна вважати відсутністю бактеріального зараження. На агар-агарі, що контактував з водою локальної системи STRB, висіялись острівці бактерій, що співвідносяться з кількістю $5\cdot10^3$ *кл/мл*. У воді ОСВ-1 з інгібітором КОРСОЛ-2 (100 *мг/л*) бактеріальне зараження практично відсутнє (рис.2).



а *б* *в*

Рис. 2. Бактеріальний тест «TTC-Agar»: а) вода ОСВ-1; б) вода локальної системи STRB з інгібітором КОРСОЛ-2 після 482 год випробувань; в) вода ОСВ-1 з інгібітором КОРСОЛ-2 (100 мг/л)

Тест на грибки та дріжджі виявив, що грибок виріс лише на живильному середовищі, що контактувало з водою ОСВ-1 (рис.3). Співставлення з модельною картою показує слабке зараження (+) [5].



а *б* *в*

Рис. 3. Тест на грибки «KD-Agar»: а) вода ОСВ-1; б) вода локальної системи STRB з інгібітором КОРСОЛ-2 після 482 год випробувань; в) вода ОСВ-1 з інгібітором КОРСОЛ-2 (100 мг/л)

Таким чином, інгібітор КОРСОЛ-2 за концентрації 100-150 *мг/л* гальмує процеси корозії та солевідкладення, що дозволить підтримувати задані технологічні температурні режими. Стосовно бактеріального та грибкового зараження води необхідно продовжити спостереження та при інтенсифікації мікробіологічних процесів – вибрати відповідний біоцид, сумісний з інгібітором КОРСОЛ-2.

Висновки

1. Встановлено, що охолоджувальна вода підприємства АТ “СКФ Україна” корозійно активна та схильна до соле- та біологічних відкладень.
2. Показано, що інгібітор КОРСОЛ-2 за концентрації 100 мг/л достатньо надійно гальмує процеси корозії та солевідкладення.
3. Дослідно–промислова перевірка інгібітора КОРСОЛ-2 в охолоджувальній системі STRB підтвердила ефективність цієї модифікації та можливість її застосування для тривалого захисту водооборотних систем від корозії та солевідкладення.

Список літературних джерел

1. Крушель Г.Е. Образование и предотвращение отложений в системах водяного охлаждения. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1965. – 317 с.
2. Слободян З.В., Маглатюк Л.А., Пецух Р.І. Інгібіторний захист водооборотної системи КФ “Світоч” // Вісн. Терноп. держ. техн. ун-ту. – 2003. Т.8, № 3. – С. 19-23.
3. Жабин Г.Г. Закономерности отложений карбоната кальция на поверхности нагрева из турбулентного потока некипящей жидкости // Тр. BODREO, 1975. вып. 49. – С.42-48.
4. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. – М.: Химия, 1977. – 349 с.
5. Андреюк К.І., Козлова І.П., Коптєва Ж.П. та інш. Мікробна корозія підземних споруд. – К.: Наукова думка, 2005. – 259 с.

ЕНЕРГЕТИКА

UDC 621.314.69

Oleksandr Husev, Ph.D. student
Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine
Lauris Bisenieks, Ph.D. student
Riga Technical University, Riga, Latvia
Dmitri Vinnikov, Dr. Sc.
Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia

FRONT-END ACTIVE RECTIFIER FOR GRID-CONNECTED PMSG BASED WIND TURBINES

PFC control algorithm for front-end active rectifier is proposed for grid connected permanent magnet synchronous generator (PMSG) based wind turbines application. The new converter topology for a PMSG based variable speed wind turbine (VSWT) is presented in this paper. This topology (controlled rectifier coupled with a quasi-Z-source based galvanically isolated step-up DC/DC converter) is essential to generate a regulated DC voltage (400 V DC typical for 230 V AC output) despite wide variations in the output voltage of a wind generator and consuming only active power. The operation principles of the proposed topology are given and experimental results are analyzed.

Introduction

Continuous growth of energy consumption and limited availability of fossil energy resources urge to make use of renewable sources for electric energy generation. Wind energy is quite an attractive form of renewable energy especially at high latitudes where feasibility to apply direct solar energy conversion technologies is limited. Wind turbines are the most popular wind energy conversion technology today [1]. The power of installed windmills is being increased continuously especially when the places of turbine installation move from on-shore to the sea. Although the energy yield is higher for large inland and off-shore installations, the issue of transmission and distribution losses still is of major concern. Distributed generation and smart grid technologies are introduced to reduce transmission losses by bringing closer energy generation and utilization and reducing load variations over time. Micro-generation is a part of smart grid and distributed generation philosophy.

Since the output voltage of the PMSG changes proportionally to its rotation speed, but the speed ratio n_{max}/n_{min} for the VSWT can increase 4 times, the interface converter should have good voltage boost properties to ensure stable output voltage [2]. Additionally, the interface converter should have galvanic isolation to comply with standard requirements in some markets.

Interface converter topologies with high frequency (HF) isolation (Fig. 1) can have higher efficiency than topologies with a grid frequency transformer [3]. Efficiency of the interface converter at a wide transferred power range is one of the most important parameters of the VSWT systems. Moreover, the standby power consumption should be minimized to reduce grid energy usage during no wind periods.

Proper combination of a rectifier and a DC/DC converter with HF isolation is the key to the high efficiency of the interface converter and the voltage regulation capability [4], [5]. Embedded active rectifier ensures power factor close to 1, and the absence of the high-frequency components of reactive power [6]. The presence of the reactive power of the higher harmonics leads to the losses of electrical energy.

The active rectifier has direct impact on the PMSG efficiency, and in combination with the DC/DC converter is responsible for necessary voltage gain to ensure stable voltage on the grid-side DC link.

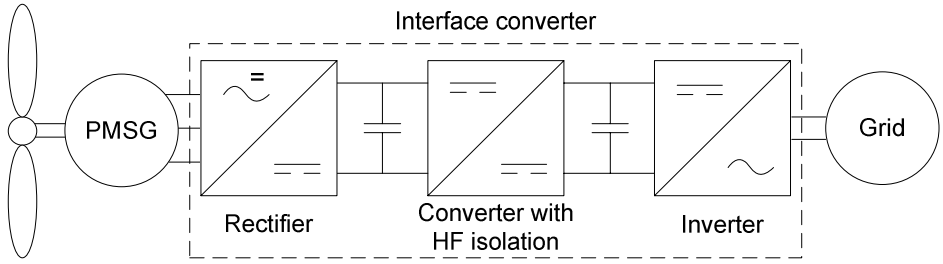


Fig.1. Block diagram of a typical VSWT based micro-generator

Operation principle

To improve the efficiency and reliability of the VSWT based micro-generator a new converter topology was introduced (Fig. 2). General principle of full topology was described in detail in [7, 8].

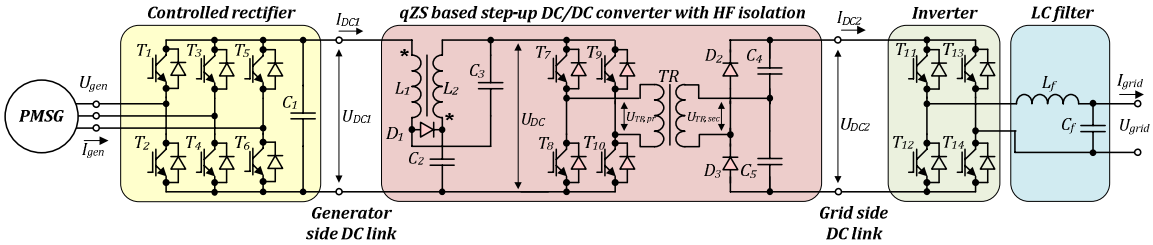


Fig. 2. Power circuit of the proposed interface converter

Converter operation modes at different wind speeds for the particular application with 1.3 kW PMSG are illustrated in Fig. 3*a*.

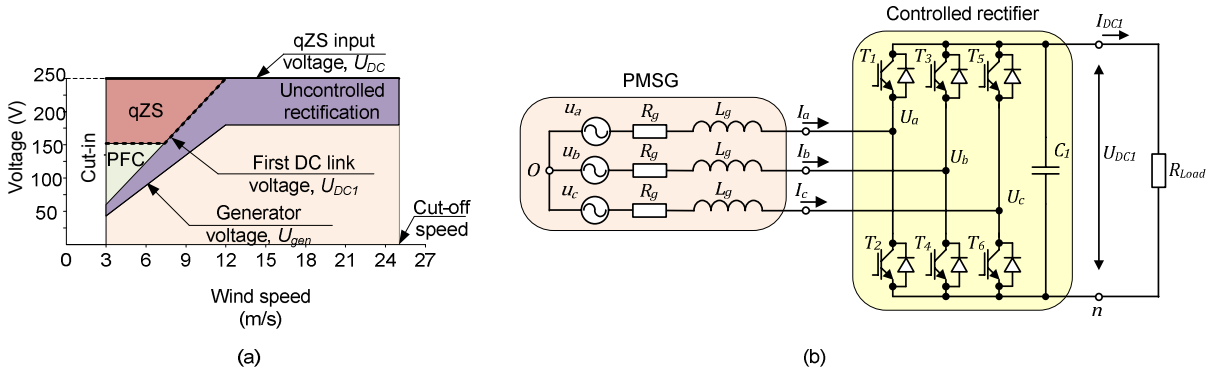


Fig. 3. General operation modes of the converter (a), equivalent circuit of the PMSG and the rectifier (b)

It is seen that the demanded voltage boost could be obtained in two steps. First, the controlled rectifier stabilizes the generator side DC link voltage U_{DC1} to a 150 V level when the PMSG voltage is in the range between 45 V at cut-in conditions and below 112 V. The generator-side rectifier works as an uncontrolled rectifier when the PMSG voltage U_{gen} is above 112 V. In this mode the voltage U_{DC1} is changing proportionally to the PMSG voltage, from 150 V in the rated speed conditions up to 250 V near the cut-off point. After the rectifier, the qZS based step-up DC/DC converter finally stabilizes the grid side DC link voltage U_{DC2} at 400 V DC despite variations in the generator side DC link voltage U_{DC1} in the range from 150 V to 250 V and also provides the demanded galvanic isolation.

A three-phase PWM rectifier is used in the proposed interface converter to improve the PMSG current shape and ensure 150 V level of the generator-side DC link voltage at the lowest generator voltage. The equivalent circuit of the PMSG together with the three-phase controlled rectifier is shown in Fig. 3*b*.

The PMSG is substituted by the voltage sources u_a, u_b and u_c, phase resistances R_g and inductances L_g assuming that generator parameters are equal in all phases. The stator inductor of the PMSG serves as the boost inductor in this application. The first harmonic component of the PMSG voltage will be used for the PWM rectifier analysis.
Control algorithm is built according to the PFC method of control (Fig.4*a*).

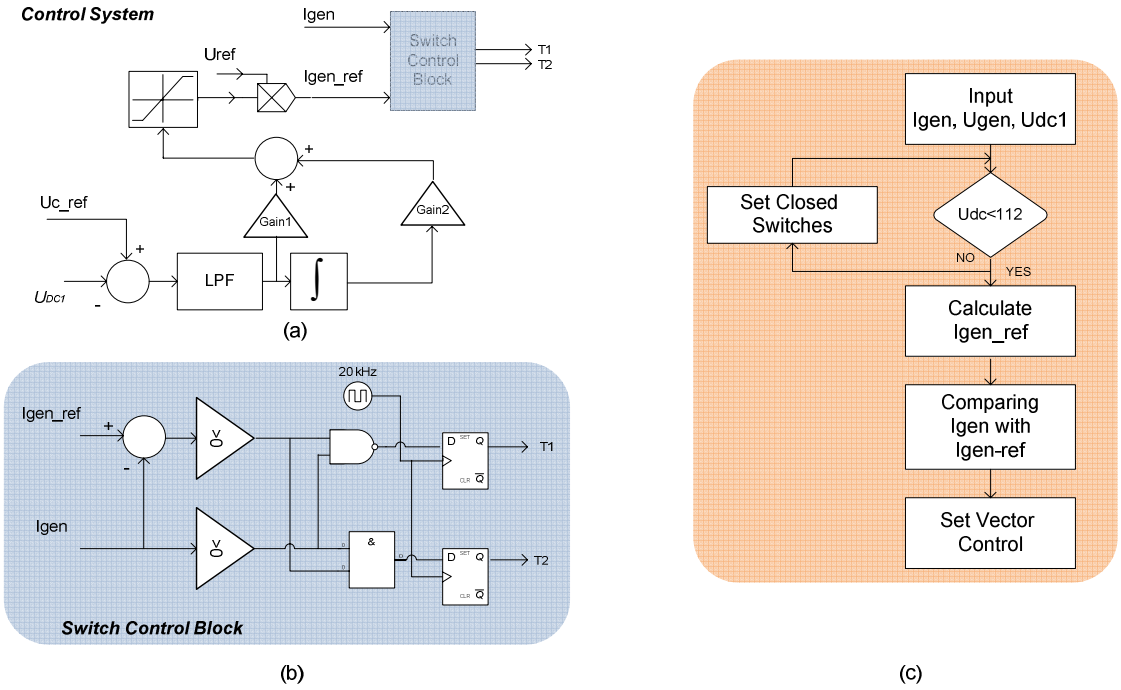


Fig. 4. Control system of converter

The input values of regulator enter the instantaneous value of voltage across capacitor (U_{DC1}) and the reference voltage u_{C_ref}, equal to the necessary values of voltage. In order to skip pulsations of voltage across capacitors, only constant component of voltage is used. Further error on the voltage will be given to the PI regulator, whose output determines the amplitude of reference current. The form of reference current is determined by supply voltage, as a result the current is in-phase to the voltage. Nonlinear element of the type “saturation” is used for limiting the amplitude of current. Further reference current will be given to the controller of the commutation of power switches. The unit of the commutation of power switches is built according to the method of vector control of power switches. In Fig. 3*b* the scheme of controller is represented.

Thus, transfer of the necessary active power to the load is ensured. In the steady-state mode the value of error is equal to zero, value from the output of integrator is constant. In this case the power consumed by load is equal to the power that consumed from the generator.

The flowchart of the control algorithm in Fig. 4*c* clearly illustrates the control process of the controlled rectifier.

The controlled rectifier operates in the PFC mode and boosts the generator voltage to 150 V level when the line voltage of the generator is below the level of 112 V. The PFC signal generation is stopped and the uncontrolled rectification mode takes place, when the generator line voltage is higher than 112 V.

Analysis of simulation results

In order to verify the presented control algorithm the MATLAB simulations were performed. It should be noted, that simulation circuit has been changed. Internal inductance of PMSG has 5 mH values. The additional 1 mH inductors were connected in series with the ge-

generator. It allows restricting current and voltage ripple from generator. Also analog RLC filter is used to measure voltage shape from generator correctly.

The first simulation was performed at the generator voltage U_{gen} = 53 V and 40 W load (Fig. 5).

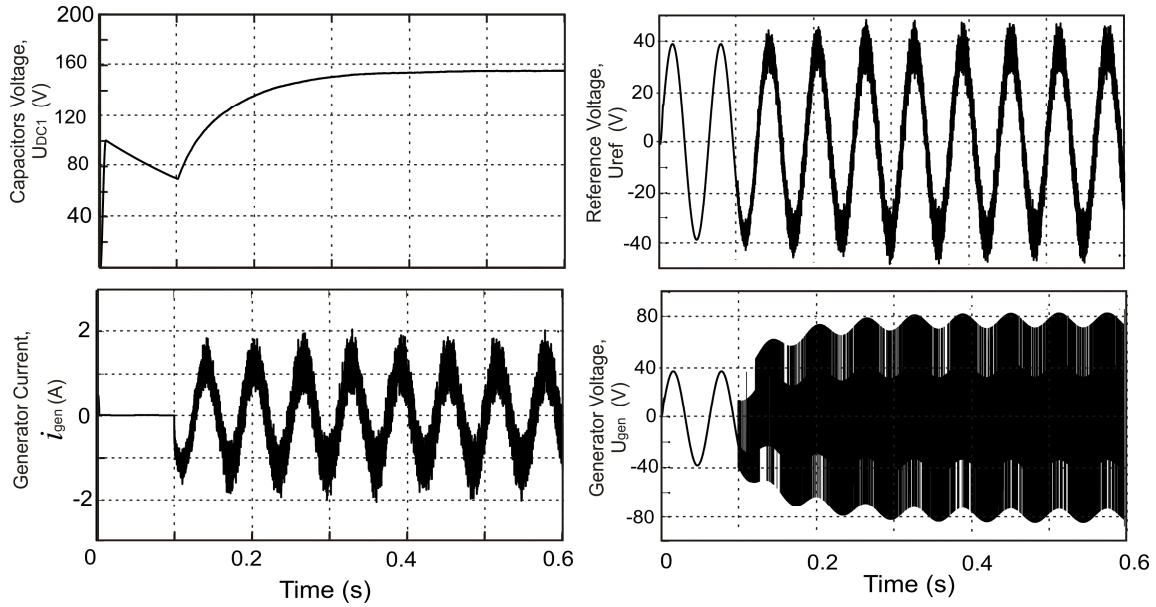


Fig. 5. PMSG voltage and current, generator side DC link voltage at 40 W

At the time moment t=0.1 s, the regulator is switched on and the capacitor voltage level is gradually increased up to reference level 150 V. The amplitude of current is simultaneously raised up to the level that corresponds to power consuming level in this case. It is evident that current shape follows generation voltage. THD is about 31%. There are some kind of high frequency ripples that can be reduced by additional serial inductance or increasing frequency of power switches commutation.

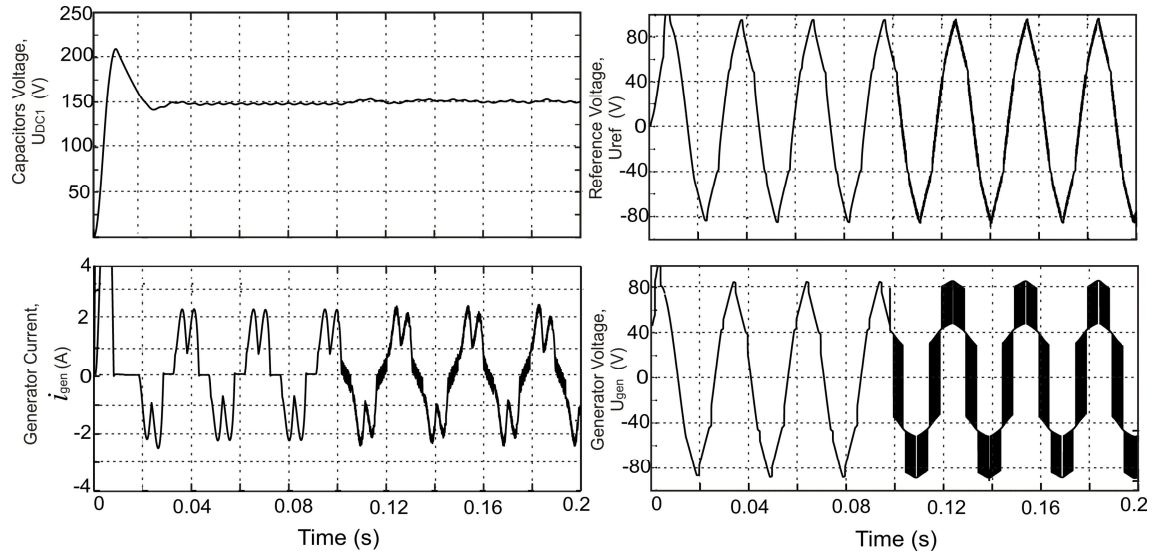


Fig. 6. PMSG voltage and current , generator side DC link voltage at 330 W

The second simulation was performed at rated speed conditions, with the generator speed at 315 rpm and turbine power at 330 W. At this point the amplitude of the generator voltage U_{gen} is 150 V and boost control are not needed (Fig. 6). At the time moment t=0.1 s, the regu-

lator is switched on. As a result shape of current is changed after that but doesn't coincident with voltage shape. It is explained by not enough high DC link voltage with respect to input voltage. But THD is improved from 41% to 31%. From active filter control theory it is known that DC link voltage must be higher than amplitude of input voltage. As highest voltage is as best compensation quality we can achieve [6].

The third simulation was performed at maximal speed and power of the PMSG: 510 rpm and 1250 W, respectively (Fig. 7). Since the nominal speed of the generator is 375 rpm, it was required to verify the generator's ability to produce the power necessary at that speed. The amplitude of the generator's output voltage reaches 250 V. PFC control is not possible in this mode. THD of input current is about 28%.

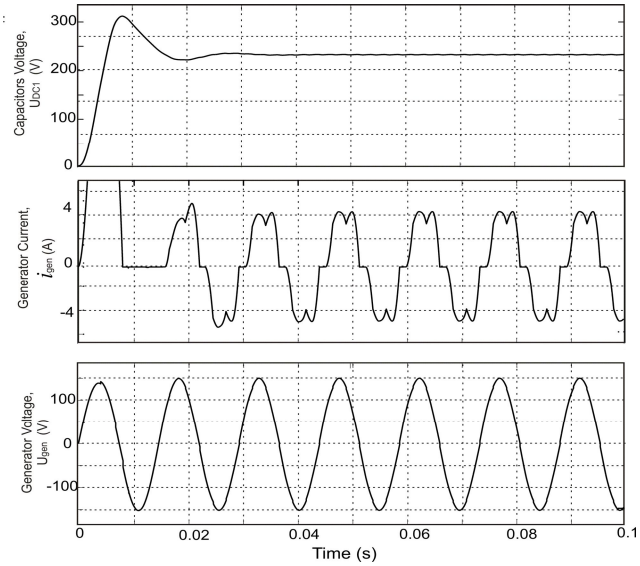


Fig. 7. PMSG voltage and current, generator-side DC link voltage at 1250 W

Experimental results

Laboratory prototype is shown at Fig. 8. It consists of active rectifier, Hall effect current sensors and optically isolated voltage measurements system, digital control system and optically isolated drivers for IGBTs.

Fig 8*a* shows measurement and switch control block. Active rectifier is built on IXSH24N60AU1 600V/48A IGBT transistors. Digital control system is based on digital signal processor TMS320F28335.

1.3 kW PMSG with 8 pole pairs was used as a voltage generator (Fig. 8*b*). Programmable load that was used during experiments is also shown on Fig. 8*b*.

Experiments with the controlled rectifier were performed according to the simulation parameters (Fig 9). Control was realized by controlling six transistors with a fixed duty cycle at 20 kHz switching frequency. It should be noted, that additional serial inductance was added in order to smooth output voltage of generator. It is necessary for voltage measurement that is used as reference voltage in control system. Accept this it helps to decrease input current pulsation.

The first test was performed at generator voltage U_{gen} = 53 V and 40 W load, which corresponds to the cut-in speed conditions (Fig 9*a*). It can be seen that input current is close to sinusoidal shape and the capacitor voltage U_{DC1} is about 150 V.

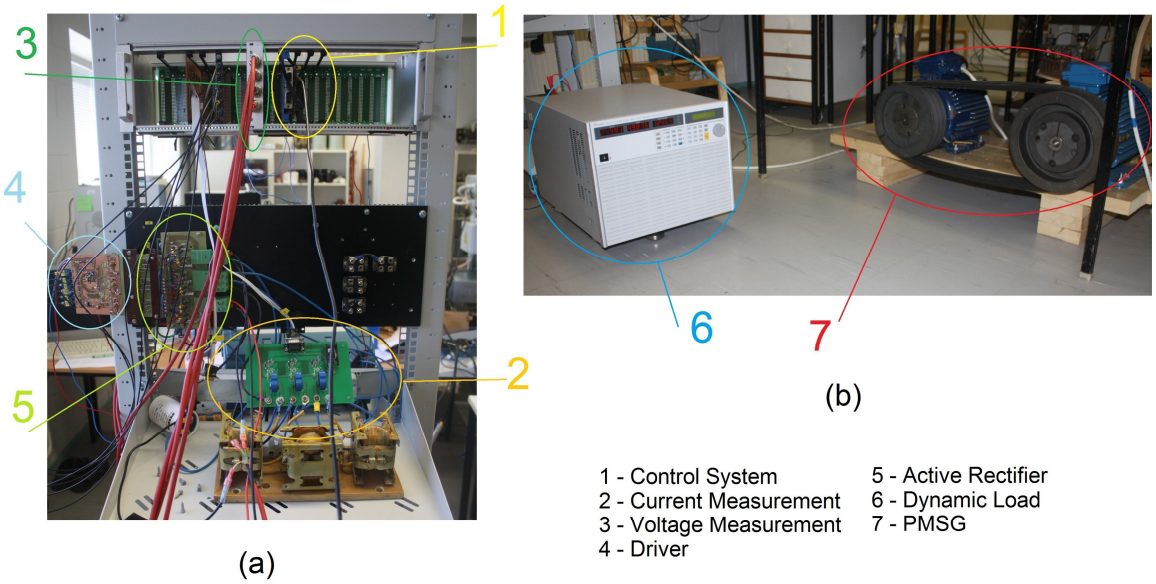


Fig. 8. Laboratory prototype

The second experimental test was performed at rated speed conditions, with the power at 330 W. Capacitor voltage and output current are shown at Fig.9*b*. At this point the amplitude of the generator voltage and input current is higher (Fig. 9*c*). Opposite site of this situation is current shape that doesn't have pure sinusoidal shape. It is explained by non pure sinusoidal shape of generator voltage. It proved simulation results.

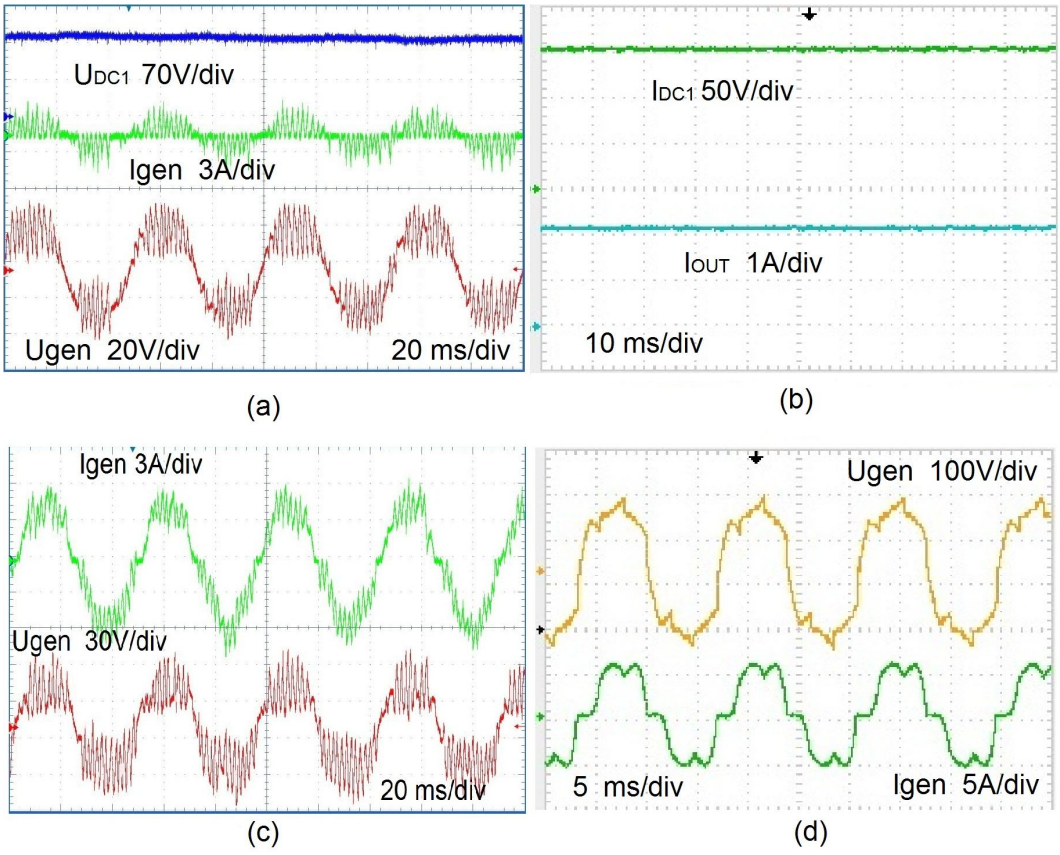


Fig. 9. Experimental results. Active rectifier with PFC control algorithm at 40 W (a) and at 330 W(b, c), passive rectifier at 1250 W (d)

The third test was performed at maximal speed and power of the PMSG: 510 rpm and 1250 W, respectively (Fig. 9*d*). Since the nominal speed of the generator is 375 rpm, it was required to verify the generator's ability to produce the power necessary at that speed. The amplitude of the generator's output voltage reaches 250 V. PFC control is not possible in this mode.

From experimental results is concluded that the controlled rectifier operates in close to expected mode. Limitation connected with voltage shape distortion during transistor switching. Such affect strongly influences on the quality of control algorithm because measurement voltage is used as reference signal. To improve situation passive law pass filter required. Also extra serial inductor is required. It prevents rapid current and voltage variations.

Conclusions

This paper presents a control algorithm for active rectifier in PMSG based wind turbines application. The general structure and operating principle of the proposed control system are discussed. Advantages of proposed topology with front-end active rectifier in wind turbine application consists in additional flexibility of boost properties from one hand and reduced THD of input current from another hand. Moreover it can work in three modes: passive rectifier, PWM and PFC. In order to verify theoretical assumptions the 1.3 kW laboratory prototype of the proposed converter was elaborated and tested. The results of performance tests are presented and discussed.

Acknowledgements

This research work was supported by the Estonian Ministry of Education and Research (Project SF0140016s11) and Estonian Science Foundation (Grant ETF8538).

References

1. Cristina L. Archer and Mark Z. Jacobson. Evaluation of global wind power, 2005. Journal Of Geophysical Research, Vol. 110.
2. L. Bisenieks, D. Vinnikov, and I.Galkin, "New converter for interfacing PMSG based small-scale wind turbine with residential power network," Compatibility and Power Electronics, 2011, CPE 2011, unpublished.
3. X. Li, A. Bhat, "Multi-cell operation of a high-frequency isolated DC/AC converter for grid-connected wind generation applications," International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2009, pp. 169-174, 28-31 Dec. 2009.
4. D. Vinnikov, I. Roasto, J. Zakis, R. Strzelecki, "New step-up DC/DC converter for fuel cell powered distributed generation systems: Some Design Guidelines," Przeglad Elektrotechniczny, vol. 86 (8), 2010, pp. 245-252.
5. R. Strzelecki, D. Vinnikov, "Models of the qZ-Converters," Przeglad Elektrotechniczny, vol. 86 (6), 2010, pp. 80-84.
6. H. Fuijita, H. Akagi, "An approach to harmonic current-free AC/DC power conversion for large industrial loads: the integration of a series active filter with a double-series diode rectifier," IEEE transactions on industry applications, vol. 33, № 5 september/october 1997.
7. D. Vinnkov, I. Roasto, "Quasi-Z-Source-Based Isoleted DC/DC Converters for Distributed Power Generation," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, № 1, Junuary 2011, pp. 192 – 201.
8. L. Bisenieks, D. Vinnikov, J.Zakis, "Analysis of Operating Modes of the Novel Isolated Interface Converter for PMSG Based Wind Turbines," Compatibility and Power Electronics, 2011, CPE 2011, unpublished.

УДК 662.63.002.8

Здановський В.Г., д-р техн. наук,

Міжнародний науково-технічний університет, м. Київ, Україна

Шомін О.В., ген. директор,

група підприємств „Альтернативне тепло та технології", м. Харків, Україна

Денисова Н.М., канд.техн.наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ САМОДОСТАТНОСТІ РЕГІОНІВ

Проведено оцінювання та аналіз можливості використання біомаси в масштабах регіонів. Встановлено алгоритм впровадження альтернативних економічних енергоресурсів у вигляді біопалива (солома, відходи деревини, торф тощо).

Вступ

Відходи сільськогосподарського виробництва у вигляді польової продукції рослин і деревини в лісопромисловому комплексі, а також торф, сланці і буре вугілля давно привертають увагу енергетиків і екологів. Найбільш ефективним методом утилізації будь-яких відходів є їх використання в якості замінників природних ресурсів і органічного палива. В умовах України значний потенціал мають енергоресурси у вигляді біопалива (солома, відходи деревини, торф тощо). Їх особливістю є доступність, значні запаси і простота використання. При цьому доводиться констатувати, що ці досить вигідні для використання ресурси просто спалюються або стають тягарем для суспільства у вигляді гниючих залишків. Тому метою роботи є оцінка та аналіз можливості використання біомаси в масштабах регіонів.

Методи та результати досліджень

Проблему підготовки біомаси як палива та його використання можна розділити на такі етапи:

- збір та укрупнення первинної соломи і відходів деревини, а також торфу і доведення їх до розмірів, придатних для зберігання, транспортування та промислового використання з метою отримання теплової енергії;
- розробка і створення декількох типорозмірів котлів для спалювання біомаси, як окремо, так і по черзі або в суміші в залежності від наявних запасів того або іншого виду біомаси для тривалої (або сезонної роботи) котельні;
- створення структури користувачів теплової енергії, виробленої з біомаси в місцях її виробництва.

Перший етап. Під час збирання врожаю зернових солома як побічний продукт збирається в копиці або відразу за допомогою спеціальних машин пресується в рулони різного розміру. В основному вони бувають двох типів – круглі та згортки Хестона. Круглий рулон важить до 300 кг і має габарити 2,2х1,5 м, а рулон Хестона 450 кг і 1,2х1,3х2,4 м відповідно. Енергетична цінність соломи залежить від вологості, а також від її хімічного складу. Вологість соломи повинна знаходитися в межах 10...20%, тому повинно бути забезпечено її відповідне складування й зберігання. Енергетична цінність соломи повинна становити 14...15 ГДж/т, цінність відходів деревини і соломи практично однакова.

Порівнюючи паливні властивості соломи, відходів деревини та торфу встановлено, що ці види палива поєднуються і є взаємозамінними за умови зберігання вологості біомаси, а з природним газом – 3 т соломи (деревини) замінюють 1000 м^3 газу [1].

Слід зазначити, що відходи деревини обробляються шляхом сушіння й укрупнення до розмірів брикетів і гранул, перетворюються в придатне для механізованого використання деревне паливо (дрова, тріску, тирсу, кору, гілки і т.д.). Енергетична цінність відходів деревини з вологістю 50...60% становить 6...8 ГДж/т, а після просушування до вологості 10...20% – 14...16 ГДж/т. Зольність деревини, як і соломи не перевищує 3-5%.

Запаси торфу більш значні, ніж соломи, деревини та їх відходів. Приріст торф'яного шару за різними методиками підрахунку може становити від 3..5 мг до 15...20 грам на квадратний метр у рік. Для промислових цілей торф добувають і використовують двома способами: фрезерний, що має розмір менше 10 мм та кусковий, розміри якого більше 50 мм, що визначаються типом техніки, яка застосовується для видобутку. Шматки торфу підсушують на сухій поверхні ґрунту в основному за рахунок сонячного тепла, надалі – залишають споживачам або транспортують до місць зберігання в закритих складських приміщеннях. Теплота згоряння сухого торфу приблизно відповідає теплоті згоряння деревинних відходів і соломи, а вологого торфу – в півтора рази нижче. Значною перевагою є те, що торф може зберігати властивості палива, не піддаючись масовому псуванню або знищенню, як це має місце, наприклад, з соломою.

Другий етап. При створенні нових або при переводі діючих котлоагрегатів на спалювання соломи і відходів деревини враховуються їх технологічні характеристики (теплотворна здатність, зольність, вологість і властивості золи). Одночасно необхідно враховувати особливості спалювання біомаси у порівнянні з твердим паливом, газом або мазутом. В залежності від цих особливостей і характеристик біомаси приймається конструкція топкового пристрою котла.

Для вибору типу котла, його топкового пристрою при спалюванні біомаси велике значення має об'єм та швидкість топкових (димових) газів, оскільки від них залежить ступінь вигоряння палива, кількість відкладень золи на поверхні нагріву [1]. В залежності від цих особливостей та характеристик біомаси приймається конструкція топкового пристрою котла – з передтопком чи без нього. Для високовологої біомаси, як правило, необхідним є передтопок, що пов’язано з необхідністю більш тривалого перебування біопалива у топці для забезпечення його повного спалювання, що може обмежувати продуктивність котла. Ці та інші передумови створення топкового пристрою для спалення біомаси в значній мірі відносяться й до організації спалювання торфу та бурого вугілля.

Об’єм димових газів залежить від виду палива. При спалюванні сухої біомаси обсяг топкових газів майже не відрізняється від природного газу. Витрата газів пропорційна їх температурі і розраховується згідно співвідношення:

$$V_t \big/ V = (T_0 + 273) \big/ 273,$$

де V_t – об'ємна витрата газів при температурі T_o,

V – об'ємна витрата газів при температурі 0 ^{o}C.

При розробці конструкції біопаливних котлів враховують вплив вологості палива та зниження температури відхідних газів котла. Повітряно сухим вважається біопаливо вологістю до 30% на робочу масу, а високовологим – понад 50 %. При невеликому температурному градієнті конвективних поверхонь нагріву парових котлів необхідно значно збільшувати їх площу [1], що наведено на рис. 1.

Основною проблемою є те, що при спалюванні вологого біопалива утворюється набагато більше димових газів, що викликає необхідність підвищення кількості тепла для випаровування внутрішньої вологи палива та вимагає застосування передтопку і призводить до необхідності реконструкції котла та зміни компонування котельної. Спалювання вологого палива вимагає більшої витрати повітря, ніж на його суху масу, що також призводить до значного збільшення витрат димових газів та збільшення ти-

порозмірів топкової камери і конвективної шахти котла. В окремих випадках необхідно передбачити можливість попереднього підсушування біомаси та реконструкції котла для спалювання вологого біопалива.

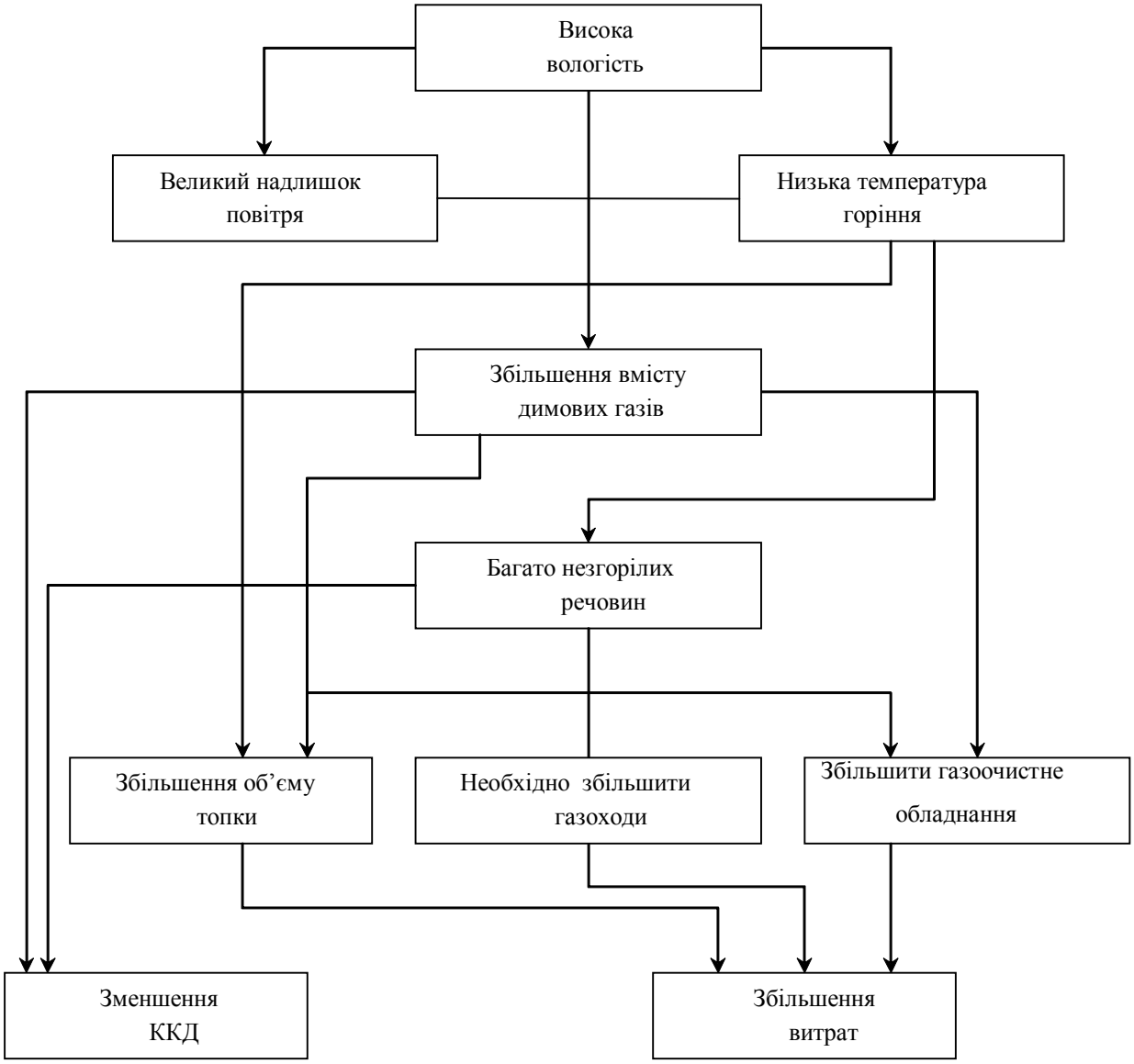


Рис. 1. Вплив вологого палива на конструкцію котла

Крім зазначеного, зниження температури відхідних газів призводить до конденсації водяної пари та утворення точки роси на конвективних поверхнях нагріву котла. З метою виключення корозійних процесів необхідно спалювати паливо зі вмістом сірки менше 0,5 % або приймати додаткові заходи щодо захисту низькотемпературних поверхонь, а також газоходів котла від сірчано кислої корозії. Тому після підготовки технічного проекту необхідно оцінити можливі варіанти:

- розширення комірки, що реконструюється, котла в котельні;
- встановлення нового котла за межами будівлі котельні;

- отримання сухого або організація підсушування вологого біопалива до необхідної кондиції.

Використання біопалива, як показує практика та теоретичні дослідження, можливе як при традиційному факельному спалюванні, так і з застосуванням різновидів топок котлоагрегатів з циркулюючим киплячим шаром (ЦКШ), що найбільш придатні для низькоякісного палива, як з екологічної, так і технологічної точок зору.

Досвід не тільки промислово розвинених країн заходу, але й таких країн, що мають розвинену вугільну енергетику (Польща, Чехія, Словаччина) показує переваги переходу від традиційного факельного спалювання твердого палива і його відходів до спалювання в різновидах ЦКШ – котлоагрегатів. Одним з таких різновидів, який завдяки своїм перевагам знайшов широке застосування, є технологія високотемпературного киплячого шару (ВЦКШ), що запропонована у 90-х роках минулого століття російською фірмою „Петрокотел" [2-5].

Технологія ВЦКШ зберігає основні переваги ЦКШ та представляє послідовність коли шар палива формується за рахунок власної золи і функціонує на рухомій колосниковій решітці, встановленій під кутом. Технологія не вимагає застосування спеціального устаткування і максимально адаптована до впровадження з мінімальними витратами на більшості вітчизняних котлів. При реконструкції діючих котлів технологічне обладнання, як правило, зберігається, що дає позитивний ефект як в плані надійності роботи котла, так і в плані швидкого освоєння нової технології. При спалюванні низькосортних видів палива застосування ВЦКШ забезпечує ККД практично недосяжним для серійних парових та водогрійних котлів, а при більш якісному паливі забезпечується підвищення теплопродуктивності котла.

Використання біопалива дає не тільки енергетичний та екологічний, але і соціальний ефект – дозволяє знизити вартість послуг населенню і собівартість товарної продукції.

Наприклад, для оцінки ефективності використання біопалива для котла невеликої потужності – 35 т/год пари або водогрійного котлу 100 Гккал/год мережної води – споживання на рівні 5000 м^3/год. Місячна паливна складова собівартості котла на газі:

$$E_к = 5 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 250 \cdot 8 = 7{,}2 \text{ млн.грн.}$$

Умовно, але наближено до реальності, вартість біопалива допустимої вологості (включаючи витрати на підсушування) франко-котельня складе 500 грн/т. Максимальні місячні витрати на паливо (паливна складова собівартості):

$$З = 5 \cdot 3 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 500 = 5{,}4 \text{ млн.грн.}$$

Відповідно, щомісячний чистий прибуток складе:

$$П_р = E_к - З = 7{,}2 - 5{,}4 = 1{,}8 \text{ млн.грн.}$$

За даними розробників, вартість встановлення котла не перевищує 10 млн. грн., а реконструкція в 2-2,5 рази дешевше. Виходячи з цього, термін окупності переходу на біопаливо не перевищує 3-х місяців, а при заміні (або встановленні нового) – півроку.

Французький досвід використання біопалива показав ефективність біопалива при обігріві 6-гектарної теплиці соломою автоматизованою котельною установкою без обслуговуючого персоналу, при чому середньорічний коефіцієнт використання складає 96 %, при максимально місячному – 98%, що на 10-12% вище, ніж у наших енергетичних котлів, і в півтора рази вище, ніж в комунальних котельнях [5].

Третій етап. Необхідно виходити з того, що біомаса – це місцеве паливо. Відповідно, споживачі теплоти повинні знаходитися у безпосередній близькості від котельних та міні-ТЕЦ. Споживачі теплової енергії визначаються замовником спільно з проектантами та ретельно погоджуються відповідно до раціонального використання заготівельних енергоресурсів та розташування на відстані біля 50-60 км від джерел паливозабез-

печення. Такими споживачами є, насамперед, комунальники (опалення та гаряче водопостачання населених пунктів), тваринницькі комплекси та птахофабрики, лісопромислові комплекси, тепличні господарства і промислові підприємства перероблення сільгосппродукції.

Таким чином, використання різновидів біомаси і місцевих видів палива у масштабах регіонів – це комплексна проблема, у вирішенні якої повинні приймати участь і органи влади, і енергетики, і виробники енергообладнання, і бизнес-структури на основі узгоджених проектів і рішень. Звісно, масштаби використання визначаюся можливостями застосування одержаної теплової енергії. Але в нашій державі не має підприємств, які б на промисловій основі займалися разробленням покладів бурого вугілля, сланців і торфу, а також підготовкою до широкого використання соломи, деревинних та інших відходів. Без створення таких видобувально-підготовчих воробництв місцевого біопалива проблема енергозбереження, самозабеспечення регіонів енергоносіями і одночасного покращення екологічної ситуації не буде вирішена.

Висновки

Найголовнішими напрямками з точки зору ресурсозбереження є розробка на промисловій основі родовищ бурого вугілля, сланців і торфу, а також підготовка до широкого використання соломи та деревинних відходів. Створення місцевої інфраструктури по ланцюжку видобуток (збір) – зберігання – підсушування – доставка місцевого палива – одержання додаткової тепло(електро)енергії дозволило б вивільнити значні ресурси природного газу і децентралізувати енергопостачання регіонів, зробивши його більш економічним і незалежним від стану і можливостей систем централізованого енергозабезпечення.

Список літературних джерел

1. Праховник А.В. Малая энергетика: распределённая генерация в системах энергоснабжения. - К.: Освіта України, 2007. – 462 с..

2. Мишина К.И. Реконструкция пылеугольных энергетических котлов с переводом на сжигание в циркулирующем кипящем слое/ К.И. Мишина, В.Г. Здановский, Ю.В. Юферов// Новости енергетики - Київ, 1998. - № 4. - С. 22-28.

3. Здановский В.Г. Котлоагрегаты малой и средней мощности с топкой новой разновидности ЦКС/ В.Г. Здановский, К.И. Мишина// Новости енергетики. - Київ, 1999. - № 4. - С. 20-28.

4. Здановский В.Г. Екологічна безпека теплоенергетики України та деякі шляхи її покращення/ В.Г. Здановский // Новини енергетики. – Київ, 2000. - №6. - С. 11-15.

5. Здановский В.Г. Экологическая составляющая энергетических проблем Украины/ В.Г. Здановский, Н.П. Лисин, Н.В. Злочевский // Новини енергетики. – Київ, 2003. - № 5. С. 57-64.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.94; 004.75

Казимир В.В., д-р. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Сіра Г.А., аспірант

Інститут проблем математичних машин та систем, м. Київ, Україна

Мушкетик І.І., магістрант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ EMS

Сформовані основні вимоги до сучасної системи імітаційного моделювання. Пропонується та обґрунтовується нова розподілена система імітаційного моделювання, що відрізняється від інших підтримкою можливості взаємодії учасників моделювання різних типів під час проведення експерименту завдяки використанню архітектури HLA, потужним формальним апаратом управляючих Е-мереж з підтримкою стандарту PNML та зручним web-інтерфейсом користувача.

Вступ

Імітаційне моделювання на сьогоднішній день залишається загальновизнаним засобом для проведення досліджень в різних областях знань. Оскільки складність вирішуваних задач за допомогою імітаційного моделювання перманентно зростає, постає необхідність постійного удосконалення моделей, що, в свою чергу, призводить до потреби створення нових програмних засобів для їх реалізації. Сучасні системи імітаційного моделювання для забезпечення можливості розробки ефективних, універсальних комплексів моделей повинні задовольняти наступним вимогам:

- можливість створення моделей для широкого кола застосувань, в тому числі і для систем управління з підтримкою моделювання в реальному часі;
- наявність засобів підтримки розподіленого моделювання;
- наявність мови імітаційного моделювання;
- зручний графічний інтерфейс;
- використання відкритих технологій;
- платформонезалежність системи;

Дослідження сучасних систем імітаційного моделювання [1-3] констатують наявність невирішених проблем, пов'язаних з: реалізацією розподіленого моделювання і, як наслідок, з прискоренням процесу моделювання імітаційних моделей на комп'ютерних системах; відсутністю засобів, зокрема web-інтерфейсу системи, які б забезпечили можливість географічно віддаленим користувачам сумісно одночасно працювати з однією імітаційною моделлю; можливістю проводити моделювання в реальному часі та використанням підходу напівнатурного моделювання для проведення експериментів.

Постановка завдання

Метою даної статті є створення нової системи імітаційного моделювання, що відрізняється від інших розподіленою архітектурою, потужним сучасним формальним апаратом та зручним web-інтерфейсом.

High Level Architecture – концепція реалізації розподіленого моделювання в EMS

Розподілене моделювання в системі EMS забезпечується завдяки використанню архітектури високого рівня – High Level Architecture (HLA), що була розроблена Міністерством оборони США в кінці 90-х років з метою забезпечення інтероперабельності всіх типів моделей та підтримки їх багаторазового використання. HLA визначається стандартами IEEE 1516, 1516.1, 1516.2. «Високий рівень» в назві означає, що компонентами такого моделювання є не об'єкти або логічні процеси як в послідовному та розподіленому імітаційному моделюванні, а самі імітаційні моделі.

HLA являє собою сукупність методик та стандартів для побудови розподілених систем, включаючи забезпечення взаємодії учасників моделювання різних типів. Дана технологія поєднує системи, побудовані для різних цілей в різні періоди часу та з різною структурою, продукти та платформи різних фірм, дозволяє їм взаємодіяти в єдиному синтетичному оточенні [4]. Можливість включення окремих елементів, тренажерів, керованих персоналом, цілих систем обладнання (верстатів, машин, контролерів, плат тощо) в цикл моделювання не тільки позбавляє від необхідності імітації роботи складних технічних пристроїв та поведінки людей, але і знижує ймовірні похибки в моделюванні фізичних процесів, що в значній мірі підвищує надійність одержуваних результатів. Загальна структура HLA, що сприяє взаємодії всіх моделей представлена на рисунку 1.

Ключовими поняттями в HLA є федерація (Federation) та RTI (Run-Time Infrastructure) [5].

Федерація – це об'єднання компонентів імітаційного моделювання, названих федератами (federates). Технологія HLA не накладає обмежень на внутрішню структуру федератів, але визначає стандарт для опису інформації про об'єкти імітаційного моделювання – шаблон об'єктних моделей (Object Model Template – OMT). Даний стандарт забезпечує взаємодію федератів та надає можливість їх багаторазового використання незалежно від внутрішньої структури в різних федераціях для проведення моделювання. Таким чином, всі об'єкти федерації повинні бути описані на основі OMT.

Важливою складовою успішного розподіленого моделювання є підтримка високої швидкості комунікацій та обміну даними в масштабі реального часу між учасниками моделювання. Для цього в архітектурі HLA використовується інфраструктура реального часу (RTI). RTI забезпечує взаємодію федерацій і федератів, містить в собі загальнодоступні сервіси для координування взаємодії учасників моделювання, а також підтримує різні способи синхронізації всередині федерації. Завдяки наявності RTI реалізовується основна ідея HLA – відокремлення функціональних можливостей моделювання від загальних.

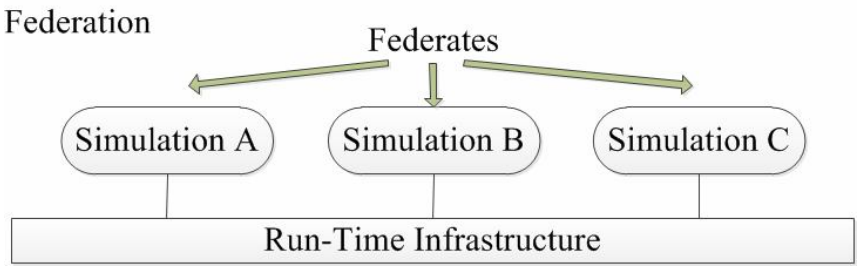


Рис.1. Схема об'єднання компонентів HLA

Детальне порівняння HLA з іншими відомими технологіями розподіленого моделювання проведено в [6], на основі якого можна зробити висновок, що використання розподіленої архітектури HLA в системі імітаційного моделювання EMS надає наступні можливості:

- об'єднання різнорідних систем імітаційного моделювання, моделі для яких вже розроблені та протестовані;
- інтеграції програм моделювання, реалізованих різними розробниками;
- проведення одночасної сумісної розробки географічно віддаленим користувачам з однією імітаційною моделлю;
- вибору різноманітних схем управління часом в процесі моделювання, зокрема режиму реального часу;
- використання географічно розподілених компонент однієї моделі;
- використання різних даних для однієї моделі в залежності від мети моделювання (завдяки відокремленню в HLA даних від архітектури);
- вибіркового розподілу інформації між взаємодіючими моделями, що, в свою чергу, надає можливості для ефективного масштабування систем;
- модифікації механізмів розподіленого моделювання для забезпечення їх відповідності конкретним задачам (завдяки використанню відкритих стандартів);
- взаємодії всіх типів моделей завдяки універсальності об'єктної ідентифікації та об'єктних зв'язків;
- зменшити час реалізації імітаційних експериментів.

Формальний опис структури федерації

Для опису структури федерації EMS використаємо агрегатний підхід, який є узагальненням відомого математичного апарату і дозволяє підійти до дослідження складних систем з позицій системного аналізу. В основі агрегатного підходу лежить поняття агрегатної системи (АС), що складається з певним чином пов'язаних між собою агрегатів, виділених на етапі декомпозиції системи. З точки зору моделювання агрегат виступає як достатньо універсальний оброблювач інформації, який може приймати вхідні та видавати вихідні сигнали. Функціонування системи в цілому складається з автономних процесів роботи окремих агрегатів та обміну сигналами між ними. Агрегат являє собою об'єкт, заданий на множині станів *Z*, вхідних сигналів *X* та вихідних сигналів *Y*. Еволюція агрегатів визначається операторами переходів *H* та виходів *G*. Надходження вхідного сигналу в агрегат є зовнішньою подією, яка може викликати зміну стану агрегату, що буде являтись фактором здійснення внутрішніх подій. Агрегатні системи замкнуті, тобто, якщо агрегатна система в цілому може бути описана у вигляді агрегату, то об'єднання кінцевого числа агрегатних систем також буде агрегатною системою. Ця властивість є однією з основ побудови складних ієрархічних моделей систем.

Агрегат є найбільш формальною моделлю опису складної системи. Саме тому під час опису процесів функціонування в поняття агрегат можуть бути закладені найрізноманітніші математичні схеми: від булевих функцій та кінцевих автоматів до маркових процесів та систем масового обслуговування. Однак, під час моделювання паралельних взаємодіючих процесів, для функціонування елементів федерації найбільш придатним є застосування апарату мереж Петрі [7] та їх розширень – Е-мереж [8].

В системі EMS використовується апарат управляючих Е-мереж (Control E-network – CEN), основна перевага якого і відмінність від класичних Е-мереж та мереж Петрі полягає у здатності виконувати всі дії моделі узгоджено з поточним станом об'єкта управління. Дана властивість дозволяє використовувати створені моделі в якості алгоритмів управління в режимі реального часу. Взаємодія з об'єктом управління відбувається завдяки відповідним змінним мережі V ; для вхідних дискретних сигналів використовується позначення *DI*, для вхідних аналогових – *AI*, вихідних дискретних – *DO*, вихідних аналогових – *AO*, таким чином, $V_I = DI \bigcup AI$ та $V_O = DO \bigcup AO$. Дискретні

сигнали можуть приймати значення із множини $\{0,1\}$, а аналогові – з множини $\Re$ дійсних чисел.

Динамічні властивості мережі визначаються зміною маркування мережі та залежать від значень компонентів управляючого відображення. Маркуванням управляючої Е-мережі будемо називати вектор $M = (M(p_1), M(p_2), ..., M(p_n))$, де $n = |P_S|$. Позиція $p_i \in P_S$ називається вільною (не містить мітку), якщо $M(p_i) = 0$, в іншому випадку, при $M(p_i) = 1$ позиція вважається зайнятою. Для заданого маркування M множину маркірованих позицій будемо визначати як $P_M = \{p \in P_S \mid M(p) > 0\}$.

Як і в класичних Е-мережах, кожній мітці, що знаходиться в позиції CEN, ставиться у відповідність кортеж числових атрибутів, що визначає інформаційний зміст мітки $d_i = (d_{i1}, d_{i2}, ..., d_{ij}, ..., d_{iN})$, де d_{ij} – значення j-го атрибуту i-й мітки. Під час переміщення міток по мережі значення їх атрибутів можуть змінюватись. При виконанні мережі мітки можуть переходити з вхідних позицій переходів у вихідні, змінюючи маркування мережі. Оскільки кількість позицій CEN кінцева, то і кількість можливих її маркувань також кінцева і дорівнює $2^{|P_S|}$, включаючи початкове маркування $M_0 = (M_0(p_1), M_0(p_2), ..., M_0(p_n))$.

Структурним компонентом управляючої Е-мережі, що визначає її динаміку, є множина управляючих відображень $U = (r, \sigma, \alpha, \tau, z)$, що включає п’ять функцій, асоційованих з переходами мережі:

1. r – вирішаюча функція переходу;
2. σ – функція готовності переходу до спрацювання;
3. α – функція активації переходу;
4. τ – функція затримки переходу;
5. z – функція перетворення переходу.

Множиною досяжності CEN будемо називати множину RS всіх маркувань, включаючи початкову, тобто $RS \subseteq M$. Графом досяжності будемо називати граф $RG = (RS, G \subseteq RS \times RS)$, що включає в якості вершин досяжні маркування. Дуги $g \in G$, де $g = (M_i, M_k)$ показують, що маркування M_i безпосередньо досяжне з маркування M_k.

Архітектура та структура системи EMS

Основу розробленої архітектури (рис. 2) системи імітаційного моделювання складають декілька серверів, що, взаємодіючи між собою, дозволяють користувачу створювати, редагувати, відлагоджувати модель та проводити експерименти в розподіленому середовищі на основі HLA.

Наявність зручного інтерфейсу користувача є однією з вимог до розроблюваної системи. В більшості сучасних систем всі підсистеми моделювання, в тому числі і підсистема інтерфейсу, виконуються на комп’ютері користувача, однак складність сучасних моделей потребує значно більше обчислювальних ресурсів, ніж доступно користувачу одного комп’ютера. Вирішення даної проблеми можливе завдяки забезпеченню виконання логіки інтерфейсу користувача на окремих web-серверах та надання користувачу зручного web-інтерфейсу. Основний недолік використання web-інтерфейсу для створення редактора моделей – високу складність його розробки – можна звести до мініму-

му завдяки використанню сучасної високорівневої бібліотеки Vaadin, що була використана під час розробки інтерфейсу даної системи.

Можливість забезпечення багатокористувацького режиму роботи з системою потребує наявності декількох web-серверів, навантаження між якими рівномірно розподіляється за допомогою сервера балансування навантаження. Створення імітаційної моделі, виконання експерименту, робота з його результатами, завантаження та збереження моделі забезпечується підсистемою інтерфейсу, що виконується виключно на web-серверах.

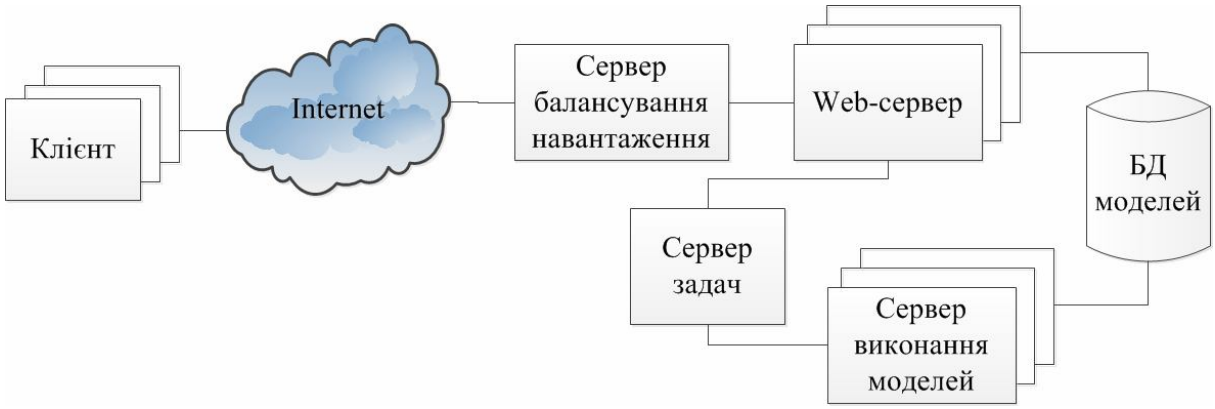


Рис.2. Архітектура системи EMS

Виконання імітаційної моделі потребує великої кількості обчислювальних ресурсів, що може призвести до перенавантаження web-сервера. Таким чином, для забезпечення ефективного використання ресурсів і надійної роботи web-серверів, необхідно використовувати окремі сервери, задачею яких є виконання моделей. Підсистеми сервера виконання моделей визначені на рисунку 3.

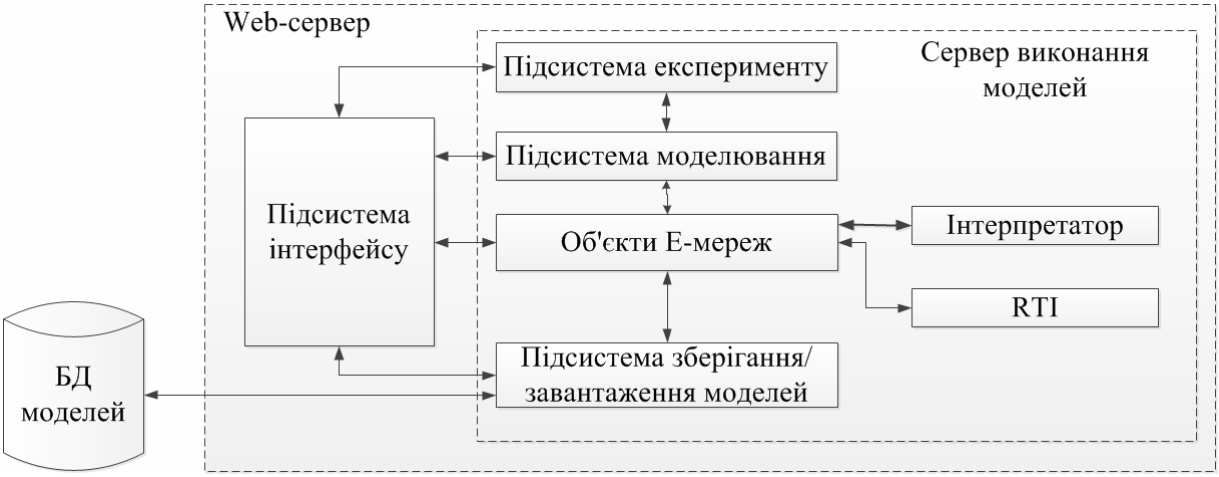


Рис.3. Структура системи EMS

Сервер задач, в свою чергу, виконує рівномірний розподіл задач між окремими серверами виконання моделей. В БД моделей зберігаються імітаційні моделі, створені користувачами, результати проведених імітаційних експериментів, а також дані про користувачів системи.

Визначення CEN у форматі PNML

Потреба збереження та відновлення створених моделей продиктована необхідністю їх багаторазового використання у поєднанні з моделями різних типів під час проведення імітаційного експерименту.

Міжнародний стандарт Petri Nets Markup Language (PNML) надає можливість збереження моделей, створених на основі апарату мереж Петрі, у форматі XML завдяки використанню RELAX NG схем [9]. Стандарт складається з двох частин: описів об'єктної моделі та формату збереження всіх різновидів мереж Петрі. Опис об'єктної моделі здійснюється у форматі Eclipse Modeling Framework (EMF), який дозволяє згенерувати Java-код, XSD схеми та UML діаграми.

В стандарті PNML передбачено декілька методів для його розширення [10], серед яких виділяють:

1) можливість створення власних атрибутів та анотацій (анотації, на відміну від атрибутів, описують елементи, що впливають на зображення об'єкту – колір, форма тощо);
2) успадкування класу ToolInfo; доцільно застосовувати у разі потреби додавання нових даних до існуючого типу мережі Петрі з метою її подальшого використання в певних програмах.

З метою використання стандарту PNML в системі EMS нами було розширено даний стандарт з врахуванням наступних особливостей CEN:

- наявність переходів та черг різних типів;
- можливість задання функцій на кожному переході;
- наявність атрибутів мітки;
- наявність агрегатів.

Зазначимо, що до складу різних моделей можуть входити агрегати з однаковою структурою, але різними за параметрами. Введення поняття типу агрегата, як сукупності всіх агрегатів з однією структурою надає можливість зберігати опис структури один раз. Крім того, у разі необхідності, можлива зміна в різних моделях всіх агрегатів одного типу, якщо під час розробки моделі користувачем були внесені корективи в його структуру. В розширеному стандарті PNML (надалі PNML CEN) кожному типу агрегата відповідає один файл з безпосереднім описом структури та XML файл спеціально розробленого формату з описом відмінностей (початкове маркування, значення функцій на переходах, змінні) між різними агрегатами одного типу.

Об'єкти CEN (агрегати, переходи та черги, вхідні та вихідні позиції) «семантично» мало відрізняються від переходів мереж Петрі: вони також можуть мати декілька вхідних та вихідних позицій, пов'язаних за допомогою дуг. Отже, для опису будь-якого об'єкта CEN доцільно використовувати об'єкт PNML – Transition. Такий підхід дозволить задати стандартні графічні дані, описані стандартом, для всіх нових об'єктів.

Для того, щоб вказати, який саме з об'єктів CEN представлено об'єктом Transition, додамо атрибут definition. Зазначимо, що атрибут PNML відрізняється від атрибуту XML. Атрибут PNML представляється в XML файлі XML елементом, введений нами атрибут definition представимо у форматі XML наступним чином:

```
<definition type="transition" subType="T">
```

В таблиці 1 наведені значення XML атрибутів type та subType PNML атрибуту definition.

Таблиця 1

Значення атрибутів елементу definition

Type	Subtype	Опис
transition	T,F,J,X,Y	Переходи CEN
queue	FIFO, LIFO, PriorityFIFO, PriorityFIFO	Черги
aggregate	Назви агрегатів користувача	Агрегати
input	-	Вхід агрегату
output	-	Вихід агрегату

Наведемо приклади опису об’єктів різного типу у форматі PNML CEN.

Перехід:

```
<transition id="ValidT">
  <name>
       <text>XTest</text>
       <graphics>
            <offset x="22" y="-14"/>
       </graphics>
  </name>
  <definition type="transition" subType="T">
       <delayFunction type="ecli">
            RETURN 123;
        </delayFunction>
  </definition>
  <graphics>
       <position x="950" y="484"/>
  </graphics>
</transition>
```

Атрибути мітки:

```
<place id="validPlace">
     <name>
        <text>validPlace</text>
        <graphics>
           <offset x="22" y="-10"/>
        </graphics>
     </name>
     <token>
        <attribute name="val1" value="12.3" />
     </token>
     <graphics>
        <position x="334" y="404"/>
     </graphics>
 </place>
```

Розроблений формат XML файлу для збереження моделі дозволяє зберігати відмінності між різними агрегатами одного типу. В даному файлі не описується структура моделі, оскільки вона однозначно визначена структурою кореневого агрегату та структурами агрегатів, що входять до його складу. Далі наведено приклад файлу з описом моделі.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<model xmlns="http://www.cs.stu.cn.ua/jess/enetsdefinitions">
        <rootAggregate type="Root">
               <transition name="T1">
                <transformationFunction type="ecli">
                         RETURN rand;
                     </transformationFunction>
               </transition>
                <aggregate name="A1">
                       <transition name="T1">
                              <transformationFunction type="ecli">
                                     RETURN 9 + 1;
                              </transformationFunction>
                       </transition>
```

```
                        <aggregate name="child">
                                <place name="P1">
                                        <initialMarking>
                                           <attribute name="attr" value
="12.34" />
                                        </initialMarking>
                                </place>
                        </aggregate>
                </aggregate>
        </rootAggregate>

</model>
```

Для створення підсистеми збереження/завантаження моделей необхідно обрати засіб, за допомогою якого будуть зчитуватись і створюватись файли в форматі PNML CEN. Сумісна із стандартом бібліотека PNMLFramework була розроблена саме для цих цілей, однак, її використання пов'язано з наступними обмеженнями та ускладненнями:

– відсутня можливість легкого розширення об'єктної моделі, що призводить до необхідності часткової зміни початкових кодів бібліотеки і, як наслідок, втрати сумісності із стандартом;

– відмінність об'єктної моделі PNML від PNML CEN потребує створення об'єктів PNMLFramework з PNML файлу з подальшою їх конвертацією в PNML CEN, що значно ускладнює алгоритм зберігання моделей.

Враховуючи вище вказані недоліки, в системі EMS було прийнято рішення використовувати бібліотеку jDOM, що дозволяє працювати з XML файлами на високому рівні абстракції.

При завантаженні моделі використовується алгоритм, який послідовно, починаючи з агрегатів найнижчого рівня ієрархії і закінчуючи кореневим агрегатом, будує в пам'яті структури всіх типів агрегатів, необхідних для створення моделі. Перед побудовою кожного типу агрегату перевіряється, щоб цей агрегат не був визначений циклічно.

Створення моделей інформаційної системи вугільної шахти

Розглянемо в якості прикладу створення моделі в системі EMS для ліквідації аварійної ситуації на вугільній шахті, пов'язаної з підвищеним рівнем загазованості. В загальному випадку при моделюванні сценаріїв ліквідації необхідно в якості параметрів вказувати тип та місце аварії, оскільки в залежності від типу аварії визначається послідовність дій під час її ліквідації. В нашому випадку вона складається з наступних пунктів:

1) встановлення аварійного режиму роботи головних вентиляційних установок;

2) розрахунок вірогідності потрапляння людей в діючі горні виробітки ядовитих газів та пожаронебезпечних ділянок після встановлення певного аварійного вентиляційного режиму;

3) оповіщення персоналу підприємства про аварію та вивід людей з гірських виробіток на поверхню;

4) виклик ВГСЧ;

5) встановлення режиму електрозабезпечення;

6) встановлення режиму роботи протипожежних та вентиляційних дверей та регулюючих вікон, що задіяні в аварійній схемі вентиляції;

7) розміщення пунктів безпеки.

Модель сценарію боротьби з загазованістю представлена на рис. 4. Управління агрегату PUMP передається автоматично з програми управління верхнього рівня (сценарію роботи всіє підсистеми боротьби з аваріями) після надходження сигналу про аварію.

При цьому мітка переміщається в позицію P1, після чого починається процес виконання моделі.

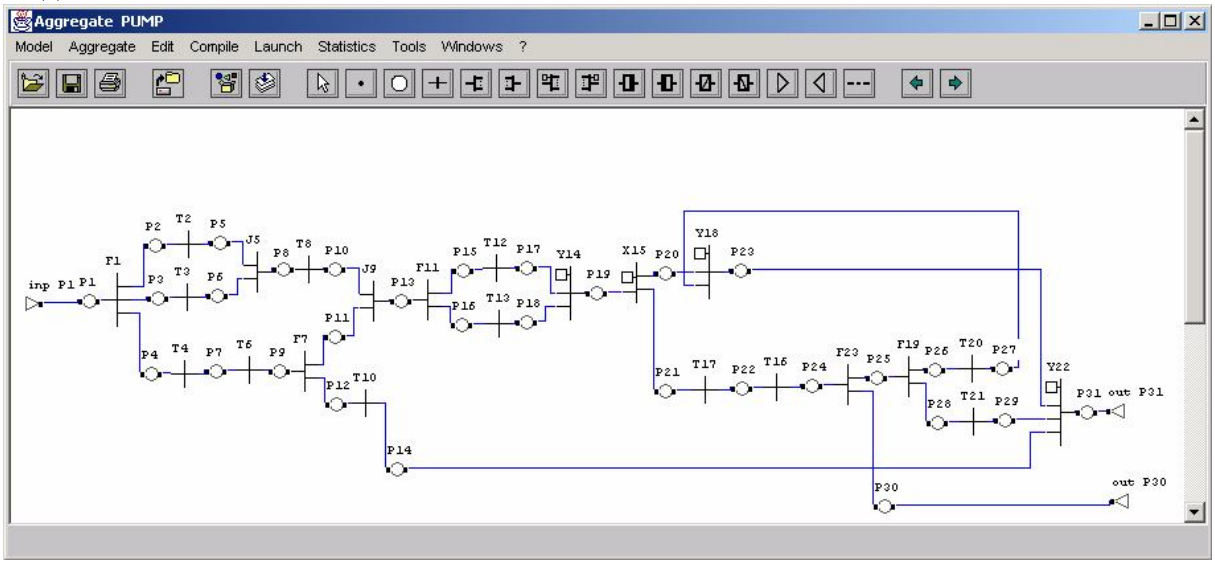


Рис. 4. Модель сценарію боротьби з загазованістю

В даній моделі функції переходів мають наступні визначення:

Перехід F1 (ініціює процес вентиляції).

Перехід T2:

- функція активації

{RP1==1&RP2==0&RP3==1;} – перехід активізується, коли запущені всі насоси;

- функція перетворення

{VE1=1; VE4=1} – відкриваються клапани, через які відбувається відкачка газу

Перехід T3:

- функція перетворення

{RP1==1&RP2==0&RP3==1;} – запускаються в роботу насоси.

Перехід T4:

- функція активації

{RP1==1&RP2==0&RP3==1&VE1==1;} – перехід активізується, коли запущені всі насоси та відкрито клапан для відкачування газу;

- функція перетворення

{ VE2=1;VE3=1;} – починається відкачування повітря.

Умови нормальної роботи системи вентиляції, які перевіряються за допомогою моделей прогнозування, визначаються наступним чином:

AG {} ((RP1 and RP2 and RP3) {>1200000]} and NV2 implies) – завжди після 20 хвилин роботи насосів загазованість повинна не перевищувати верхню межу, та формовакуумна відкачка повинна закінчуватись не більш, як за 10 хвилин;

AF {} ((READY and not VV2 {>60000}) implies CHAMBER_LEAKING) – якщо колинебудь після відкачки загазованість буде вищою за верхню межу більш, ніж 1 хвилину, повинен бути виданий сигнал «Аварійний ріст загазованості».

Після багатьох прогонів моделі на основі зібраної статистики можна визначити:

1) загальний час, необхідний на ліквідацію аварії при заданих початкових умовах;
2) час, необхідний для виконання окремих заходів з ліквідації аварії;
3) кількість людей, що успішно евакуювались за даний проміжок часу з аварійної ділянки;
4) кількість людей, що не встигли успішно евакуюватись;
5) розвиток аварії та її післядії;

6) ступінь руйнування ділянки після аварії.

Розроблена імітаційна модель може використовуватись в комплексі з іншими моделями сценаріїв аварій в розподіленому середовищі з метою оцінки рівня надійності функціонування інформаційної системи безпеки вугільної шахти.

Висновки

Запропоновано систему імітаційного моделювання EMS, яка розроблена на основі розподіленої архітектури HLA, що дозволяє під час моделювання забезпечити взаємодію учасників різних типів в єдиному синтетичному оточенні, позбавити від необхідності імітації роботи складних технічних пристроїв та поведінки людей, знизити ймовірні похибки в моделюванні фізичних процесів, що в значній мірі підвищує надійність одержуваних результатів. Використання даної системи дозволяє спростити та прискорити розробку складних моделей географічно-віддаленим користувачам завдяки наявності зручного web-інтерфейсу системи, розробленого на основі технології Vaadin. Застосування ієрархічного агрегатного підходу дозволяє створювати моделі на основі простих, легко сприйманих конструкцій, а використання механізму CEN – виконувати всі дії моделі узгоджено з поточним станом об'єкта управління, що забезпечує динамічне моделювання та можливість використання створених моделей в якості алгоритмів управління в режимі реального часу. Розширення стандарту PNML для зберігання моделей на основі CEN дозволяє підтримувати сумісність з іншими системами імітаційного моделювання, що використовують в якості формального апарату мережі Петрі.

Створені імітаційні моделі можуть бути використані для побудови синтетичного оточення інформаційних систем з метою виявлення, уточнення їх особливостей та характеристик за допомогою методу напівнатурного моделювання.

Список літературних джерел

1. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Рыжиков Ю.И. – СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. – 384с.
2. Лоу А. Имитационное моделирование / А. Лоу, В. Кельтон – СПб.:БХВ-Петербург, 2004. – 848с.
3. Михеева Т.В. Обзор существующих программных средств имитационного моделирования при исследовании механизмов функционирования и управления производственными системами // Известия Алтайского государственного университета. – 2009. – №1. – С.87-90
4. Казимир В.В. Моделирование синтетического окружения для реактивных систем // Математичне моделювання. – 2003. – № 2(10). – С.24–32.
5. Richard M. Fujimoto Distributed Simulation Systems / Richard M. Fujimoto – NY:"A Wiley-Interscience publication". – 2000. – 303p.
6. Афанасьев А.П, Ваньков А.И., Волошинов А.И., Кривцов В.Е., Попков Е.Ю., Шляев П.Г. Современные технологии построения распределенных программных систем / Афанасьев А.П, Ваньков А.И., Волошинов А.И., Кривцов В.Е., Попков Е.Ю., Шляев П.Г. – М: Проблемы системного анализа и управления, 2001. – 53с.
7. Дж. Питерсон Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М: Мир, 1984. – 264с.
8. Nutt G. Evaluation Nets for Computer Systems Performance Analysis // FJCC, AFIPS PRESS. – 1972. – P.279-286.
9. Eric van der Vlist RELAX NG [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://books.xmlschemata.org/relaxng/page2.html
10. L.M. Hillah, E. Kindler, F. Kordon, L. Petrucci, N. Trèves A primer on the Petri Net Markup Language and ISO/IEC 15909-2 [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.pnml.org/papers/pnnl76.pdf

УДК: 005.311.2:004.94

П.М. Павленко, д-р.техн.наук
Ю.В. Задонцев , нач. відділу

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМ НАВЧАННЯМ ІТ-ФАХІВЦІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Представлено розробку нової інформаційної технології з підтримки процесів професійного навчання ІТ-фахівців в умовах діючих підприємств

Вступ

Промисловим підприємствам потрібні ІТ-фахівці, які не тільки отримали знання згідно з вузькими рамками своєї спеціальності, а й отримали б цілий спектр ділових умінь та професійних навичок, що дозволило б максимально швидко та ефективно виконувати свої службові обов'язки. Разом з тим, з розвалом радянської системи народного господарювання та управління майже зникли відділи і служби з підготовки й перепідготовки фахівців в умовах діючих підприємств. Частково їх функції взяли на себе фірми, які впроваджують сучасні інформаційні системи і технології. Але в цілому це є проблемою, яку необхідно вирішувати.

Постановка задачі

Планування підготовки фахівців з упровадження інформаційних технологій (ІТ) у промислове виробництво з використанням різних форм отримання освіти є новою задачею для промислового виробництва та одним з найважливіших чинників підтримки конкурентоздатності та ліквідності основних активів підприємства (людських ресурсів) на необхідному рівні.

Підготовка фахівців з упровадження ІТ у виробничу діяльність підприємства є складовою субстратегії професійного навчання кадрів та соціального розвитку. Оскільки субстратегія є органічною складовою єдиного цілого – загальної стратегії розвитку підприємства, тому й розробляти та реалізовувати її потрібно як взаємопов'язані, взаємообумовлені та погоджені елементи інтегрованого комплексу планування діяльності підприємства. Таке погодження обумовлює мету розробки адаптивного методу планування підготовки фахівців з упровадженням ІТ та реалізацією цього методу.

Результати досліджень

Сукупність отриманих наукових і практичних результатів нової інформаційної технології підтримки процесу планування професійного навчання фахівців базується на поняттях "інформаційні ресурси" та "інформаційні процеси". На рис. 1 подано схему, яка логічно визначає запропоновану інформаційну технологію.

Інформаційні ресурси – це запропоновані моделі, методи та алгоритми. Інформаційний процес у широкому розумінні – це процес одержання, збереження, перетворення, представлення та передачі інформації, узятий окремо або в сукупності. Зміст і характер інформаційних процесів визначається розробленою інформаційною системою «AC_PLAN».

Автоматизована інформаційна система (АІС) являє собою інструмент, що дозволяє відбирати інформаційні ресурси та реалізувати інформаційні процеси. Основу АІС становить комп'ютер з операційною системою, системою управління базами даних і прикладними програмами.

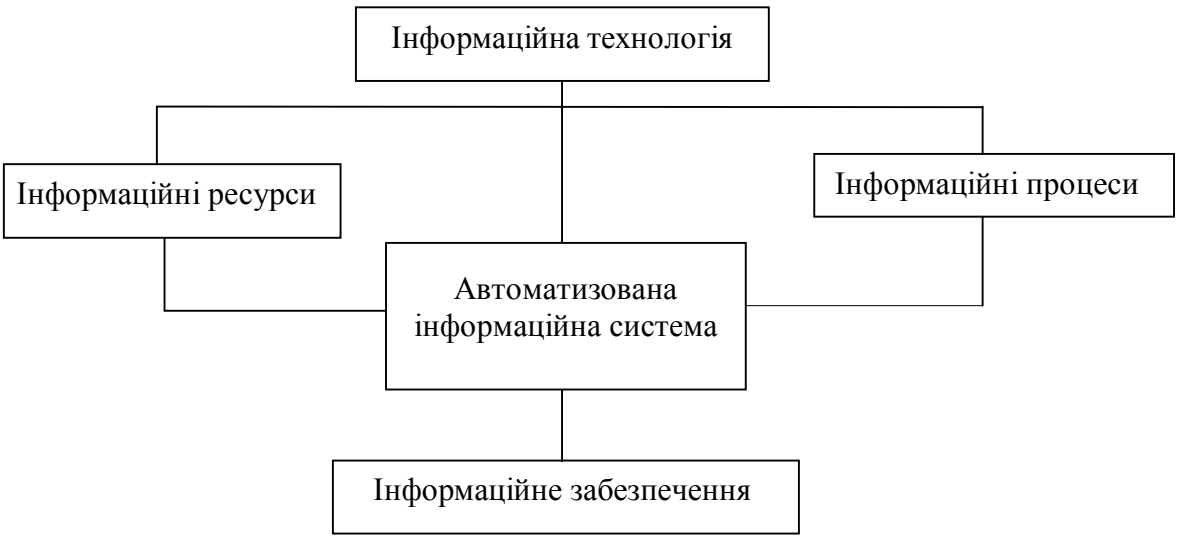


Рис. 1. Схема інформаційної технології

Архітектура інформаційної технології (рис. 2) описує взаємозв'язок запропонованих в роботі теоретичних положень, методів, алгоритмів та прикладних програм інформаційної системи «AC_PLAN».

Основні функції інформаційної системи:

1. Збір даних проводить особа, яка приймає рішення (ЛПР), керуючись програмою введення вихідних даних та програмного модуля.

2. Аналіз даних ґрунтується на використанні сукупності математичних моделей та методів для видобутку інформації з певним чином організованих даних, необхідних для прийняття рішення.

3. Зберігання та пошук інформації реалізується за допомогою бази даних, а також системи керування базами даних.

Особа, яка приймає рішення щодо доцільності проведення професійного навчання персоналу організації, виконує такі функції:

1. Введення початкових даних, необхідних для проведення автоматичних розрахунків.

2. Синтез плану підготовки згідно з алгоритмом і методикою синтезу плану підготовки фахівців.

3. Прийняття рішення про доцільність проведення підготовки.

Після синтезу плану підготовки (внесення поточних змін до переліку заходів підготовки) варіант плану поступає до блоку аналізу, який шляхом моделювання процесів набуття та втрати рівнів підготовки визначає рівень підготовки наприкінці циклу навчання. Отриманий прогноз рівня підготовки вказує на можливість або неможливість виконання завдань проекту впровадження за таким рівнем та дозволяє виконати автоматичні розрахунки ефективності проекту впровадження ІТ виробничого призначення.

Отримані показники ефективності проекту впровадження є підґрунтям для прийняття рішення про доцільність проведення підготовки.

В якості технологій розробки розподілених програмних додатків обрано технологію .NET компанії Microsoft, яка є однією з найпрогресивніших і з тих, що продовжує розвиватися. Технологія .NET є нейтральною по відношенню до мов програмування, головне, щоб вони були сумісні з .NET. Виклик функцій середовища .NET можна виконати на багатьох мовах програмування: Visual Basic C#, C++ та ін. Щоб ефективніше використовувати технологію .NET, розробниками були введені нові програмні конструкції. Мовою програмування розробки також вибрано мову фірми Microsoft Visual C#.

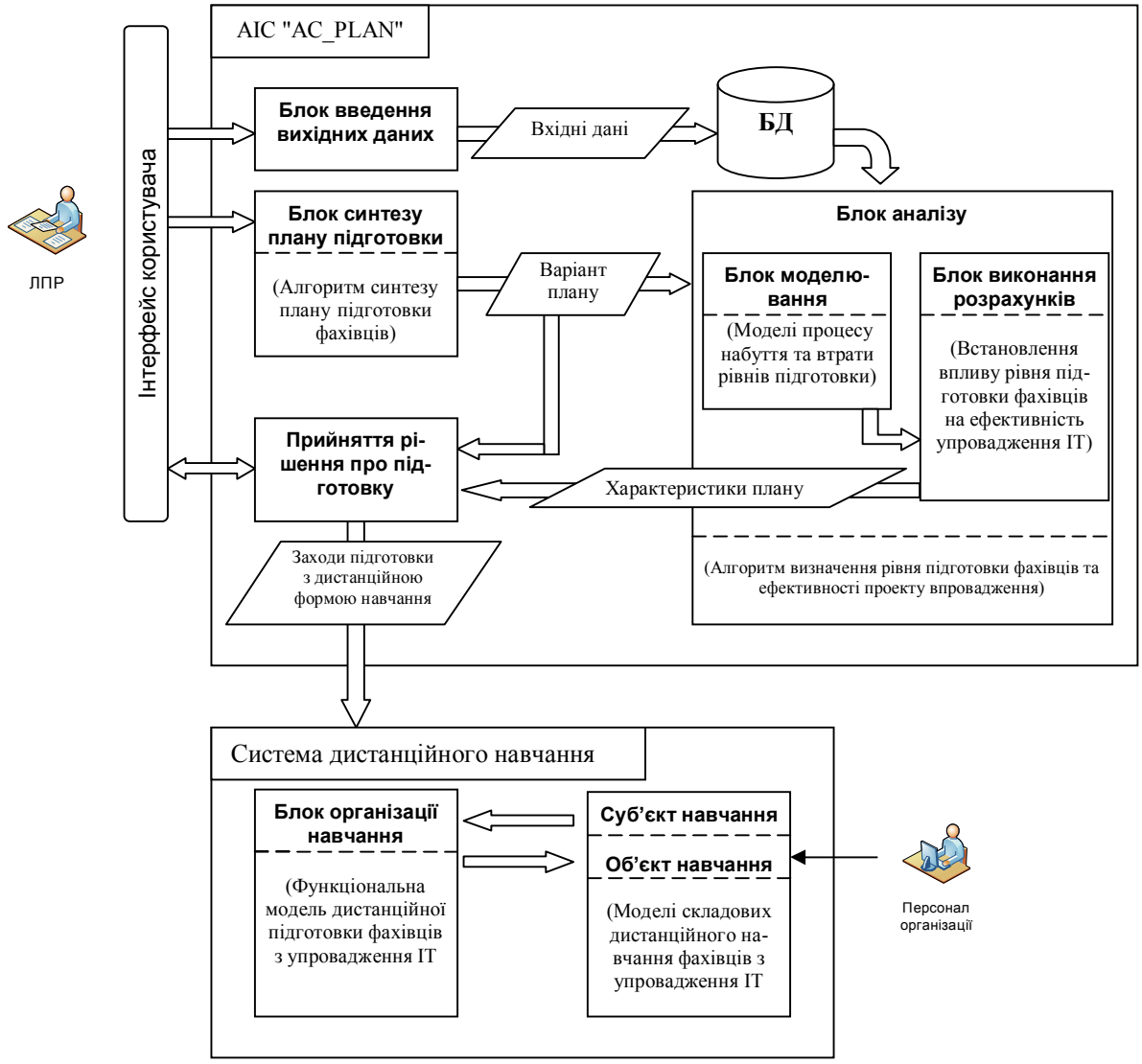


Рис. 2. Архітектура інформаційної технології підтримки процесу планування професійного навчання фахівців з упровадження ІТ виробничого призначення

Visual C# розроблена як сучасна, повністю об'єктно-орієнтована мова, яка об'єднує кращі можливості C++, Java і Visual Basic та спеціально призначена для написання .NET-програм. Це нова, елегантна мова, мета якої – поєднати простоту Visual Basic з потужністю C++.

Для розробки бази даних обрано реляційну модель як найбільш поширену. Основними сутностями (відношеннями), що описують процес підтримки планування професійного навчання, визначені:

1.Захід професійного навчання.

2.Учасник професійного навчання (суб'єкт, об'єкт).

3.Форма навчання (денна, вечірня, дистанційна, самостійна).

4.План (розклад) заходів.

Показники, що використовуються в моделі набуття і втрати рівня підготовки, та отримані в результаті формалізації впливу форми навчання на рівень підготовки для використання методики синтезу плану професійного навчання з прогнозом рівня підготовки фахівців використано в якості атрибутів. Отримана логічна реляційна модель да-

них (рис. 3) аналізувалася на наявність відношень, що потребують нормалізації. Усуваючи неповні функціональні, транзитивні й нетривіальні залежності, забезпечено виключення дублювання даних і можливість виникнення аномалій при виникненні операції поповнення, зміни та вилучення даних з баз даних.

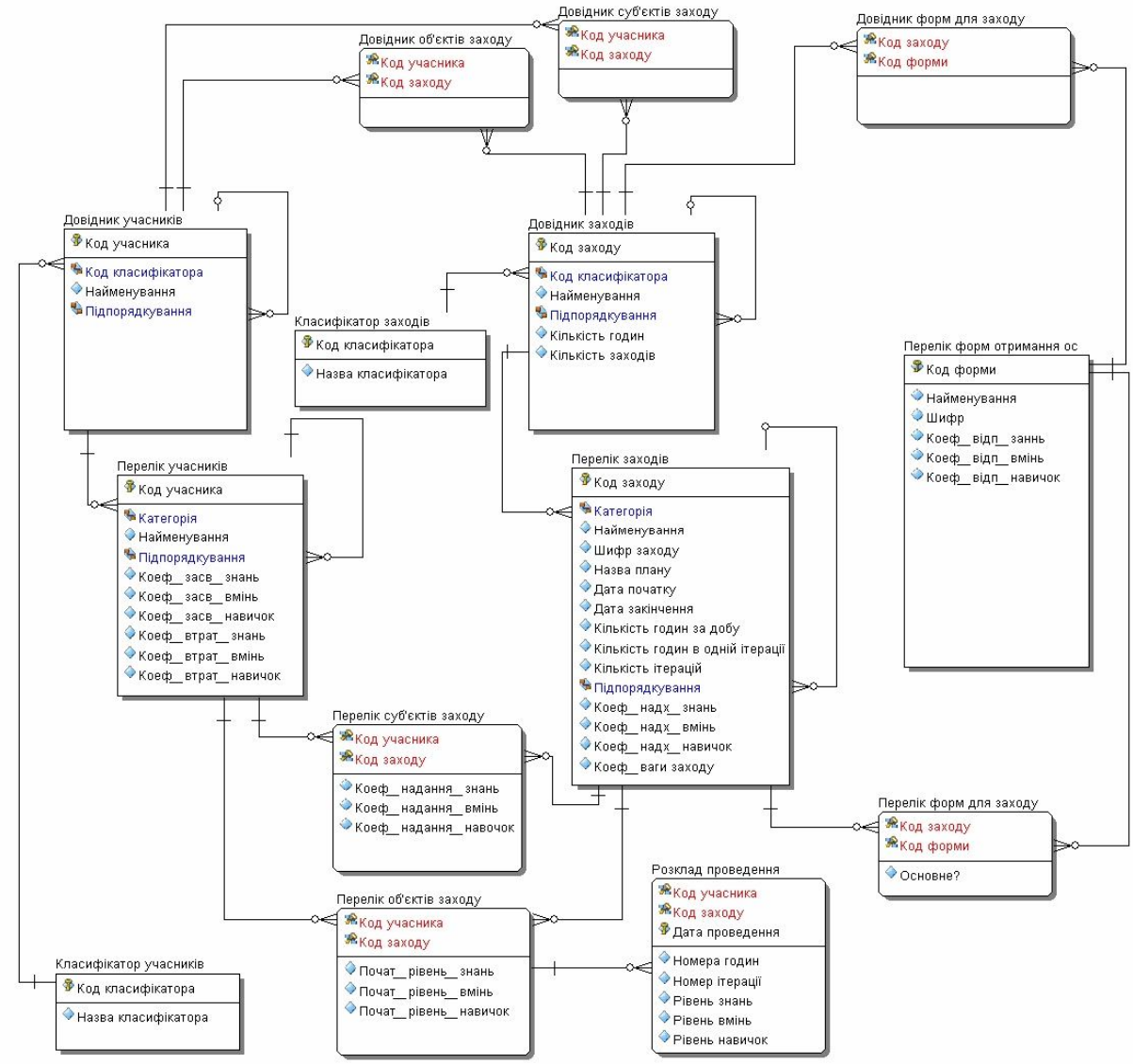


Рис. 3. Логічна модель бази даних для інформаційної системи підтримки процесу планування професійного навчання

Вибір цільової системи управління базами даних (СУБД) полягав у виборі системи, що задовольняє як поточним, так і майбутнім вимогам при оптимальному рівні витрат, які включають придбання СУБД, додаткового апаратного і програмного забезпечення, а також витрати, пов'язані з переходом до нової системи і необхідністю перенавчання персоналу. Проаналізувавши можливості СУБД, зроблено висновок, що такі СУБД як MySQL, InterBase прийнятні для вирішення невеликих завдань. Для підтримки середніх і крупних проектів Oracle і MS SQL Server. Враховуючи приведене порівняння СУБД, а також досвід експертів, MS SQL Server є більш придатними для розробки інформаційної системи підтримки процесу планування професійного навчання фахівців. Для переходу від логічної моделі даних до фізичної моделі використовувалась наступна методика:

1. Денормалізація реляційної моделі.

2. Перетворення реляційної моделі в фізичну модель. Кожне відношення перетворюється на таблицю. Кожен атрибут стає стовбцем таблиці. Первинний ключ відношення стає первинним ключем таблиці. Для стовбців за необхідності задаються діапазони значень.

3. Перейменування таблиць та атрибутів фізичної моделі.

4. Генерація фізичної моделі за допомогою CASE-засобу.

5. Перейменування ключів, посилальних зв'язків.

6. Розробка віртуальних відношень.

7. Написання тригерів, процедур та функцій користувача.

Процес організації професійного навчання фахівців з упровадження інформаційних технологій та місце запропонованої інформаційної технології підтримки планування подано на рис. 4.

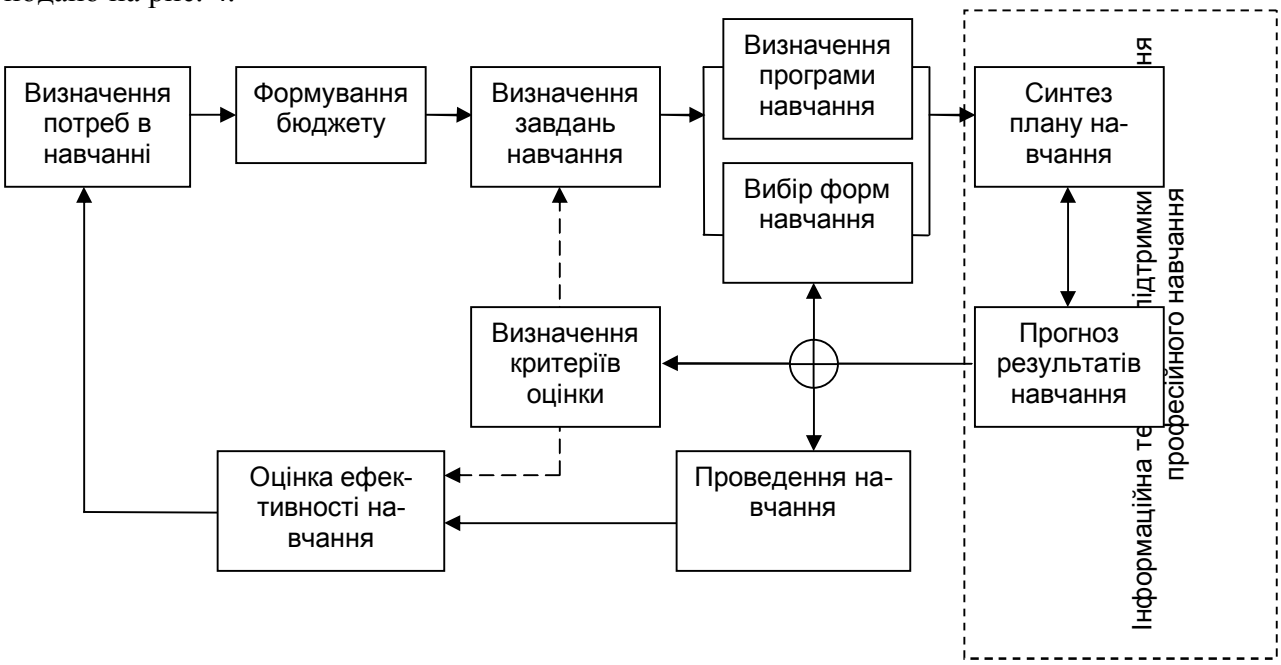


Рис. 4. Організація професійного навчання фахівців з використанням ІТ підтримки процесу планування навчання

Запропонована інформаційна технологія дозволяє аналізувати складений план навчання та приймати рішення щодо доцільності проведення підготовки фахівців за варіантом плану. Моделі та методи інформаційної підтримки процесу планування професійного навчання представлені узагальненою методикою їх використання, яка представлена у вигляді алгоритму на рис. 5. Таким чином, створена певна послідовність дій, при виконанні якої отримаємо необхідну інформацію щодо доцільності організації професійного навчання фахівців з погляду прогнозу рівня підготовки та ефективності впровадження нової інформаційної технології.

Розглянемо кожен з цих кроків, які демонструють основні прецеденти сценарію впровадження нової інформаційної технології.

Етап 1. Після виникнення задуму на впровадження нової інформаційної технології виникає задача формування завдань проекту впровадження, до вирішення якої можуть бути залучені досвідчені фахівці. Декомпозиція завдань дозволить визначити потреби в навчанні (рис. 4). Маючи відповідний бюджет на організацію навчання та завдання (цілі) навчання, можна приступати до другого етапу.

Рис. 5. Узагальнений алгоритм методики використання ІТ підтримки планування професійного навчання

Етап 2. Оцінка початкового рівня підготовки персоналу, наявної навчально-матеріальної бази, що планується до використання, досвід викладачів, які будуть проводити заходи підготовки, є підґрунтям для моделювання (прогнозу) результатів навчання.

Етап 3. Маючи вихідні дані маємо змогу проводити синтез варіанту плану організації професійного навчання за відповідним методом на основі алгоритму синтезу плану, тобто моделювати взаємопов'язані заходи різних організаційних форм системи підготовки фахівців на основі розрахункової моделі забування знань і втрати умінь та навичок тих, хто навчається.

Процес планування складається з операцій додавання заходів плану у вікна робочого поля системи та подальшого їх редагування (рис. 6). При цьому автоматично проходить зміна даних панелі графіка, що відображає автоматичні розрахунки прогнозу.

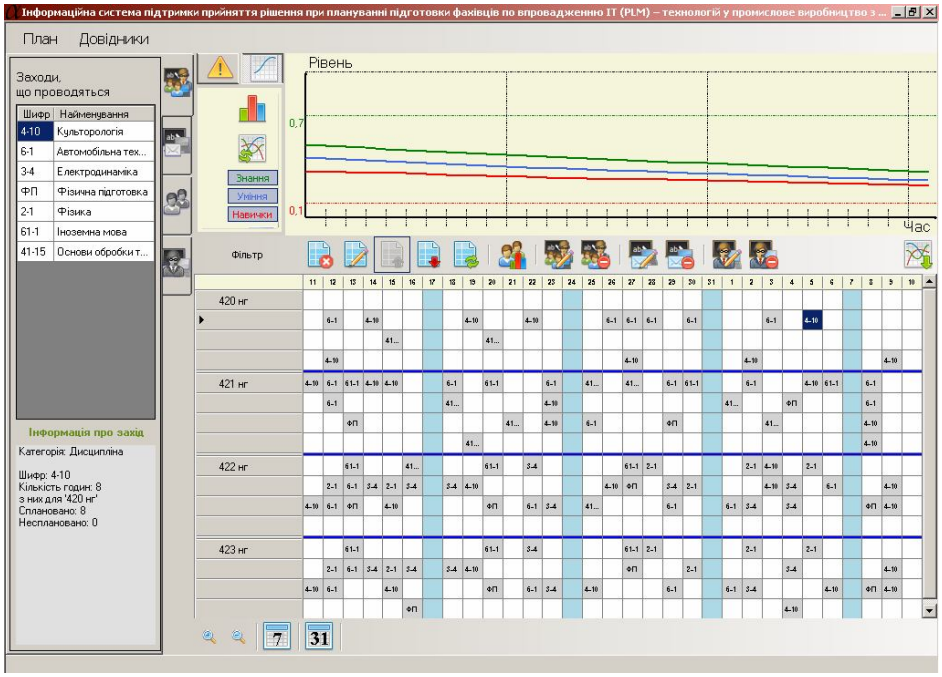


Рис. 6. Фрагмент роботи розробленої інформаційної технології

Етап 4. Оцінка плану здійснюється за двома основним показниками: прогноз рівня підготовки фахівців та усередненого показника повернення інвестицій в саму інформаційну технологію (впровадження і експлуатація) і показника повернення інвестицій на навчання персоналу. Панель-графік відображає результати автоматично. На графіку за вибором оператора можуть окремо відображатися рівень знань, умінь або навичок, що формується в часовому просторі плану.

Етап 5. Провівши автоматично оцінку плану, інформаційна система забезпечує особу, що приймає рішення, необхідною інформаційною підтримкою для прийняття рішення на доцільність проведення професійного навчання з метою виконання завдань проекту впровадження. Ця інформація включає в себе:

1. Відповідь на питання, чи можливо ефективно виконати проект впровадження з погляду вкладених інвестицій.
2. У випадку неможливості досягнення мети встановлює причини та можливі шляхи вирішення.
3. Економічні показники від реалізації як професійного навчання персоналу організації, так і впровадження нової технології.

Виконання кожного з етапів вимагає відповідної підготовки та чіткої координації дій спеціалістів та фахівців підприємства.

Висновок

Запропонована інформаційна технологія реалізує теоретичні положення, моделі, методи та алгоритми за допомогою розробленої автоматизованої інформаційної системи «AC_PLAN» з метою підтримки процесу планування професійного навчання підготовки фахівців з упровадження ІТ виробничого призначення в промислове виробництво.

УДК 681.3.082.5
Нестеренко С.О., канд.техн.наук

Чернігівський державний технологічний університет, м.Чернігів, Україна

ДЕТАЛІЗАЦІЯ ПОЛІГОНАЛЬНИХ СІТОК ПОСЛІДОВНИМ ВИКЛЮЧЕННЯМ ВУЗЛІВ

Описаний ітеративний алгоритм деталізації полігональних сіток, побудованих з трикутників та чотирикутників, в якому замість вузлів та ребер похідної сітки створюються нові трикутні або чотирикутні грані, а старі вузли та ребра видаляються.

Постановка проблеми

Комп'ютерне геометричне моделювання як підрозділ комп'ютерної графіки має справу з методами опису об'єктів візуалізації, найчастіше це моделі двовимірних та тривимірних тіл. Одним з найбільш універсальних та широко розповсюджених способів опису тіл є так зване поверхневе уявлення, коли об'єкт ототожнюється з поверхнею, яка ділить простір на зовнішній та внутрішній підпростори відносно цього об'єкта [1].

Серед поверхонь, які описують зовнішність тривимірного об'єкта, найбільш поширеними є полігональні. Вони являють собою множину плоских полігонів (багатокутників), кожен з яких має зовнішню границю у вигляді замкненого ланцюга ребер, найчастіше прямих. Кажучи точніше, з цих полігонів складається плоска або просторова сітка, в якій кожне ребро являє собою загальну границю двох суміжних полігонів, за виключенням ребер, які у незамкнених сітках формують їх зовнішню границю.

Для якісної візуалізації полігональні сітки, що моделюють об'єкти реального навколишнього світу, мають бути достатньо детальними. Практично це означає, що середній лінійний розмір грані (полігону) повинен бути достатньо малим відносно характеристичного розміру модельованого об'єкта.

Але побудова детальних полігональних сіток є непростою задачею [2]. Зазвичай існують два способи такої побудови: аналітичний та інтерактивний. Обидва способи трудомісткі. До того ж аналітична побудова полігональної сітки можлива лише для обмеженої множини модельованих тіл досить простих форм, для яких можливий аналітичний або алгоритмічний розрахунок координат точок поверхні.

Короткий опис методу

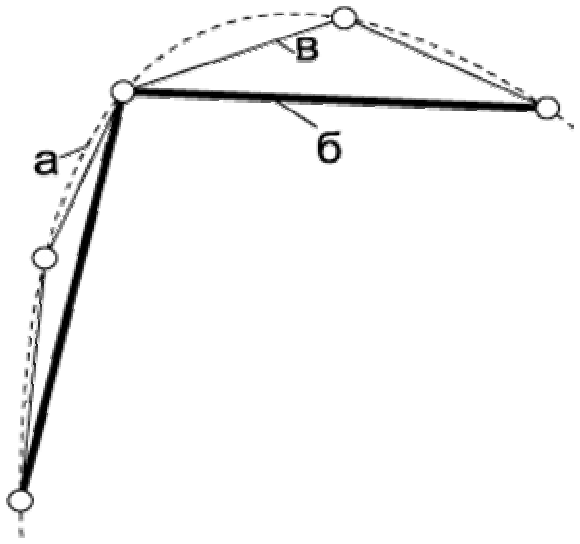
Вихід може бути знайдений на шляху виконання цієї роботи в два кроки.

Першим кроком є одержання (аналітично або інтерактивно) досить грубого початкового наближення полігональної сітки. Завдяки невеликій кількості вершин в ній ця робота може бути виконана за прийнятні час і вартість.

Другий крок полягає в тому, що запускається циклічний регулярний алгоритм, який з великих початкових полігонів сітки створює все дрібніші та дрібніші, аж доки потрібна детальність не буде досягнута. Ця дія називається розділенням сітки (синоніми: розподіл, деталізація, тесселяція).

При цьому можливі принаймні дві тактики.

Першу [3] можна пояснити за допомогою рисунка 1, де для простоти розглядається двомірний випадок, тобто замість просторової сітки береться ламана лінія. На цьому об'єкті між існуючими вершинами згідно якогось алгоритму вставляються додаткові вершини, які також належать ідеальній лінії. Нове наближення до ідеальної лінії формується новою ламаною, яка проходить як через старі вершини, так і через нові.



а – ідеальна лінія; б – наближення 1; в – наближення 2
Рис. 1 Розділення ламаної лінії зі збереженням існуючих вузлів

Недолік цієї тактики полягає в тому, що витрати на обчислення координат нових вершин точно такі, як і обчислення координат вершин попереднього наближення (бо вони лежать на ідеальній лінії) [4]. Тобто, ніякого виграшу у витратах тут нема. Перевага цієї тактики полягає в тому, що граничне наближення є ідеальною лінією. Фактично тут ми маємо ситуацію, коли можна одразу створити полігональну сітку високої детальності, незважаючи на витрати – вони будуть ті ж самі, що і після проведення потрібної кількості циклів розділення-деталізації.

Другу тактику пояснимо рисунком 2.

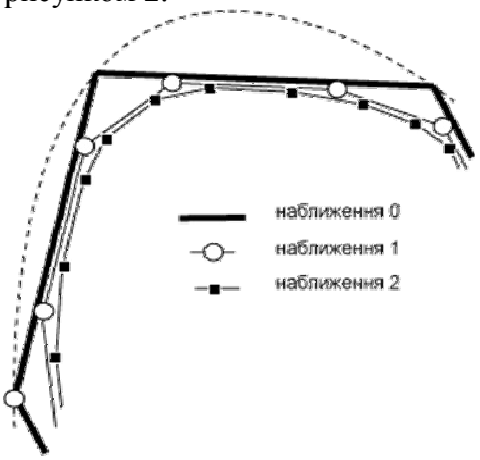


Рис. 2 Розділення ламаної лінії з видаленням вузлів попереднього наближення

Її ідея полягає в тому, що нові вершини розміщуються на прямих (площинах) попереднього наближення, при цьому при формуванні ламаної лінії нового наближення старі вершини видаляються.

Перевага цієї тактики полягає у значній економії на трудомісткості обчислення координат нових вершин за простими лінійними функціями. Платою за це є те, що кінцеве граничне наближення буде відрізнятись від ідеальної лінії. Щоправда, за нашою думкою, у більшості практичних випадків цією відмінністю можна знехтувати.

Розглянемо другу тактику більш детально.

Розрахунок координат точок наступного наближення

Спочатку опишемо обчислення координат згаданих точок для випадку ламаної лінії (рисунок 3).

Рис. 3 Визначення точок наступного наближення на відрізку

Природно бажати, щоб нові точки c1 і c2 знаходились на рівних відстанях від кінців A1 та A2 початкового відрізка. Тоді мова йде по суті про розділення відрізка A1 A2 у заданому співвідношенні. Це співвідношення можна задавати апріорно, але, як і в [5], для полегшення узагальнення описуваної методики на випадки багатокутних граней є резон вдатись до механічних аналогій.

Це означає, що для знаходження координати точки c1 кожному з кінців A1 та A2 ставляться у відповідність умовні маси m1 та m2 , а точка c1 вважається центром мас цієї двомасової системи. Без втрати загальності викладення будемо завжди вважати m1 + m2 = 1. Задаючи співвідношення між m1 та m2, ми фактично визначатимемо положення їх центру мас, тобто точки c1 . З практичної точки зору можна використовувати значення m1 = 5/6 та m2 = 1/6.

Для знаходження точки c2 маса m1 умовно вважається розташованою в точці A2 , а m2 відповідно – в A1 . Якщо розглядати точки як їх радіуси-вектори, можна записати узагальнене рівняння для знаходження точок c1 і c2 на відрізку [6]:

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 \\ m_2 & m_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

У випадку трикутної грані (рисунок 4) з урахуванням пояснень та допущень, викладених вище, матимемо наступне.

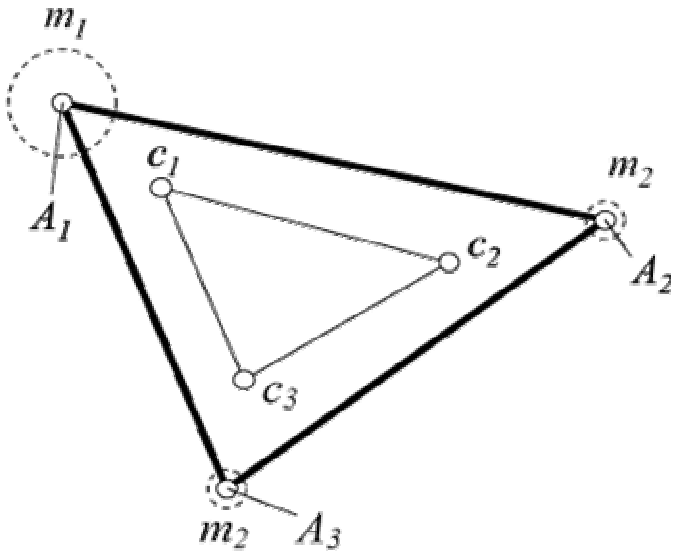


Рис. 4 Визначення точок наступного наближення на трикутній грані

Під час призначення мас вузлів можна було б кожному вузлу призначити окрему масу, але з практичних міркувань вирішено обійтися двома: «великою» масою m1 , призначення якої – «притягувати» до себе обчислювану точку, та «малу» масу m2 для протилеглих вершин трикутника, призначення яких – «витягувати» нову точку зі старої вершини на середину трикутника.

Як и в попередньому випадку

m1 + 2 m2 = 1, приймемо m1 = 0,8, m2 = 0,1.

Координати точок c_i (i = 1, 2, 3) обчислюються за рівнянням:

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_2 \\ m_2 & m_1 & m_2 \\ m_2 & m_2 & m_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

Узагальнимо викладене ще і на випадок чотирикутної грані, оскільки цього в більшості випадків буває достатньо для практично використовуваних полігональних сіток (рис. 5).

Маси вершин $m_1 + 2\,m_2 + m_3 = 1$, приймемо $m_1 = 0{,}8$, $m_2 = 0{,}08$, $m_3 = 0{,}04$.

Формула обчислення вершин:

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 & m_2 \\ m_2 & m_1 & m_2 & m_3 \\ m_3 & m_2 & m_1 & m_2 \\ m_2 & m_3 & m_2 & m_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix}. \qquad (3)$$

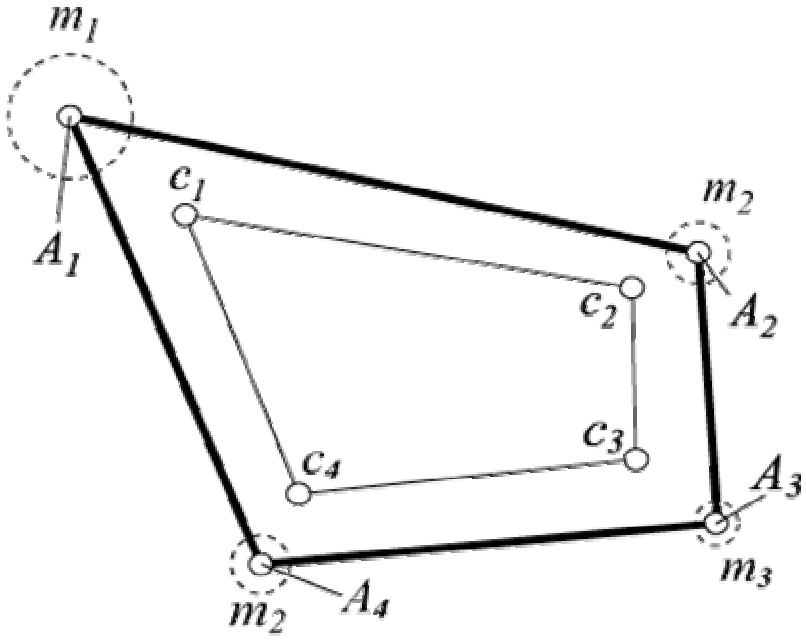
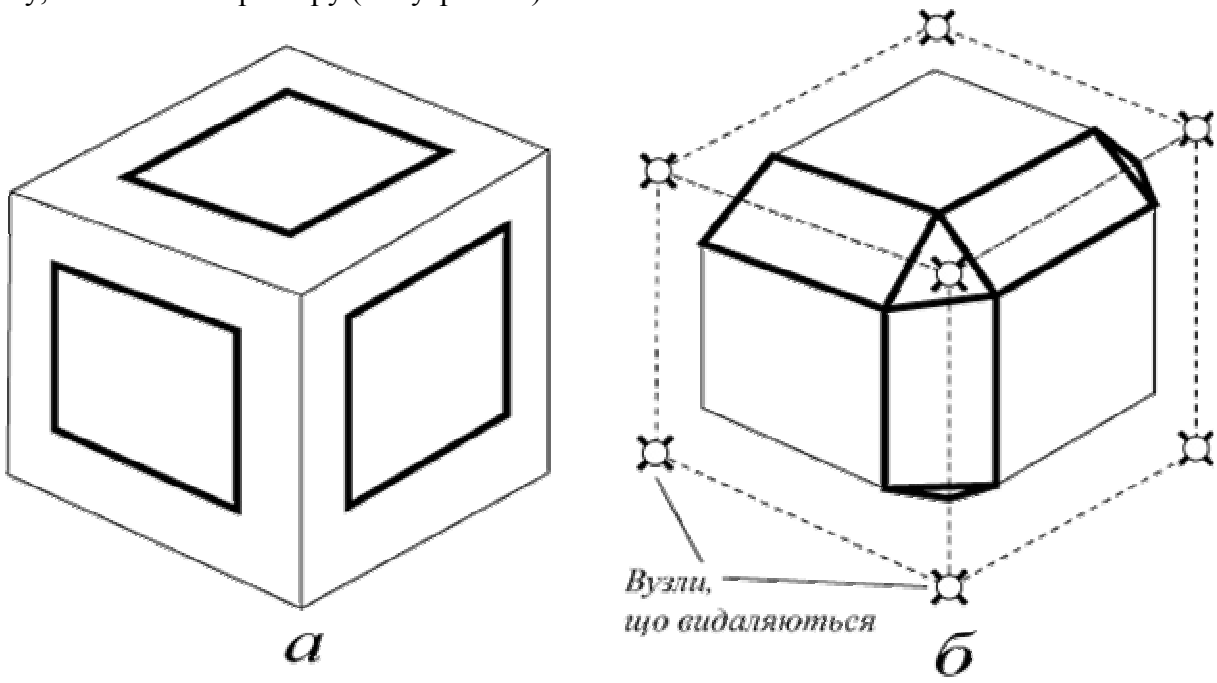


Рис. 5 Визначення точок наступного наближення на чотирикутній грані

Побудова нового наближення на сітках

Розглянемо полігональну сітку, побудовану з чотирикутників та трикутників (рис. 6).

Для виконання однієї ітерації розділення сітки спочатку на кожному її полігоні знаходяться додаткові точки, з яких будуються всередині грані полігони, подібні похідному, але меншого розміру («внутрішні»).



а – похідна сітка з побудованими внутрішніми полігонами наступного наближення;
б – добудовані полігони, що заміняють ребра та вершини, вузли похідної сітки видалені
Рис. 6 Визначення точок наступного наближення на чотирикутній грані

Далі будуються нові полігони із сторонами, що перетинають сторони похідної сітки як показано на рисунку 6.

Останнім кроком є видалення вершин і ребер похідної полігональної сітки, що і дало назву цій роботі.

Таким чином, похідна полігональна сітка цілком заміняється на полігональну сітку наступного наближення. Неважко бачити, що кожному ребру похідної сітки в новоствореній сітці відповідає чотирикутник, а кожній вершині – багатокутник з числом сторін, рівним числу ребер похідної сітки, інцидентних цій вершині.

В роботі [5] наводяться геометричні алгоритми приблизної побудови параметричних ступеневих кривих. Порівняння цих алгоритмів з процедурою, викладеною в даній роботі, дозволяє стверджувати, що граничною поверхнею після нескінченної кількості ітерацій буде квадратичний раціональний В-сплайн.

Висновки

1. Запропоновано алгоритм ітеративної деталізації полігональних сіток, побудованих з трикутників та чотирикутників, в якому замість вузлів та ребер похідної сітки створюються нові трикутні або чотирикутні грані, а старі вузли та ребра видаляються.
2. З викладеного видно, що в граничній поверхні більшість граней будуть чотирикутними, що створює [7] незначні переваги в процедурі подальшого рендерингу.

3. Кінцева поверхня, що може бути одержана описаною процедурою, поступово наближається до B-сплайнової поверхні ступеня 2. Таким чином, множина вершин похідної полігональної сітки по суті є множиною контрольних точок кінцевої сплайнової поверхні.

Список літературних джерел

1. Шикин Е., Боресков А. Компьютерная графика. Полигональные модели. – М.: Диалог-МИФИ, 2000. – 464 с.
2. Puppo E. Variable Resolution Triangulations // Computational Geometry. – 1998. – Vol. 11. – p. 219–238.
3. Heckbert P . , Garland M. Survey of Polygonal Surface Simplification // SISGRAPH. – 1997. – Course 25.
4. Hoppe H., De Rose T., Duchamp T., McDonald J. Stuetzle W. Mesh Optimization // Computer Graphics Proceedings. – 1993. – p. 19–26.
5. Doo D., Sabin M. A. Behaviour Of Recursive Subdivision Surfaces Near Extraordinary Points. – Computer Aided Design, 1978.10(6).– p. 356–360.
6. Фокс Ф., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. – М.:Мир, 1982. – 577 с.
7. Блінова, Т.О., Порєв В.М. Комп’ютерна графіка – К.: Видавництво «Юніор», 2004. – 456 с., іл

УДК 004.93
Никитенко Е.В., канд. физ.-мат. наук,
Силиченко А.И., магистрант

Черниговский государственный технологический университет, г.Чернигов, Украина

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА

Спроектирована структура системы идентификации человека по изображению лица, которая осуществляет распознавание лиц, выделение антропометрических точек и непосредственно идентификацию на основе отклика от различных алгоритмов, сочетание которых позволяет повысить достоверность результата идентификации.

Постановка проблемы

Задача идентификации человека по изображению лица является одной из сложнейших видов биометрической идентификации, так как чаще всего ее приходится выполнять при ограниченной информативности изображений и весьма распространенной недостаточной сопоставимости из-за разрыва во времени, разницы условий съемок и т.д. Это обстоятельство не дает возможности использовать весь арсенал приемов и методов данного вида биометрической идентификации.

Решение задачи идентификации считается наиболее сложным по следующим причинам:

а) система, как правило, никогда ранее не сталкивалась с изображением данного человека;
б) система сравнивает всегда отличающиеся изображения. Даже при создании оптимальных условий для сравнения (освещенность, ракурс, мимика) изображения всегда отличаются друг от друга, учет всех возможных различий в процессе предварительной настройки системы крайне затруднителен;
в) сравниваемые изображения, как правило, значительно различаются по времени их получения (возрастные, косметические и другие подобные изменения могут оказать значительное негативное влияние на качество идентификации).

Современные системы распознавания лиц обеспечивают высокий процент распознавания и могут использоваться совместно с системами контроля и управления доступом для увеличения уровня контроля доступа на объектах с повышенными требованиями к обеспечению безопасности, например, в банках или на режимных предприятиях.

Использование системы распознавания лиц актуально для торговых предприятий и развлекательных заведений. Магазины, супермаркеты, автозаправки, клубы, рестораны, кафе – всех их объединяет одно: желание извлечь максимальную прибыль, для чего необходимо повышать качество обслуживания клиентов и обезопасить посетителей. Для них важно ограничить доступ людям, которые по тем или иным причинам нежелательны в этом заведении и, наоборот, заранее узнав о прибытии постоянного клиента или VIP-персоны, на более высоком уровне обслужить его.

Анализ последних исследований и публикаций

Классические системы распознавания лиц основаны на методах, ориентированных на внешность в целом: PCA (Principal Component Analysis) [1], ICA (Independent Component Analysis) [2], а также LDA (Linear Discriminant Analysis) [3]. В работе [4] описывается применение SIFT-дескрипторов для распознавания лиц, но не предлагается решения проблемы идентификации человека. В работе [5] предлагается комбинация дескрипторов PCA и SIFT: PCA используется для распознавания глаз, носа и рта, а при помощи SIFT описываются области вокруг найденных элементов внешности. Наконец, в работе [6] предлагается рассчитывать расстояния между всеми парами дескрипторов

обоих изображений и использовать в качестве меры близости наименьшее из них. В некоторых случаях используются только те дескрипторы, которые описывают положение глаз и рта, поскольку эти элементы внешности являются наиболее информативными.

Альтернативой методам, ориентированным на внешность в целом, являются методы локального описания внешности. Подобные методы в настоящее время подлежат активному исследованию в области распознавания лиц. В работе [7] описывается алгоритм ASM (Active Shape Models — Активные Модели Формы). Цель алгоритма — подстроить модель формы под форму объекта на изображении. ASM успешно используется для решения широкого спектра задач, в том числе определение формы органов на медицинских снимках, распознавание лиц и рукописных символов.

На сегодняшний день наиболее эффективным алгоритмом поиска лиц на изображении является алгоритм, предложенный П. Виолой и М. Джонсом [8]. Ими был предложен метод классификации объектов (не только лиц) на основании метода усиления слабых классификаторов. Усиление слабых классификаторов – это подход к решению задачи классификации путем комбинирования примитивных классификаторов в один более сильный. П. Виола и М. Джонс построили каскад слабых классификаторов, работающий по принципу последовательных приближений. Каскад состоит из нескольких ступеней, каждая ступень – множество простых классификаторов. Если ступень принимает решение о том, что вектор признаков относится к классу искомого объекта, то принимается положительное решение, только если все ступени каскада это подтвердили, иначе вектор признаков классифицируется как неискомый объект. По показателям работы в реальных системах данный подход обеспечивает высокую точность, высокий уровень верных обнаружений и низкий уровень ошибок второго рода[9].

Цель статьи

Целью данной статьи является создание структуры системы идентификации человека, которая выполняла бы поставленную задачу идентификации на основе отклика от различных алгоритмов. Установление соответствия неизвестного человека одному из зарегистрированных в системе должно выполняться на основании взаимного расположения антропометрических точек лица.

Обобщенная схема биометрической идентификации

Одна из обобщенных реализаций схемы биометрической идентификации приведена на рисунке 1. Как видно из рисунка 1, существует две фазы функционирования биометрической системы: регистрация и идентификация. В подобных системах наиболее часто выполняется процесс идентификации. Следует отметить, что в процессе функционирования система может быть переключена в фазу регистрации для добавления новых пользователей.

Процедура сравнения признаков осуществляет сравнение полученных признаков и признаков, имеющихся в базе данных. Как правило, в подобных системах решается задача поиска изображения наиболее похожего на данное в большой базе изображений. Такое направление характеризуется высокими требованиями к ошибкам первого рода – система должна найти все изображения, соответствующие данному, не пропустив, по возможности, ни одного из достаточно схожих. При этом считается допустимым, если в выборке присутствует более одного изображения, определенного как схожее с данным.

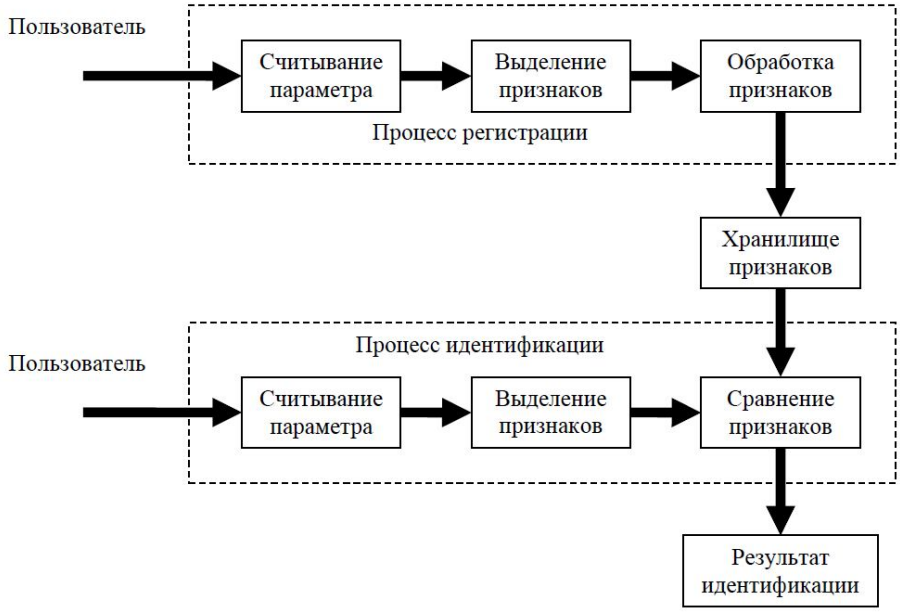


Рис. 1. Обобщенная схема функционирования биометрических методов

Принцип минимизации временного промежутка обработки изображения реализуется путем хранения в базе данных небольших наборов заранее извлеченных ключевых признаков, максимально характеризующих каждое изображение.

Биометрические системы, как правило, функционируют в режиме свободного поиска в многолюдных общественных местах (улицы, транспортные пассажирские узлы, общественные здания). Главными целями подобных систем являются оперативное распознавание лиц, находящихся в розыске, и фиксация в режиме реального времени перемещений лиц, представляющих потенциальную опасность для общества или отобранных по каким-либо другим критериям.

В подобных системах обычно имеется возможность хранения в базе данных более одного изображения каждого конкретного физического лица, полученного при изменяющихся условиях (освещенность, ракурс, мимика, прическа, наличие очков и головного убора и т.д.).

Разработка системы идентификации по изображению лица

Структура разрабатываемой системы должна состоять из модулей (рисунок 2). Модульность системы позволит без особых трудностей заменять реализацию того или иного алгоритма или вовсе заменить реализацию одного алгоритма совершенно иным без внесения существенных изменений в структуру системы в целом. Такая особенность системы идентификации человека по изображению лица просто необходима, поскольку все системы, выполняющие распознавание лиц, часто применяются в различных условиях и для получения наилучшего результата, в поставленных условиях, может потребоваться заменить какой либо компонент системы более подходящим.

Подсистема распознавания лиц (Image sender) предназначена для захвата видеоизображения с видеокамеры, поиска всех лиц, отобразившихся на текущем кадре при помощи алгоритма Виолы-Джонса, и отправки подсистеме идентификации фрагментов кадра, соответствующих найденным лицам. Взаимодействие с подсистемой идентификации должно производиться посредством обмена сетевыми пакетами. В первую очередь должно установиться соединение. Когда соединение установлено, подсистема распознавания должна отправить в первом пакете информацию об изображении (размер, тип: кадр, лицо), а во втором – само изображение.

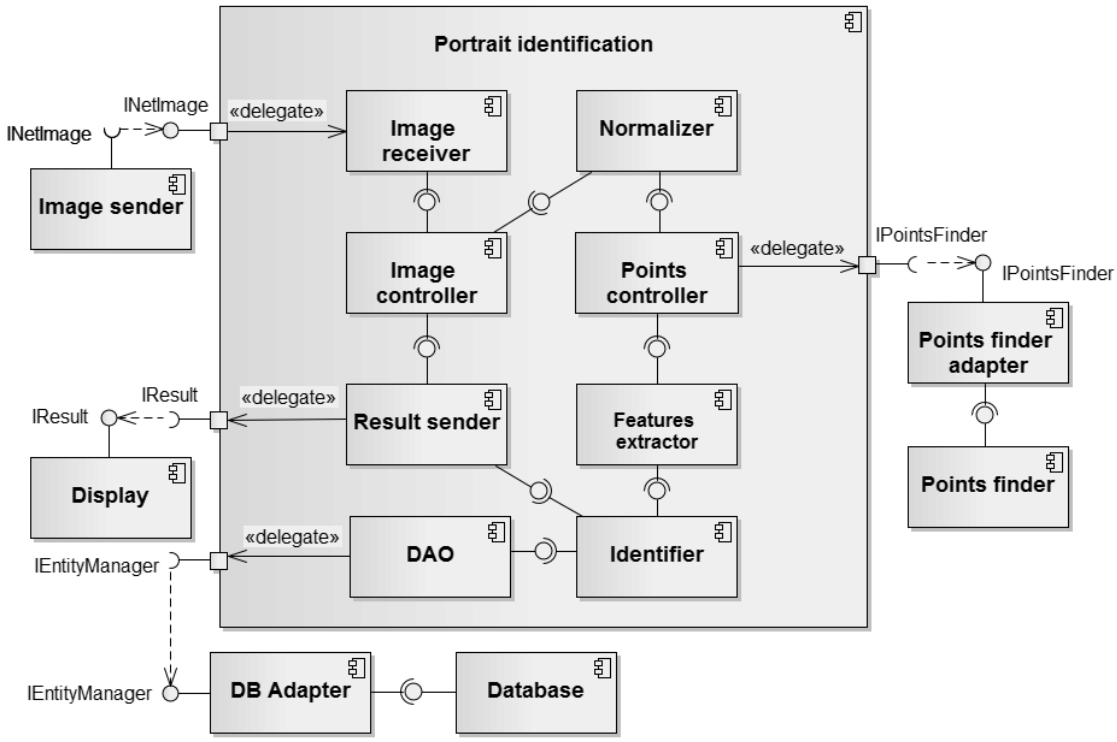


Рис. 2. Диаграмма компонентов системы

Подсистема идентификации (Portrait identification) играет роль связующего звена между всеми компонентами и содержит в себе ядро всей системы. Для взаимодействия с подсистемой распознавания в подсистеме идентификации должен присутствовать модуль взаимодействия с подсистемой распознавания (Image receiver), который отвечает за получение изображений и передачу их на дальнейшую обработку. После установления связи image receiver обрабатывает поступающую от подсистемы распознавания информацию: целое изображение или найденное лицо. В зависимости от типа, изображение либо сразу передается в подсистему обработки результатов идентификации, если это целый кадр, либо в модуль нормализации, если это изображение лица.

Следующим этапом разработки системы является модуль нормализации изображения лица (Normalizer). В большинстве случаев изображение для упрощения обработки, если оно цветное, конвертируется в оттенки серого. Также данный модуль должен выполнять нормализацию яркости и контрастности изображения, подбор наиболее подходящего динамического диапазона для более точного выделения ключевых точек. Нормализованное изображение лица передается подсистеме выделения антропометрических точек.

В подсистеме выделения антропометрических точек (Points finder adapter) предлагается использовать алгоритм ASM, реализованный во внешней библиотеке (Points finder). В алгоритме ASM используются активные формы модели – это статистические модели, которые итеративно деформируются, чтобы соответствовать объекту на изображении, и состоят из модели формы, управляемой набором ключевых точек, и моделей областей распределения вокруг каждой точки. Модель формы и модели распределения обучаются на тестовых изображениях с отмеченными позициями ключевых точек. В алгоритме применяется "грубо-точный" поиск, для этого необходимо обучить множество моделей распределения каждой ключевой точки, по одной модели на каждом уровне разрешения изображения. Поиск начинается с изображения в наиболее грубом (низком) разрешении, далее, в процессе поиска, разрешение изображения повышается до тех пор, пока могут быть улучшены позиции ключевых точек. В результате ра-

боты алгоритма ASM будет сформировано множество точек, соответствующих точкам формы лица и его основных элементов, отобразившихся на снимке.

Массив выделенных антропометрических точек передается модулю формирования признаков (Feature extractor). В качестве идентификационных признаков должны выделяться относительно неизменяемые за идентификационный период характеристики элементов внешности. Введение признаков в виде отношений определенных параметров лица делает их инвариантными к масштабу изображения и расстоянию, с которого делается фотография человека. Использование абсолютных значений размеров лица и его участков недопустимо, поскольку размеры всех объектов на изображении зависят от расстояния до объектива камеры, значение которого, в общем случае, определить невозможно.

При вычислении количественных признаков внешности следует соблюдать ряд требований. Пропорции размеров должны составляться из измерений линий, одинаково и примерно в одной плоскости расположенных по отношению к съемочной камере. Вследствие невозможности точного определения искажений, возникших в результате произвольного ракурса лица на изображении, расстояние между антропометрическими точками, для каждого отдельного признака, измеряется только по горизонтали или по вертикали.

На этапе установления личности по признакам внешности модуль идентификации (Identifier) выполняет серию запросов к БД для получения множества биометрических портретов зарегистрированных пользователей (рисунок 3). Поскольку условия получения изображения каждый раз несколько отличаются, а внешность человека также не вполне постоянна, то следует учитывать тот факт, что всегда будет присутствовать некоторая погрешность в позициях выделенных антропометрических точек и соответственно в значениях признаков. Для того, чтобы учесть указанную погрешность, следует в поисковый запрос включить значения отклонений от значений идентификационных признаков, и при каждом запросе увеличивать отклонения, если количество найденных пользователей менее заданного.

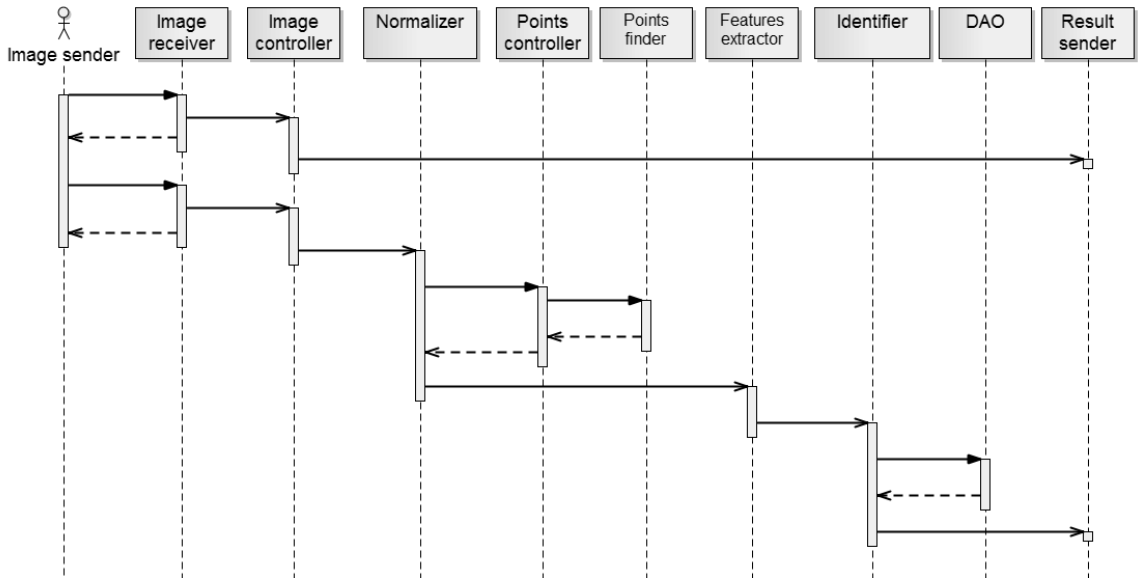


Рис. 3. Диаграмма последовательности функционирования системы

Практически все алгоритмы идентификации основываются на сравнении той или иной меры близости или сходства между неизвестным и известным лицами. В качестве обратной меры близости может быть использовано евклидово расстояние в пространстве признаков. Если мера сходства между вектором признаков идентифицируемого че-

ловека и эталонного описания зарегистрированного пользователя превышает некоторое заранее заданное число *P*, то принимается решение о соответствии идентифицируемого человека зарегистрированному пользователю. Если мера близости не превышает число *P*, то принимается решение о том, что в базе данных системы не содержится биометрического портрета идентифицируемого человека. Очевидно, варьируя число *P*, появляется возможность регулировать “строгость” системы идентификации. В теории систем распознавания это число иногда называют порогом принятия решения.

Подсистема обработки результатов идентификации (Display) предназначена для выполнения предопределенных разработчиками действий, которые зависят от предметной области применения системы: разрешение доступа к вычислительным ресурсам или данным, открытие дверей в охраняемое помещение, запуск двигателя в автомобиле, оповещение службы охраны о появлении преступника или менеджера о VIP-клиенте.

Выводы

На базе обобщенной структуры системы идентификации предложена структура системы, в которую заложены модули, реализующие алгоритмы Виолы-Джонса и ASM. Для решения задачи поиска биометрических портретов был предложен метод с использованием обновляемых отклонений значений признаков, позволяющий регулировать количество результатов поиска.

Список литературных источников

1. Kirby M. and Sirovich L. Application of the Karhunen-Loeve procedure for the characterization of human faces // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1990. – № 12. – P. 103-108.
2. Bartlett M.S., Movellan J.R. and Sejnowski J. Face recognition by independent component analysis // IEEE. Trans. Neural Networks. – 2002. – № 13. – P. 1450-1464.
3. Belhumeur P.N., Hespanha J.P., Kriegman D.J. Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition using Class Specific Linear Projection // Proc. of the 4th European Conference on Computer Vision. – Cambridge, UK. – 1996. – P. 45-58.
4. Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004. – № 60. – P. 91-110.
5. Sivic J., Everingham M. and Zisserman A. Person spotting: Video shot retrieval for face sets // Lecture Notes in Computer Science. – 2005. – P. 226-236.
6. Bicego M., Lagorio A., Grosso E. and Tistarelli M. On the use of SIFT features for face authentication // Proceedings of Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop. – New York, NY, USA. – 2006. – 35 p.
7. Cootes T.F. and Taylor C.J. Statistical Models of Appearance for Computer Vision. – University of Manchester. – 2004. – 124 p.
8. Viola P., Jones M.J. Robust Real-Time Face Detection // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 57, №. 2. – P. 137-154.
9. Вежневец А.П. Методы классификации с обучением по прецедентам в задаче распознавания объектов на изображениях // Труды конференции Graphicon-2006. – 2006. – С. 166-173.

УДК 531

А.М. Єрошенко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, Україна
Г. П. Міхнєва, аспірант
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ЗАДАЧАХ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ

Розглядаються алгоритми навчання штучної нейронної мережі, що дозволяють забезпечити високу збіжність та швидкодію навчання багатошарового персептрона в задачах багатопараметричної апроксимації при контролі процесу вимірювання поверхонь деталей на координатно-вимірювальної машині.

Вступ

В даний час проблема проектування систем керування динамічними об'єктами характеризується переходом від концепції адаптивного керування до концепції інтелектуального керування. Це викликано як безперервним ускладненням об'єктів керування та умов їх функціонування, так і різким підвищенням вимог до ефективності процесів керування в умовах суттєвої апріорної та апостеріорної невизначеності. Використання технологій штучного інтелекту дозволяє знаходити оптимальні рішення при здійсненні процесу керування в умовах сучасних вимог до їх точності та швидкодії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх публікацій показав, що на даний час, на практиці виділяють наступний ряд напрямків нових інформаційних технологій [1, 2]:

1. Опрацювання нечіткої інформації для створення нечітких систем керування.
2. Нейромережева обробка інформації при створенні систем управління, здатних до самонавчання.
3. Методи еволюційного моделювання для налаштування та пошуку функцій приналежності в нечітких системах керування.
4. Багатоагентні системи для створення розподільних інтелектуальних керуючих систем.

Одним з перспективних напрямків у теорії побудови інтелектуальних інформаційних систем керування складними динамічними об'єктами є застосування нейромережевого підходу.

Штучні нейронні мережі (ШНМ) – це структури для обробки вхідної інформації, що імітують роботу головного мозку людини [3].

Ефективність застосування штучних нейронних мереж в області побудови інформаційно-керуючих систем полягає в тому, що вони представляють собою потужний інструмент нелінійної апроксимації та можуть бути використані в тих випадках, коли всі інші методи не підходять. Можливості нейронних мереж (НМ) залежать від їх структури, тобто від кількості нейронів і числа прихованих шарів [4]. Невелика мережа з малим числом прихованих шарів може бути не здатною до вирішення складної комплексної проблеми. В даний час не існує формального способу створення мережевої структури як функції складності проблеми; зазвичай вона вибирається методом підбору, який займає

велику кількість часу. Це призвело до появи алгоритмів, які можуть змінювати синаптичну вагу та структуру НМ.

Постановка задачі

Дослідити вплив алгоритму навчання нейронної мережі на точність і швидкість навчання багатошарового персептрона в задачах багатопараметричної апроксимації.

Розв'язання завдання

Відомо, що сучасні об'єкти інформації (деталі), що вимірюються на координатно-вимірювальних машинах, характеризується великою кількістю різноманітних параметрів [5]. За таких умов, під час розробки нейромережевої технології класифікації об'єктів вимірювання необхідно знайти оптимальне співвідношення між кількістю параметрів мережі та кількістю нейронів у внутрішніх прихованих шарах.

Враховуючи, що мережа з малим числом нейронів в прихованому шарі може бути нездатною до узагальнення, а надмірно великим – буде реагувати на найменші шуми в даних та перенавчатися, розглянемо існуючі методи, які можуть змінювати синаптичну вагу та структуру НМ.

Для навчання ШНМ в роботі [6] показано застосування значення функцій, отриманих інтерполяцією результатів вимірювань засобами математичних пакетів. Експериментально доведено, що отримані значення дозволяють навчити ШНМ із заявленою точністю при малому числі кроків. У той же час ще не вирішена задача визначення конфігурації прихованих шарів, оскільки це залежить від ознак, що подаються на вхід НМ.

У зв'язку з проведеним аналізом у даній роботі для навчання ШНМ пропонується застосовувати значення функцій, отримані інтерполяцією результатів вимірювань. Штучна нейронна мережа, що складається з вхідного, сигмоїдного прихованого та лінійного вихідного шарів і має при двох останніх шарах порогові елементи, здатна апроксимувати будь-яку багатопараметричну функцію з кінцевим числом точок розриву. На якість визначення та швидкість навчання двошарового персептрона в задачах апроксимації впливає [7]:

– число нейронів в прихованому шарі;
– вибір алгоритму навчання в стратегії «зворотного поширення»;
– використання конкретної активаційної функції.

Продуктивність мережі характеризується динамікою значення середньої квадратичної помилки, яка розраховується по закінченні конкретної ітерації навчання згідно з формулою

$$P = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} e_i^2 ,$$

де N – кількість помилок мережі по всіх нейронах вихідного шару за ітерацією.

Величина градієнта мережі також залежить від обраної активаційної функції нейронів прихованого шару. Так, на початкових етапах навчання сигмоїд-гіперболічний тангенс забезпечує меншу продуктивність мережі, ніж логістичний сигмоїд, тоді як у подальшому застосуванні гіперболічний тангенс дозволяє алгоритмам навчання швидше знаходити глобальний мінімум.

У задачах апроксимації функцій, коли для нейронів прихованого шару використовується менше сотні синаптичних ваг, а наближення має бути досить точним, найбільш швидким алгоритмом навчання, що забезпечує найкращу збіжність є алгоритм Левен-

берга-Марквардта (Levenberg-Marquardt Algorithm, (LMA)) [8]. Даний алгоритм є найбільш поширеним алгоритмом оптимізації. Він перевершує по продуктивності метод найшвидшого спуску та інші методи спряжених градієнтів у різних задачах. LMA вирішує задачу нелінійної мінімізації методом найменших квадратів.

У великих мережах швидкість навчання характерна для алгоритму на основі масштабованого спряженого градієнта, що володіє, в порівнянні з алгоритмом Левенберга - Марквардта, низькими вимогами до оперативної пам'яті обчислювача. Схожу з алгоритмом Левенберга-Марквардта продуктивність показує квазіньютонівський алгоритм BFGS, який нарівні з алгоритмом на основі масштабованого спряженого градієнта використовує менше ресурсів, але при цьому призводить до збільшення обчислень в геометричній прогресії із зростанням розміру мережі.

Висновки

Таким чином, оптимальним алгоритмом навчання нейронної мережі в задачах апроксимації неаналітичних функцій кількох параметрів є алгоритм Левенберга- Марквардта з активаційною функцією гіперболічний тангенс. Розглянутий підхід до побудови структури НМ з використанням алгоритму навчання Левенберга- Марквардта також дозволяє скоротити обсяг задіяної пам'яті в автономних пристроях, що реалізують НМ.

Також встановлено, що для вирішення задачі по визначенню набору характеристик вимірюваних параметрів об'єктів необхідно виконання умови інваріантності цих параметрів до орієнтації в просторі. Це дозволить точно класифікувати вимірювані об'єкти незалежно від способу їх розташування в просторі.

На сучасному етапі вимірювання деталей із складною просторовою поверхнею на координатно-вимірювальних машинах, які характеризуються великою кількістю різноманітних параметрів, запропоновано розробити універсальний нейромережевий класифікатор об'єктів вимірювання з єдиною ієрархічною структурою опису параметрів і з виділенням загальних та специфічних атрибутів об'єктів вимірювання. Це дозволить скоротити час на ідентифікацію об'єктів вимірювання та забезпечить якісну роботу інформаційно-керуючої системи координатно-вимірювальної машини в умовах неповної, неточної та швидкоплинної інформації.

Список літературних джерел

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский; пер с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
3. Simpson P.K. Foundation of neural networks / P.K. Simpson // IEEE Technology. UPDATE SERIES. Neural Networks Theory, Technology and Applications. New York. – 1996. P. 1 – 22.
4. Lipman R. An introdaction to computing with neural nets / R. Lipman // IEEE Acoustic, Speech and Signal Processing Magazine. – 1987. – №2. – P. 4 – 22.
5. Квасников В. П. Повышение точности и быстродействия информационно-измерительных систем механических величин объектов со сложными пространственными поверхностями / В. П. Квасников. - Черкассы: Черкасский институт управления, 2002. - 192 с.
6. Львов А.С. Алгоритмы многопараметрического контроля металлургических процессов вычислителями низких конфигураций / А.С. Львов, А.В. Полянский // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и СИИ: материалы 5-й науч.техн.конф. – Вологда. – 2009 С. 159-163.

7. Yoon Hyunsoo, Nang Jong H., Maeng S. R. A Distributed Backpropagation Algorithm of Neural Networks on Distributed-Memory Multiprocessors / Hyunsoo Yoon, Jong H. Nang, S. R. Maeng // IEEE Frontiers of Massively Parallel Computation. – 1990. Proceedings., 3rd Symposium on the P. 358-363.
8. Шарстнев В.Л. Использование нейросетей в прогнозировании работы предприятий легкой промышленности [Електронный ресурс]./ В.Л. Шарстнев, Е.Ю. Вардомацкая // Управление экономическими системами: электрон. науч. журн. Кисловодский институт экономики и права. – Киров: ООО "Международный центр научно-исследовательских проектов". – 2007. - № 4 (12). – № держ. реєстрації статті 0420700034/0028. – Режим доступу до журн. : http://uecs.mcnip.ru.

УДК 62.523.2

Р.В. Заровський, канд. техн. наук
Р.О. Бисько, магістрант

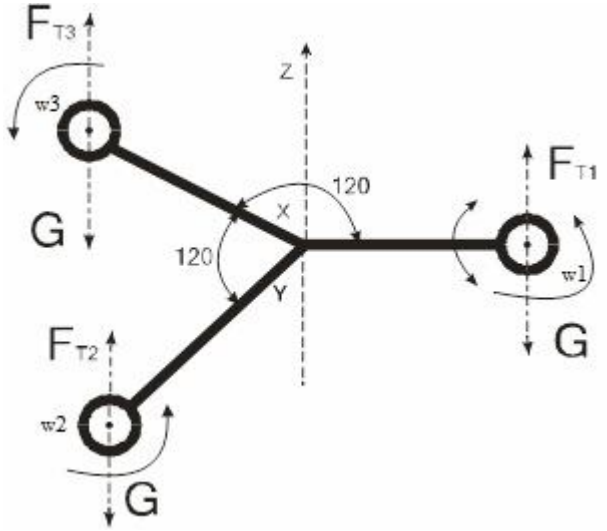
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРИКОПТЕРАМИ

Розглянуто модель мультироторної системи на прикладі трикоптера, для якого запропоновано два варіанти системи керування. Проведено порівняння точності визначення кутів нахилу трикоптера за двома алгоритмами. Отримані результати можуть бути використані в подальшому для побудови систем керування мультироторними апаратами з використанням датчиків інерціальної навігації.

Постановка проблеми

В даній статті розглядаються принципи побудови систем керування мультироторними апаратами на прикладі трикоптера з використанням датчиків безплатформної навігаційної системи. Мультикоптер – це керований дистанційно або автономний мультироторний безпілотний літаючий апарат з трьома (трикоптер рис.1), чотирма (квадрокоптер), шістьма (гексокоптер), вісьмома (октокоптер) гвинтами.



F_{T1}, F_{T2}, F_{T3} – тяга, створювана першим, другим та третім двигуном; w1, w2, w3 – частоти обертання роторів відповідних двигунів; G-сила земного тяжіння
Рис. 1. Схема трикоптера

Типовими вимогами до систем керування мультироторними апаратами є [1, 2]:

- зменшення масогабаритних показників системи керування та збільшення часу польоту;
- підвищення стабільності літаючих апаратів, що забезпечується шляхом зменшення помилки визначення кутів орієнтації та застосування відповідних законів регулювання;
- спрощення процедури управління безпілотними літаючими апаратами, реалізація функцій напівавтоматичного керування та автопілоту.

Визначення кутів орієнтації літаючого апарату в просторі відбувається за допомогою інерціальної навігаційної системи (ІНС). Технічна реалізація методів інерціальної навігації можлива у двох варіантах – з використанням і без використання платформ, які відтворюють інерціальний базис. Перший варіант передбачає створення пристроїв, які не обертаються разом з апаратом, зберігаючи своє положення відносно інерціального

базису, і слугують опорою для вимірювальної системи. Для другого варіанту – створюються пристрої, які забезпечують протягом польоту обчислення параметрів, що визначають кути між осями вимірювальної системи та інерціального базису. Керування літаючим апаратом слід розглядати як таке, що потребує постійного вирішення двох завдань – навігаційного та завдання стабілізації [1, 2]. Перше завдання полягає у визначенні необхідної траєкторії літаючого апарату та в обчисленні фактичної, друге – у керуванні апаратом для підтримки необхідного курсу із заданою точністю [3]. Перший варіант зумовив появу приладів, що фізично моделюють інерціальний базис на літаючому апараті, – гіростабілізованих платформ, другий – створення безплатформних систем.

Можливість побудови реальних конструкцій і схем безплатформної ІНС обумовлена сучасним рівнем розвитку цифрової обчислювальної техніки. Для ІНС властиві наступні особливості [3]:

- відсутність помилок, пов'язаних з погрішностями стабілізації власної платформи;
- відсутність кутових обмежень на маневри літаючих апаратів;
- спрощення механічної частини, зменшення габаритів, маси та енергоємності системи за рахунок відсутності карданового підвісу.

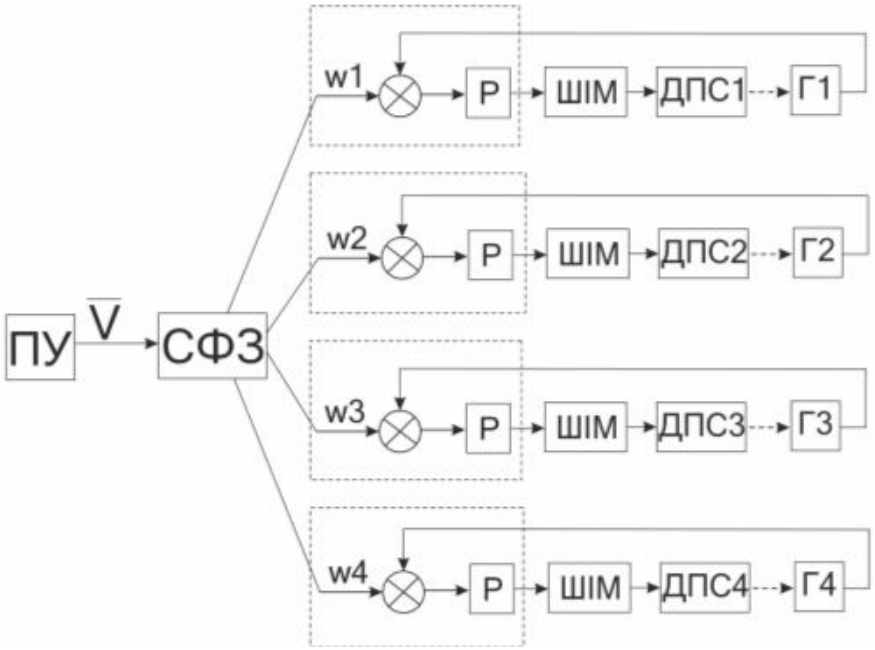
В таких схемах більшою мірою проявляються погрішності, пов'язані з обробкою сигналів датчиків, тому актуальною задачею є створення систем керування, які усувають цей недолік.

Цілі статті

Метою дослідження є побудова фізичної моделі трикоптера, системи керування та стабілізації літального апарату, а також розробка методів корекції сигналів датчиків ІНС із застосуванням фільтрів.

Система керування трикоптером, заснована на показаннях гіроскопів

Одним з варіантів систем керування трикоптером є система, алгоритм роботи якої заснований лише на сигналах гіроскопів (рис.2).



ПУ – пульт управління; СФЗ – система формування завдання; Р – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор; ДД – драйвер двигуна; ШІМ – блок-формувач сигналу з широтно-імпульсною модуляцією; ДПС – двигун постійного струму; Г – датчик кутової швидкості

Рис. 2. Структурна схема системи керування трикоптером

В такій системі за допомогою пульта управління задається вектор швидкості $\overline{V}$. Система формування завдання розкладає вектор завдання швидкості на складові частини *w1, w2, w3, w4*, які слугують сигналами завдання для окремих каналів системи автоматичного регулювання (САР) та визначають частоти обертання тягових двигунів і кут обертання рульового. В такій системі регулювання частота обертання кожного двигуна постійного струму ДПС1, ДПС2, ДПС3, ДПС4, тобто створювана кожним двигуном тяга, стабілізується на рівні сигналу завдання кожного контуру САР. Змінюючи тягу двигунів, з пульта управління контролюють кутові переміщення трикоптера, тобто його орієнтацію в просторі.

В каналах САР, після елементу порівняння, виробляється сигнал помилки, тобто різниця між заданим кутом нахилу та заміряним гіроскопом кутом відхилення. Далі сигнал помилки потрапляє на ПІД регулятор, в якому виробляється керуючий сигнал. Параметри налаштування складових ПІД регулятора повинні визначатися індивідуально для кожної окремої фізичної реалізації трикоптера. Вони залежать від конструкції та геометричних розмірів апарату, характеристик двигунів та їх драйверів, вимог до динаміки та точністних характеристик САР.

В системі керування (рис.2) СФЗ може бути реалізована різними способами. Один з варіантів структури СФЗ представлений на рис. 3.

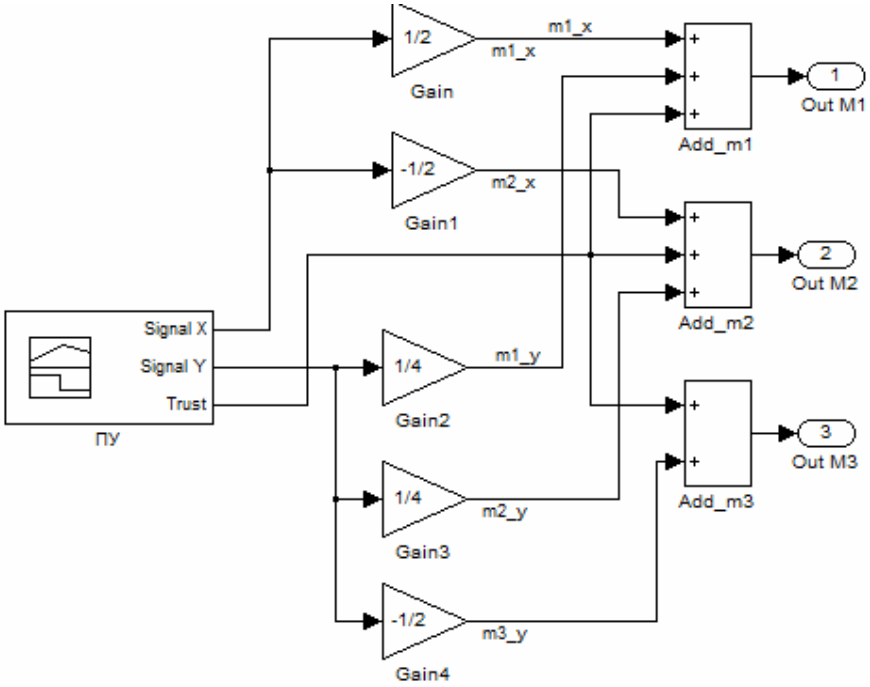
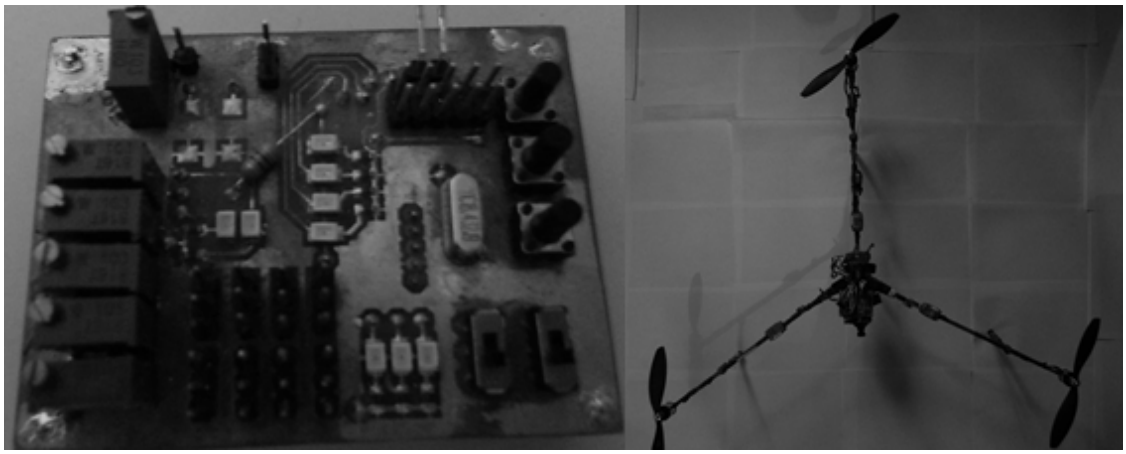


Рис. 3. Структура системи формування завдання

СФЗ (рис.3) розкладує вектор завдання, тобто відхилення по осях X (*signal X*) та Y (*signal Y*) на три сигнали керування двигунами М1, М2 та М3. Перший варіант, за яким система СФЗ буде формувати завдання, це варіант, в якому частота обертання першого двигуна під час маневру буде залишатися незмінною і за обертання будуть відповідати двигуни М2 та М3. Такий варіант досить простий, але займає більше часу на маневр, ніж при задіянні двох або трьох (в залежності від маневру) двигунів. Тому алгоритм розкладання завдання (рис. 3) є ефективнішим і його було реалізовано в цій роботі. Як видно, *signal X* та *signal Y* розкладаються на складові сигнали керування двигунами по осі X – *m1_x* та *m2_x*, по осі Y – *m1_y*, *m2_y* та *m3_y*. Далі ці сигнали додаються за

приналежністю до двигунів. Так, на перший двигун повинні прийти сигнали *m1_x* та *m1_y*.

Для експериментальних досліджень систем керування мультироторними апаратами було виготовлено фізичну модель трикоптера та реалізовано систему керування (рис. 4).



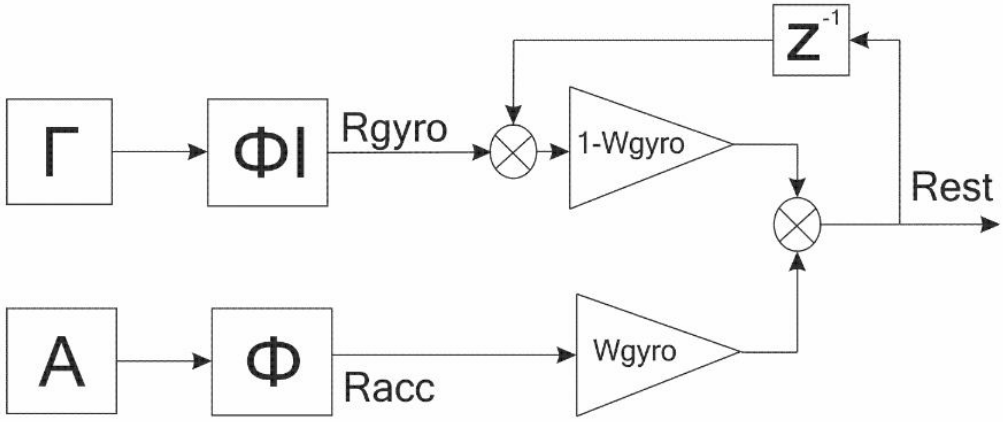
а) *б)*

Рис. 4. Плата системи керування (а) та фізична модель трикоптера (б)

Реалізована фізична модель трикоптера з системою керування на основі гіроскопічних модулів забезпечує час польоту 25 хвилин та може нести корисний вантаж у вигляді модуля цифрової відеокамери. Практичні випробування запусків трикоптера та відеоматеріал, відзнятий бортовою камерою, можна побачити за посиланням [5].

Система керування трикоптером з використанням гіроскопів та акселерометрів

Система керування трикоптером з використанням акселерометрів та гіроскопів, на відміну від попередньої системи, є більш стабільною через те, що кути орієнтації трикоптера визначаються системою з двох датчиків (рис.5), що підвищує точність стабілізації та керування.



Г – гіроскоп; А – акселерометр; Ф – фільтр; ФІ – фільтр-інтегратор

Рис. 5. Структура схеми знаходження кутів нахилу

В такій системі пропонується проводити «склеювання» кутів, визначених на основі показань гіроскопа та акселерометра, що містяться в базисах *Rgyro* та *Racc* відповідно, за допомогою методу, що використовує рекурсивне експоненційне згладжування.

Експоненційне згладжування – метод математичного перетворення, що використовується при прогнозуванні часових рядів [4].

При рекурсивному застосуванні експоненційного згладжування кожне нове значення (яке є також прогнозом) обчислюється як зважене середнє поточного спостереження і згладженого ряду. Емпіричні дослідження Makridakis показали [4], що просте експоненційне згладжування дає досить точний прогноз.

Використаємо функцію експоненційного згладжування для нашого випадку і отримаємо формулу визначення кутів нахилу

$$Rest = Racc*wGyro + (Rgyro + Rest(n-1)) *(1 - wGyro), \quad (1)$$

де *wGyro* – коефіцієнт довіри до показань датчиків; *Racc* – базис кутів, визначений за показаннями акселерометрів; *Rgyro* – базис кутів, визначений за показаннями гіроскопів.

Для порівняння методів знаходження кутів відхилення було проведено експеримент, під час якого фіксувалася зміна кута нахилу, отримана за кожним методом при обертанні пристрою на 41^0 навколо осі X (рис. 6).

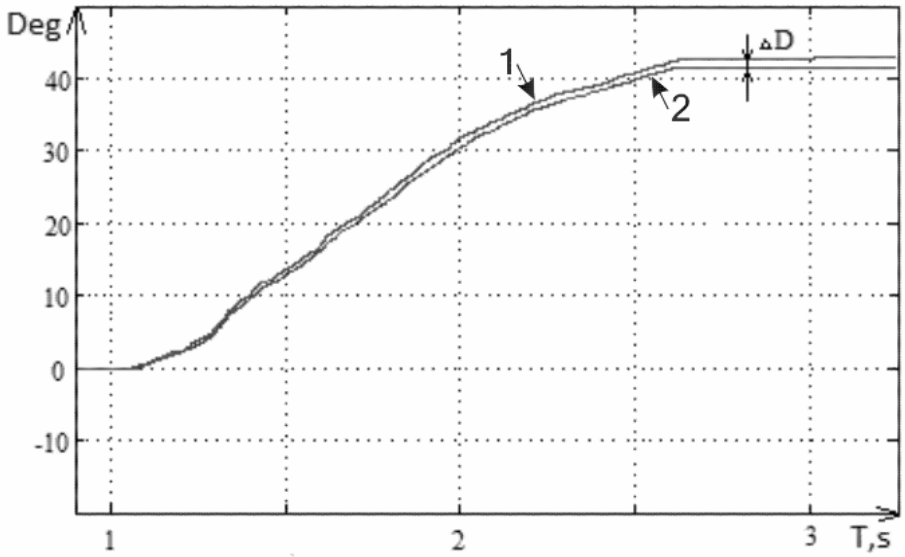


Рис. 6. Кути нахилу визначені за двома алгоритмами

На рис. 6 кривій 1 відповідає кут нахилу, визначений за сигналами гіроскопічного модуля, кривій 2 – на основі показань гіроскопа та акселерометра. При максимальному відхиленні кут, визначений за показаннями гіроскопічного модуля, дає помилку ΔD приблизно 1.5^0, тобто 2.6%. З цього можливо зробити висновок, що кут, визначений лише гіроскопічним модулем, дає похибку, яка при накопиченні в часі призведе до неможливості автостабілізації літального апарату без втручання оператора.

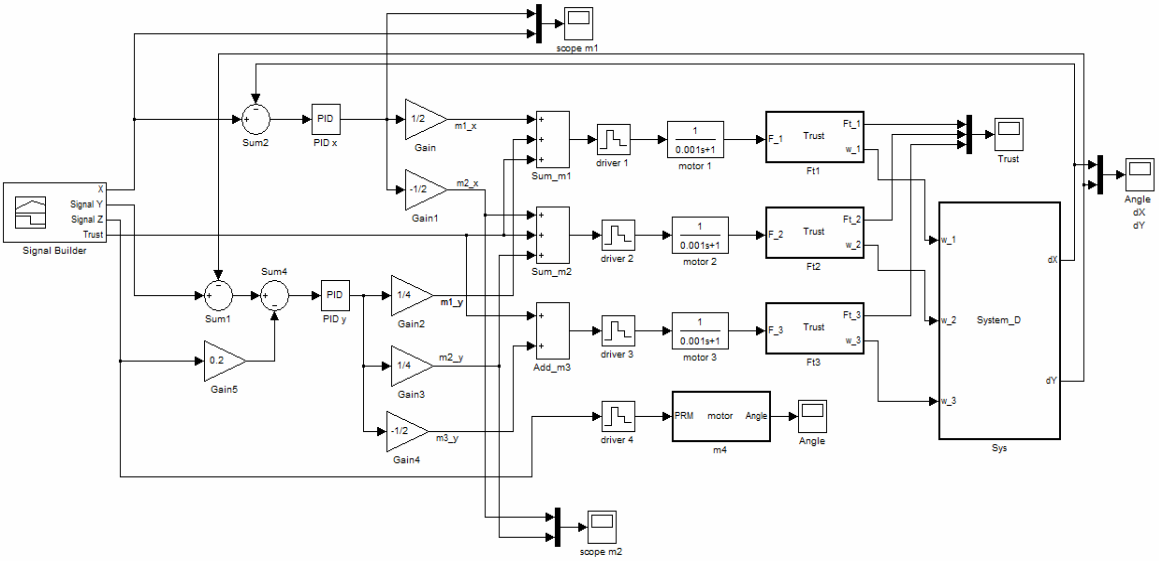
Моделювання трикоптера у Matlab

Для якісного дослідження роботи системи керування розроблена Matlab модель трикоптера (рис. 7). Модель дозволяє дослідити вплив параметрів елементів системи (двигун, драйвер двигуна, регулятори та інше) на її роботу.

В ході розробки моделі допускалися такі спрощення:

- блок Driver має лінійну регулювальну характеристику;
- блок Motor не враховує сумарний момент інерції якоря і навантаження, коефіцієнт зв'язку між струмом якоря і електромагнітним моментом, момент опору руху;

- блок System D має прямий зв'язок між частотою обертання двигунів і не залежить від фізико-геометричних характеристик конструкції, від дрейфу показань датчиків та вібрацій.



Signal Builder – система формування завдання; PID – ПІД регулятор; Driver – блок моделювання драйвера двигуна; Motor – блок моделювання ДПС; Trust – блок моделювання тяги двигунів; System D – блок моделювання системи датчиків інерціальної навігації

Рис. 7. MatLab модель трикоптера

Блок Signal Builder моделі (рис. 7) формує завдання (кути відхилення від початкового положення *Signal X, Signal Y, Signal Z* та тягу двигунів *Trust*), яке зображено на рис. 8. Далі сигнали проходять через елемент порівняння, після яких формуються сигнали помилки відхилення трикоптера від осей X та Y, які потрапляють на ПІД регулятори. Після регуляторів сигнали корекції помилок розкладаються на проекції трьох двигунів через функції ділення та додавання. Далі сигнали потрапляють на блок Driver, який перетворює сигнали керування в сигнали ШІМ з періодом 50 Гц, якими керується двигун. Блок Motor моделює перетворення ШІМ сигналу в частоту обертання ротора двигуна. Блок Trust моделює перетворення частоти обертання ротора двигуна в тягу за рахунок заданих параметрів гвинтів (рис. 9). Блок System D моделює систему знаходження кутів нахилу трикоптера за двома осями X та Y.

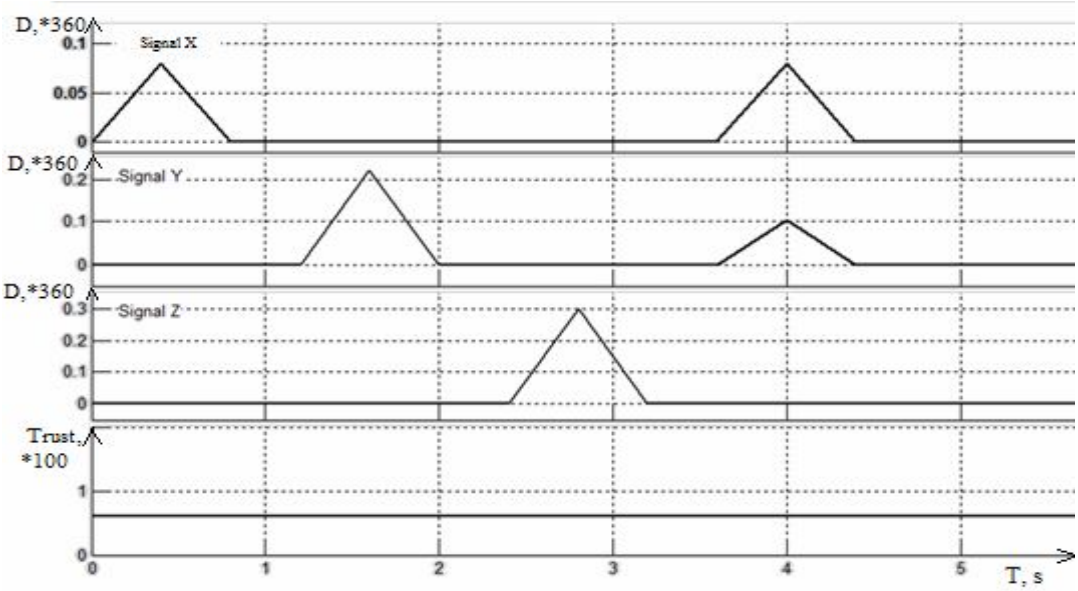


Рис. 8. Сигнал завдання для зміни орієнтації трикоптера в просторі

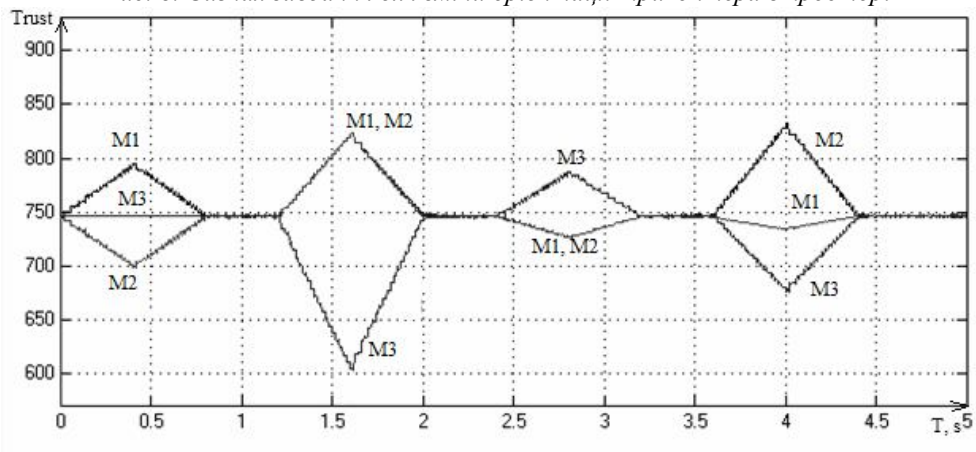


Рис. 9. Зміна тяги двигунів при різних сигналах керування

Якщо проаналізувати рис. 8 та рис. 9, видно, що при зміні сигналу X двигун M1 збільшує тягу, а двигун M2 – зменшує, в результаті чого трикоптер змінює кут нахилу по осі X, при цьому M3 тягу не змінює. Далі, при зміні керуючого сигналу (відхилення по осі Y) видно, що M1 та M2 збільшують тягу, а M3 – зменшує, в результаті чого трикоптер змінює кут нахилу по осі Y. При зміні сигналу відхилення по осі Z двигуни трикоптера M1 та M2 зменшують тягу, а M3 – збільшує, в результаті чого трикоптер повертає навколо осі Z.

Висновки і пропозиції

- Встановлено, що при використанні інерціальної системи навігації для точної стабілізації необхідно враховувати помилку, що накопичується при вимірюваннях інерціальних датчиків;
- Запропоновано дві схеми управління трикоптером: це система керування трикоптером, заснована на показаннях гіроскопів, та система керування трикоптером з використанням гіроскопів та акселерометрів.
- Запропоновано систему керування трикоптером з використанням мікромеханічних датчиків, у якій сигнали керування двигунами формуються з урахуванням вихідних сигналів всіх каналів керування, що підвищує швидкодію відпрацювання завдання.

- При порівнянні ефективності роботи систем визначення кутів орієнтації трикоптера в просторі за двома алгоритмами зроблено висновок, що алгоритм, який використовує сигнали системи мікромеханічних датчиків, є ефективнішим, ніж алгоритм, що використовує сигнали лише гіроскопічних модулів.

Список літературних джерел

1. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. Управление космическими летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1974. – 340 с.
2. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. - М.: Наука, 1974. - 600 с.
3. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – М.: Наука, 1992. – 280 с.
4. Makridakis S. Forecasting Methods for Management. – New York et al.: John Wiley & Sons, Inc., 1980. – 612 p.
5. http://www.youtube.com/watch?v=evy7B1GRE1k

УДК 004.02

Поляков А. Ю., студент
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

КРИПТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ДАННЫХ ОТ РЕКОНСТРУКЦИИ АНАЛИЗОМ ДИНАМИКИ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

Подробно рассмотрена операция дискретного экспоненцирования, имеющая важное значение в криптографических механизмах асимметричной криптографии. Предложена методика защиты от реконструкции данных методом анализа динамики потребляемой мощности.

Постановка проблемы

Развитие сетевых технологий информационного взаимодействия в сфере коммерции привело к созданию в 1976 г. нового направления в криптографической защите данных – так называемой криптографии открытых ключей или асимметричной криптографии [2]. На основе этой криптографии можно создавать эффективные системы защиты информации. Множество протоколов информационного обмена, идентификации удаленных абонентов компьютерных сетей и цифровой подписи построены на основе асимметричной криптографии. В значительной мере работа таких протоколов основана на неизменности используемых ключей. Это создает потенциальную угрозу незаконного доступа к ключам, в том числе и с использованием технологий анализа динамики потребляемой мощности (АДПМ), поскольку базовые алгоритмы модулярного экспоненцирования не обеспечивают приемлемого уровня защиты [6].

Поэтому для алгоритмов несимметричной криптографии проблема защиты их ключей от несанкционированного доступа с использованием технологий АДПМ считается в настоящее время актуальной.

В статье предоставлена информация по разработке эффективных средств защиты ключей.

Анализ публикаций

К настоящему времени для противодействия реконструкции данных по средством АДПМ предложен ряд решений [1, 3-6], которые укладываются в рамках таких направлений [6]:

- маскирование всех операндов, зависящих от постоянных ключей, случайными кодами, меняющимися при каждом выполнении алгоритма;
- случайные перестановки операций, не нарушающие результата работы алгоритма;
- вставка случайных команд, не влияющих на результат и затрудняющих ”привязку” диаграммы потребления мощности к операциям алгоритма.

Однако ни одно из них не обеспечивает надежной защиты от реконструкции ключей анализом динамики потребления мощности, вследствие чего очевидно, что новые решения будут актуальны и востребованы.

Анализ вычислительных процедур алгоритмов ассиметричной криптографии с позиций возможностей реконструкции их ключей технологиями АДПМ

Большая часть применяемых на практике алгоритмов асимметричной криптографии основана на аналитически неразрешимых задачах теории чисел и, в частности, задаче дискретного логарифмирования [7].

Метод атаки с помощью анализа динамики потребляемой мощности основан на измерении и анализе тока, потребляемого устройством (например, микроконтроллером или микропроцессором) при выполнении криптографических операций, в зависимости от времени. Различают два вида атак по энергопотреблению — простые (SPA — simple power analysis) и дифференциальные (DPA — differential power analysis). SPA базируется на том, что при выполнении различных операций устройство потребляет различное

количество электроэнергии, что даёт возможность сопоставить измеренную потребляемую мощность с определенными командами, выполняемыми в данный момент устройством. Технология DPA ориентирована на реконструкцию постоянно используемых в программах данных путем статистической обработки большого числа диаграмм потребления мощности при выполнении одной и той же программы. В частности, технология DPA может быть эффективной при анализе большого числа диаграмм потребления мощности при выполнении одной и той же программы, реализующей криптографический алгоритм, которая обрабатывает разные данные, но используемые ключи остаются неизменными. Эта ситуация является типичной при использовании микроконтроллеров и смарт-карт в качестве терминальных устройств компьютерных сетей. [6]

Базовой вычислительной операцией при программной реализации большей части алгоритмов защиты информации с открытым ключом, в том числе наиболее распространенных на практике алгоритмов шифрования RSA и El-Gamal [7], механизмов цифровой подписи – DSA и ГОСТ Р.34.10-94, является модулярное экспоненцирование $X^E \bmod M$, причем $X, E < M$. Количество n двоичных разрядов чисел X, E и M существенно превышает разрядность k процессора. Каждое из чисел X, E и M, можно представить в виде s слов, состоящих из k двоичных разрядов ($s=n/k$), каждое из которых лежит в интервале от 0 до 2^k-1: $X=\{x_{s-1},\ldots,x_1,x_0\}$, $E=\{e_{s-1},\ldots,e_1,e_0\}$ и $M=\{m_{s-1},\ldots,m_1,m_0\}$, $\forall j\in\{0,...,s-1\}$, $0\le x_j,e_j,m_j\le 2^k-1$. Для указания двоичных разрядов слов X, E и M используются обозначения с двумя индексами, например $e_0=\{e_{0,k-1},e_{0,k-2},\ldots,e_{0,1},e_{0,0}\}$; $\forall l\in\{0,...,k-1\}$: $x_{j,l}$, $e_{j,l}$, $m_{j,l}\in\{0,1\}$:

$$X=\sum_{j=0}^{s-1}x_j\cdot 2^{j\cdot k}=\sum_{j=0}^{s-1}\sum_{l=0}^{k-1}x_{j,l}\cdot 2^{j\cdot(k-1)+l},\ E=\sum_{j=0}^{s-1}e_j\cdot 2^{j\cdot k}=\sum_{j=0}^{s-1}\sum_{l=0}^{k-1}e_{j,l}\cdot 2^{j\cdot(k-1)+l},$$

$$M=\sum_{j=0}^{s-1}m_j\cdot 2^{j\cdot k}=\sum_{j=0}^{s-1}\sum_{l=0}^{k-1}m_{j,l}\cdot 2^{j\cdot(k-1)+l}$$

Процесс модулярного экспоненцирования сводится к последовательному выполнению $\log_2 E=n$ циклов, в каждом из которых осуществляется операция возведения в квадрат полученного на предшествующем цикле результата и, дополнительно, в зависимости от текущего бита степени E, выполняется операция умножения. Исходя из порядка, в котором анализируются разряды степени E, существует две разновидности модулярного экспоненцирования: справа налево и слева направо.

Алгоритм двоичного экспоненцирования справа налево.

1. $A = 1$; $S = X$;
2. for (j=0; j< s ; j++)
   2.1. for (l=0; l< k; l++)
   { 2.1.1. if ($e_{jl} = 1$) $A = A\cdot S \bmod M$;
   2.1.2. $S = S\cdot S \bmod M$; }

Результат $A=X^E \bmod M$.

Для вычисления весов используется возведение в квадрат, а для формирования результата – умножение. Среднее число операций умножения при описанном способе модулярного экспоненцирования составляет – $1.5\cdot n$. Существенным недостатком этого способа реализации модулярного экспоненцирования является сложность применения программного полиморфизма для организации противодействия временному анализу динамики потребления мощности, поскольку каждая последующая операция строго зависит от предыдущей.

На практике большее распространение получили алгоритмы, которые предполагают анализ разрядов степени E, начиная со старших разрядов (слева направо): в этом случае

множитель при выполнении операции умножения представляет собой постоянное число, равное X, что создает потенциальные предпосылки для повышения скорости умножения.

1. $A = 1$;
2. for (j= s-1; j >=0; j--)
   2.1. for (l=k-1; l>=0; l--)
   { 2.1.1. $A = A \cdot A$;
   2.1.2. if ($e_{j,l} = 1$) $A = A \cdot X$; }

Результат $A=X^E \bmod M$.

Структуры вычислительных процедур по обоим способам выполнения операции модулярного экспоненцирования приведены на рис. 1 и 2.

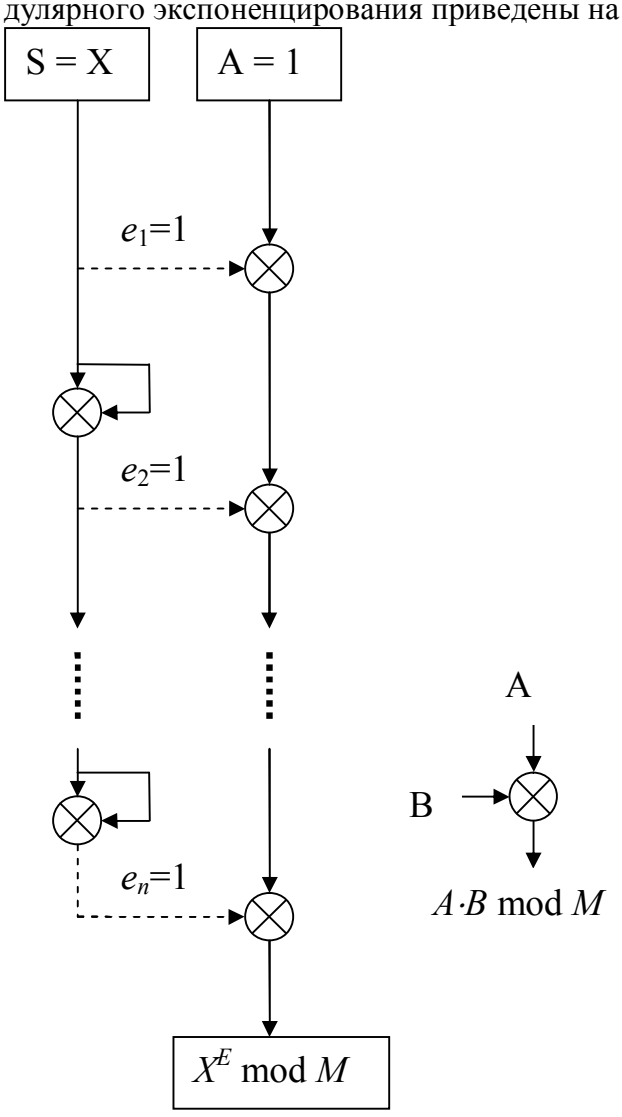


Рис. 1. Структура модулярного экспоненцирования с младших разрядов

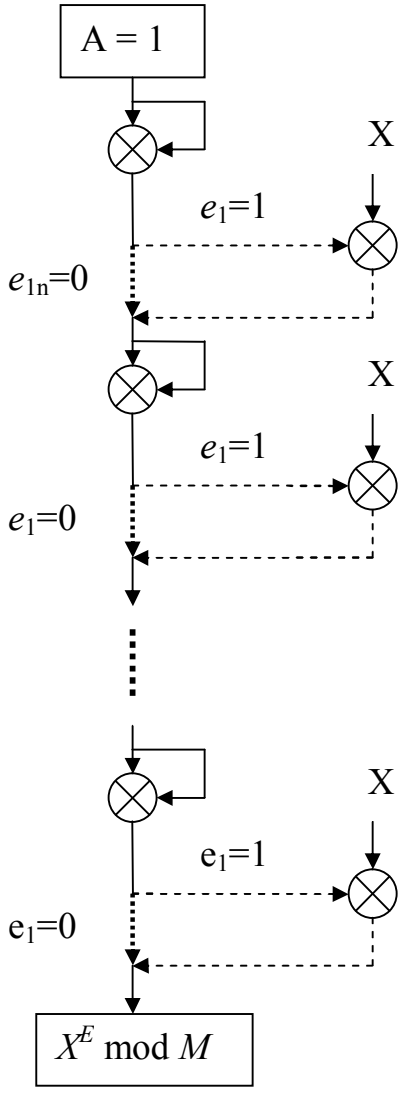


Рис. 2. Структура модулярного экспоненцирования со старших разрядов

Работа обоих алгоритмов иллюстрируется примерами, приведенными на рис. 3 и рис. 4. На примере вычисления $5^{11} \bmod 13$ (X=5, E=11_{10}=1011_2, M=13) иллюстрируются особенности обеих вычислительных процедур.

На практике большее распространение получил показанный на рис. 2 алгоритм модулярного экспоненцирования со старших разрядов, поскольку при его использовании

множитель X на каждом цикле модулярного экспоненцирования остается постоянным. Это создает предпосылки для упрощения умножения на малоразрядных процессорах, а также делает менее жесткими требования к объему используемой памяти.

С младших разрядов

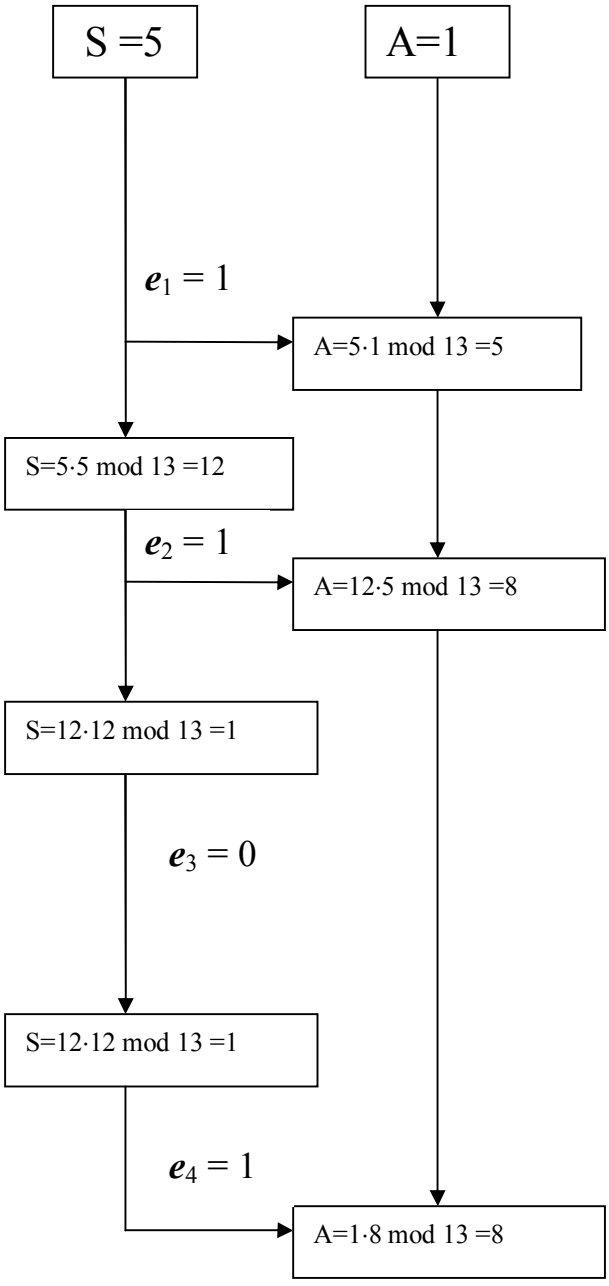


Рис. 3. Пример вычисления $5^{11} mod\ 13$ с младших разрядов экспоненты

Со старших разрядов

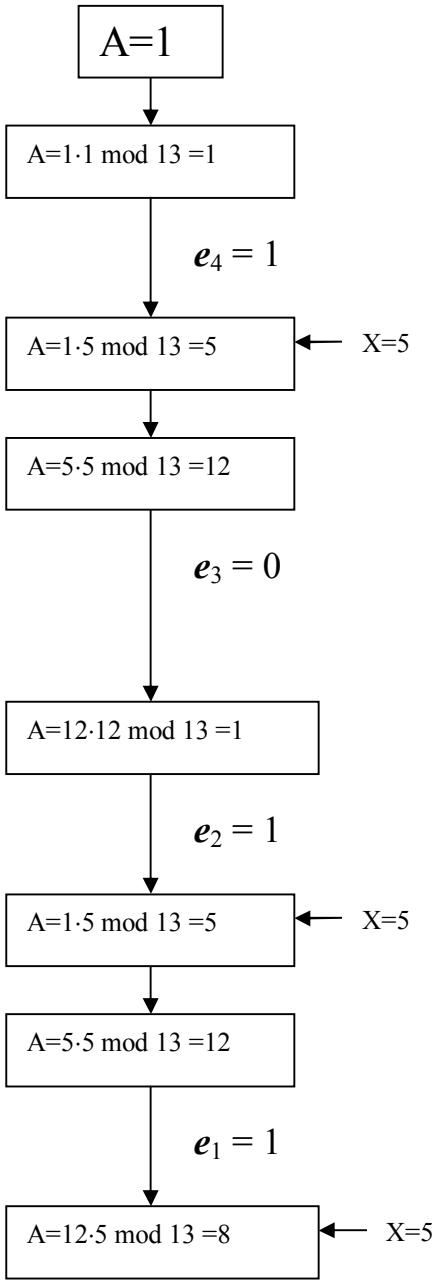


Рис. 4. Пример вычисления $5^{11} mod\ 13$ со старших разрядов экспоненты

При использовании алгоритмов, основанных на модулярном экспоненцировании, в качестве секретного ключа выступает код экспоненты E, который практически не меняется. Соответственно, основной задачей нарушения защиты является получение кода

E. В качестве побочной задачи выступает задача доступа к значению кода X или результату - $A=X^E \bmod M$ при неизвестном, но постоянном E.

Анализ изложен по материалам работы [6].

Способ реализации полиморфизма введением дополнительных компонент модулярного экспоненцирования

На практике достаточно часто встречается задача, когда требуется вычислять произведение результатов отдельных экспоненцирований (например, это требуется при использовании проверки сигнатур по методу Эль-Гамаля). Вместо того, чтобы вычислять их отдельно, а потом перемножать, можно организовать вычисление их одновременно (синхронно), если модуль одинаковый. Например, если надо вычислять $R = a^k \cdot b^n \cdot c^l \bmod M$.

Для таких случаев модулярного экспоненцирования возникает возможность эффективной защиты от возможности реконструкции секретных кодов k, n и h от анализа динамики потребляемой мощности методами модулярного полиморфизма. Для реализации такого стохастического полиморфизма можно ввести в рассмотрение 6 чисел: кроме исходных a, b, c, вводятся их попарные модулярные произведения: $d = a \cdot b \bmod M$, $g=a \cdot b \bmod M$ и $h=b \cdot c \bmod M$, а также общее модулярное произведение $z=a \cdot b \cdot c \bmod M$. Тогда вычисление $R = a^k \cdot b^n \cdot c^h \bmod M$ можно производить в виде модулярного произведения следующих компонент: $R = a^q \cdot b^s \cdot c^t \cdot d^u \cdot g^f \cdot h^y \cdot z^w \bmod M$. Численные значения частных экспонент: q, s, t, u, f, y, w при каждом вычислении R выбираются стохастически с учетом того, чтобы они соответствовали следующей системе уравнений:

$$\begin{aligned} q + u + f + w &= k \\ s + u + y + w &= n \\ t + f + y + w &= l \end{aligned} \qquad (1)$$

Вычисление частных модулярных экспонент также может быть организовано с использованием стохастического полиморфизма. Такая организация предполагает использование механизма стохастического прерывания вычисления частичных экспонент.

Предложенный подход к полиморфному вычислению сигнатур Эль-Гамаля может быть использован и для полиморфной реализации классического модулярного экспоненцирования $X^E \bmod M$.

Предположим, что при вычислении $R=X^E \bmod M$ предварительно определены числа Y и U такие, что $Y^U \bmod M = 1$, числа G и H, такие, что выполняется $G^H \bmod M = 1$. Тогда вычисление $R=X^E \bmod M$ эквивалентно вычислению $R= X^E \cdot Y^U \cdot G^H \bmod M$. Введем в рассмотрение дополнительно произведения $Z=X \cdot Y \bmod M$, $V=X \cdot G \bmod M$ и $B=Y \cdot G \bmod M$, а также общее модулярное произведение $P=X \cdot Y \cdot G \bmod M$. Тогда вычисление $R=X^E \bmod M$ может быть произведено в виде:

$$R = X^K \cdot Y^D \cdot G^F \cdot Z^L \cdot V^T \cdot B^S \cdot P^W \bmod M . \qquad (2)$$

Входящие в формулу (2) показатели частичных экспонент должны удовлетворять условиям:

$$\begin{aligned} K + L + T + W &= E \\ D + L + S + W &= U \\ F + T + S + W &= H \end{aligned} \qquad (3)$$

Пример: $5^{11} \bmod 13 = 8$ Y=9 U=6 G=12 H=10 $Z=X\cdot Y \bmod M = 5\cdot 9 \bmod 13 = 6$, $V=X\cdot G \bmod M = 5\cdot 12 \bmod 13 = 8$ и $B=Y\cdot G \bmod M = 9\cdot 12 \bmod 13 = 4$, а также общее модулярное произведение $P=X\cdot Y\cdot G \bmod M = 5\cdot 9\cdot 12 \bmod 13 = 7$.

$$\begin{aligned} K + L + T + W &= 11 \\ D + L + S + W &= 6 \\ F + T + S + W &= 10 \end{aligned} \qquad (4)$$

Если положить, что все числа K, D, F, L, T, S, W больше нуля, то существует 40 вариантов их значений, удовлетворяющих (3). Если же положить, что часть из этих показателей равны нулю, то общее число вариантов их значений, удовлетворяющих (3) составляет 309. Например, в числе удовлетворяющих (3) есть следующий вариант K=3, D=1, F=2, L=1, T=4, S=1, W=3. Несложно убедиться, что $(5^3 \cdot 9 \cdot 12^2 \cdot 6 \cdot 8^4 \cdot 4 \cdot 7^3) \bmod 13 = 8$.

При большой разрядности чисел использование только чисел Y и U таких, что $Y^U \bmod M = 1$ обеспечивает достаточно значительное количество вариантов стохастически полиномиальной реализации модулярного экспоненцирования. К этому следует добавить, что существует возможность стохастического чередования циклов частичных модулярных экспоненцирований. Пример такого чередования при выполнении операции модулярного экспоненцирования $5^{11} \bmod 13$ показан на рис. 5.

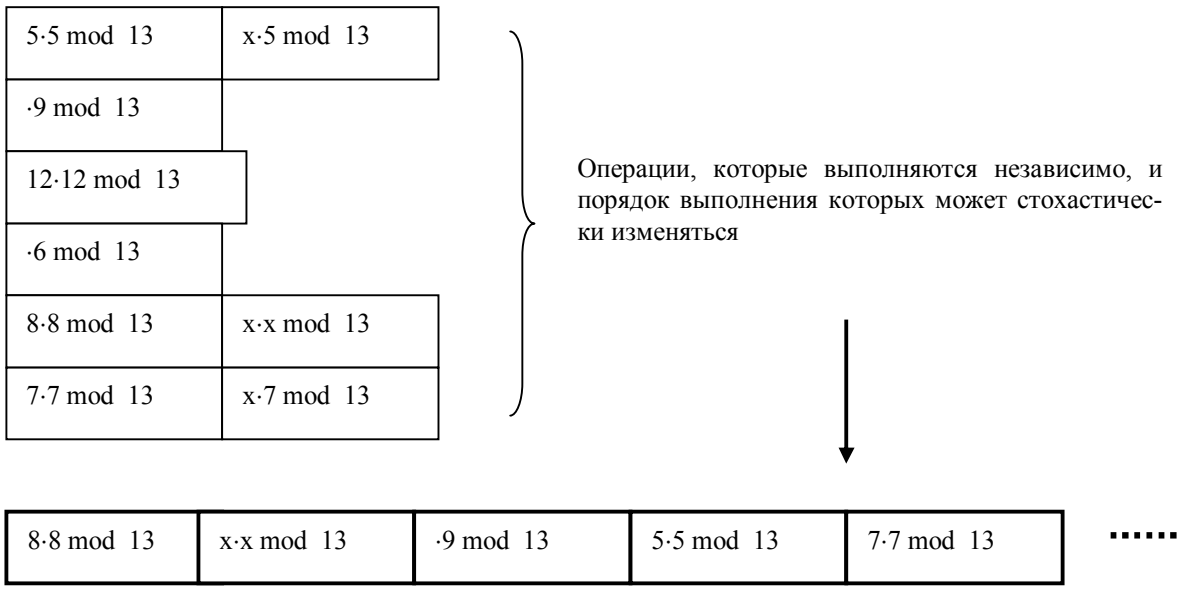


Рис. 5. Пример стохастического полиморфизма при реализации модулярного экспоненцирования методом добавления компонент

Выводы

Предложен подход защиты операции модулярного экспоненцирования от атаки с примененением технологий анализа динамики потребляемой мощности. Указанный подход базируется на методах модулярного полиморфизма. Ценой увеличения уровня защищенности будет некоторое падение быстродействия при выполнении операции модулярного экспоненцирования.

Список литературных источников

1. Akkar M.L., Bevan C., Dischamp P., Moyart D. Power analysis, what is now possible // Proceeding of International Workshop “Asiacrypt-2000”. LNCS-1976. Springer-Verlag.- 2000.- P. 489-502.
2. Diffie W., Hellman M. E., New Directions in Cryptography // IEEE Transactions on Information Theory, vol. IT-22, Nov. 1976, P: 644–654.
3. Mayer-Sommer R., Smartly analyzing the simplicity and power of simple power analysis on smartcards // Proceeding of 2-th International Workshop “Cryptographic Hardware and Embedded Systems”(CHES-2000), LNCS-1965. Springer-Verlag.- 2000.- P. 78-92.
4. Kocher P., Jaffe J., Jun B. Differential Power Analysis // Proceeding of CRYPTO’99 .-Springer-Verlag.-1999.- P.388-404.
5. Марковский А. П., Абабне О. А., Ияд Мохд Маджид Ахмад Шахрури. Способ защиты ключей алгоритма ГОСТ 28.147-89 от реконструкции анализом динамики потребляемой мощности // Вісник національного технічного університету України ”КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2007.- № 46.- С.128-138.
6. Марковский А. П., Абабне М. М. А., Зюзя А. А., Гаразд В. М. К проблеме защиты операндов модулярного экспоненцирования от их реконструкции анализом динамики потребления мощности // Вісник національного технічного університету України ”КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2007.- № 47.- С.22-33.
7. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си // Applied Cryptography. Protocols, Algorithms and Source Code in C. — М.: Триумф, 2002. — 816 с. — 3000 экз. — ISBN 5-89392-055-4

УДК 681.3.07
М.Б. Гумен, канд. техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна
Г.Ф. Гумен, ст. викладач
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут, м. Київ, Україна

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

Розглянуто концепцію побудови та описано систему спостереження за навколишнім середовищем і взаємодії з довкіллям на базі УВЧ РЧІД – технології. Система забезпечена РЧІД зчитувачем, який створює сферичне поле, що відстежує РЧІД мітки з інтегрованими сенсорами навколо користувача, не обмежена лише пошуком та ідентифікацією, а здатна також повідомляти користувача про стан відповідного об'єкта. Запропонована система разом з передовою технологією vOICe, а також програмним забезпеченням "штучного зору" буде особливо корисною для людей з вадами зору.

Вступ

Стрімкий розвиток обчислювальної і телекомунікаційної техніки робить можливою реалізацію доповненої реальності (ДР) - технології, що поступово підкорює різноманітні галузі життєдіяльності людини. В недалекому майбутньому її сприйняття зміниться на суміш з дійсних подій і явищ, створюваних комп'ютерами картинок.
Доповнена реальність вперше з'явилась в першій половині 1990-х років і сьогодні широко застосовується в різних галузях. Технологія стрімко прогресує і використовується в кіно і телебаченні, для військових завдань, в медицині тощо. Незабаром цей напрямок стане невід'ємною частиною повсякденного життя. Цьому сприяють нові алгоритми обробки зображень, швидкодіючі мікропроцесори і графічні мікросхеми.

Перші споживчі продукти на базі ДР з'явилися на ринку наприкінці 2009 року і за кілька років тенденція захопить домашню електроніку, повністю змінюючи типове уявлення про неї.

Доповнена реальність – це технологія, що розширює дійсність, яку сприймає людина за рахунок доповнення видимого і сприйнятого світу цифрової інформації. Для реалізації ДР-технології на практиці потрібне відповідне устаткування: комп'ютери, сенсори, інтерфейси, пристрої виводу інформації тощо. Залежно від можливостей кожного компонента і методів відображення результатів його роботи відкриваються широкі перспективи використання ДР для вирішення прикладних задач.

Технологія радіочастотної ідентифікації ультра високочастотного діапазону (РЧІД УВЧ) також є одним з перспективних рішень для ідентифікації об'єктів навколишнього середовища та забезпечення взаємодії між ними та користувачем.

Аналіз останніх досліджень

Перші дослідження [1,2,3,4] використовували модель взаємодії людини і комп'ютера на базі штрих-кодів або РЧІД чіпів для зчитування і запам'ятовування цифрової інформації з фізичних об'єктів. Це забезпечувало стабільну ідентифікацію, але користувач мав чітко вказати на об'єкт взаємодії для зчитування інформації з РЧІД мітки. Такі системи допомагали користувачу отримувати більше інформації про те, про що вони бажали дізнатися, але не про те, що було на разі поза його увагою.

Багато систем ідентифікації використовують бази даних і пошукові пристрої. Такі системи мають доступ до бази даних, можуть відфільтровувати інформацію за бажанням користувача і надавати йому відповідну інформацію. Наприклад, портал Amazon.com слідкує за тим, що ви знайшли і придбали, і надає подальші рекомендації

щодо об'єктів, які можуть вас зацікавити.

З ростом кількості мобільних телефонів і широкосмугових мереж люди можуть мати доступ до Інтернету з будь-якого місця, і база даних майже всіх об'єктів доступна у Web-мережі. У цьому разі багато сценаріїв реалізації ДР-технології у фізичному просторі може бути здійснено, якщо мобільні пристрої будуть здатні ідентифікувати об'єкти навколишнього середовища.

Цілі та завдання

Мета роботи – запропонувати концепцію побудови переносної РЧІД УВЧ системи для пошуку, ідентифікації та визначення статусу об'єктів навколишнього середовища.

Основна частина

На основі аналізу була обрана система РЧІД в діапазоні УВЧ, що стежить за мітками для забезпечення розуміння користувачем подій, які відбуваються поза його увагою. Цей підхід є протилежним минулим системам - в ній рухаються зчитувачі всередині великої кількості РЧІД міток. Зчитуючи оточення замість зчитування ним користувачів, вони отримують контроль над особистими даними, забезпечуючи кращу приватність.

Розроблена система здійснює стеження за оточенням користувача. Подібно радару, система створює поле, що знаходить будь-який об'єкт із РЧІД міткою, яка потрапляє в

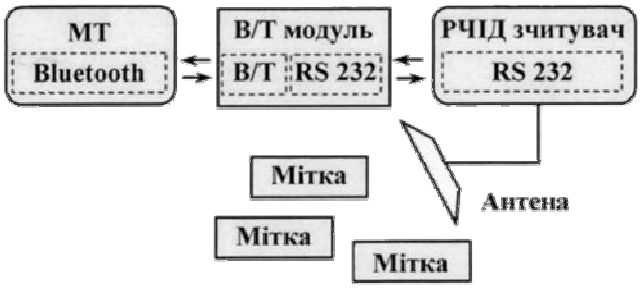


Рис. 1. Структурна схема радіочастотної ідентифікації об'єктів

його діапазон. Діапазон поля може бути встановлений за бажанням користувача. Система генерує відповідний сигнал у разі, якщо РЧІД мітка покривається цим полем або виходить за його межі. Система відстежує всі РЧІД мітки в межах сферичного поля і вирішує, в якому об'єкті користувач зацікавлений більш за все за відповідним рейтингом міток. Кожний вмонтований в об'єкти навколишнього середовища РЧІД чіп (мітка) є чутливим до тих факторів, що найкращим чином зображують статус цього об'єкта.

Структурна схема системи РЧІД для УВЧ діапазону зображена на рис. 1. Система складається з трьох основних пристроїв: РЧІД міток (транспондерів), РЧІД зчитувача, Bluetooth модуля (В/Т модуль) та мобільного телефону (МТ). Транспондер (мітка-маркер) – це УВЧ РЧІД емулятор з вбудованими сенсорами.

Фактично мітка-маркер – це мобільний мікрокомп'ютер. Хоча мобільні телефони нового покоління з вбудованим РЧІД зчитувачем вже існують на ринку, але через їх ціну та наявність пропонується система з використанням зовнішнього РЧІД зчитувача, зв'язаного з міткою-маркером.

Дані між мобільним телефоном та РЧІД зчитувачем передаються за допомогою каналу Bluetooth, а від РЧІД зчитувача до В/Т модуля – через інтерфейс RS232C. Зв'язок між міткою-маркером та РЧІД зчитувачем здійснюється відповідно до протоколу EPCC1G1. Мобільний телефон через модуль Bluetooth отримує ідентифікатори (ІД) міток, певна частина яких динамічно змінюється за даними вбудованих в мітки сенсорів.

У запропонованій системі кількість взаємодій користувача з мобільним телефоном під час збору інформації з об'єктів є мінімальною. Дисплей телефону показує список об'єктів навколо користувача і особливого об'єкта, який є цікавим для користувача з точки зору системи.

Сценарій взаємодії користувача з об'єктом складається з трьох рівнів (рис. 2). Перший рівень - межі знаходження об'єкта. Об'єкт в межах відстані доступності зчитувача (приблизно 1,5 м) розглядається як перший рівень.

Другий рівень - це рівень дотику: торкання або тримання об'єкта вказує на те, що

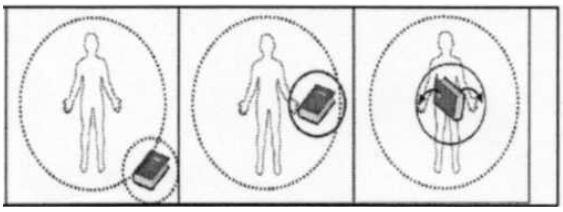


Рис. 2. До опису сценарію взаємодії користувача з об'єктом

користувач зацікавлений в об'єктові найбільше. Ємнісний сенсор, інтегрований в поверхню об'єкта за значеннями імпедансу, визначає торкається користувач об'єкта, чи ні. Проте у система не здатна визначити об'єкт зацікавленості користувача у разі декількох об'єктів, наприклад, якщо користувач тримає кілька книг. У цьому випадку знання статусу об'єктів (наприклад, чи книга відкрита) допоможе системі з'ясувати об'єкт зацікавленості.

Маємо третій рівень, коли користувач взаємодіє з об'єктом, змінюючи його статус. Замість того, щоб розміщувати деяку кількість РЧІД зчитувачів у певних місцях, у запропонованій системі пасивні РЧІД мітки закріплюються на нерухомих об'єктах, наприклад, дверях, на полу, шкапах, дошках тощо. Ці мітки містять інформацію про місцезнаходження об'єкта або посилання на відповідну базу даних на сервері, яка і характеризує його статус. Розширення сітки охоплення системою навколишнього середовища здійснюється простим встановленням додаткових РЧІД міток.

З кожною міткою позиціонується унікальний ІД відповідно до місцезнаходження об'єкта. Крім того, мітки визначають стан прив'язаних до них об'єктів, наприклад, що користувач тримає книгу і на якій сторінці вона відкрита в даний момент. Статичний ІД та дані сенсора передаються до РЧІД зчитувача.

Наведемо деякі загальні концепції застосування міток-маркерів з сенсорами щодо деяких звичайних повсякденних об'єктів. Наприклад, мітка, вмонтована під плакат, зчитує зміну ємності між двома виводами і модулює дані сенсора, що додаються до незмінного Ідентифікатора. Цей ІД пов'язаний через URL з Web-сайтом, що містить інформацією щодо теми плакату.

Інший шлях визначення дотику – це використання фото-резистора Коли палець користувача покриває фоторезистор, мітка відчує зміну напруги і зафіксує це як подію.

У випадку з книгою зміна опору фоторезистора відбувається під дією світла, що проходить через отвір у сторінках. Чутлива мітка модулює свій ІД, вказуючи, які сторінки відкриті. Система отримує цей ІД і відображає зміст відповідно до сторінки (відеокліп, музику або Web-сторінки).

Все, що відбувається за сценарієм, відображається на дисплеї мобільного пристрою, а саме: місцезнаходження обраного об'єкта; зображення об'єкта; час, коли він був знайдений; список об'єктів; кнопки керування; рядок ІД. Ці значення поновлюються у реальному часі, коли мобільний пристрій отримує список ІД, що надходить від РЧІД зчитувача. Кнопки керування дають змогу встановлювати початок та кінець роботи системи, обирати типи РЧІД міток, що мають скануватися.

Висновки

Запропонована концепція та розроблена система забезпечує користувачам можливість надання переваги певним об'єктам, пошук об'єктів в середині приміщення, маркування місцезнаходження знайдених об'єктів, запис щоденної діяльності, доступ до інформації через фізичну взаємодію.

Перевагою описаної системи є те, що вона підтримує взаємодію одного користувача з багатьма об'єктами. Замість розгортання РЧІД зчитувачів, що відстежують користувачів, навпаки, користувачі носять мобільні зчитувальні РЧІД-пристрої для сканування свого середовища.

Концепція є актуальною і на її основі можна розвинути багато інших сценаріїв так званого "Інтернету речей". Реалізація концепції в системах разом з технологіями аудіо-візуального перетворення та тактильними дисплеями буде особливо корисною для людей з обмеженими можливостями.

Але потрібне подальше вдосконалення характеристик апаратної частини і дослідження з більшою кількістю об'єктів з РЧІД мітками.

Список літературних джерел

1. K. Kamijo, N. Kamijo, and M. Sakamoto, "Electronic clipping system with invisible barcodes," Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia, Santa Barbara, CA, USA: ACM, 2006, P. 753-762.
2. Schmidt, H.W. Gellersen, and C. Merz, "Enabling implicit human computer interaction: a wearable RFID-tagreader," Wearable Computers, 2000. The Fourth International Symposium on, 2000, P. 193-194.
3. K.P. Fishkin, M. Philipose, and A. Rea, "Hands-on RFID: Wireless wearables for detecting use of objects," ISWC 2005, 2005, P. 38 43.
4. K. Finkenzeller, RFID handbook: radio-frequency identification fundamentals and applications, John Wiley & Sons, 2000.
5. J. Gemmell et al., "Passive capture and ensuing issues for a personal lifetime store," Proceedings of the the 1 st ACM workshop on Continuous archival and retrieval of personal experiences, New York, New York, USA: ACM, 2004, P. 48-55.
6. LookTell.Beta <http://www.looktel.com/>
7. Tactile Display Corporation http://www.tactiledisplav.com/
8. The vOICe Learning Edition software for Microsoft Windows: Augmented Reality for the Totally Blind [Reference: 02.04.10.] <http://www.seeingwithsound.com/>
9. An RFID-based Orientation System for People With Blindness [Reference: 02.04.10.]<http://talkingpoints.eecs.umich.edu/>

УДК 681.31
Бойченко О.В., канд. техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Необхідність постійного оперативного управління всіма структурними ланками організацій та установ, що здійснюють свою діяльність в умовах швидкої зміни обстановки, великих обсягів інформаційних пакетів різного формату та в умовах невизначеності потребує широкого залучення до складу інформаційно-телекомунікаційної технології систем підтримки прийняття рішень, які призначені допомагати робити обґрунтований вибір з певного переліку альтернатив.

Вступ

Дослідженням проблематики застосування експертних систем у розробці механізму автоматизації прийняття управлінського рішення свого часу займалися такі фахівці як Герман О.В., Хейес-Рот Ф., Уотерман Д., Ленат Д., Нейлор К., Трахтенгерц Э.А., Литвак Б.Г. та інші. [1-8]. Сучасний стан розвитку інформаційних систем спеціального призначення характеризується стійкою тенденцією до експоненціального зростання обсягів та інтенсивності інформаційних потоків, що визначає необхідність подальших наукових досліджень.

Мета роботи полягає у проведенні аналізу наукових підходів до оптимізації автоматизованих інформаційно-аналітичних систем управління спеціального призначення з використанням експертних систем.

Методи та результати

У загальному випадку системи підтримки прийняття рішень (СППР) складаються з системи управління базами даних, системи управління банком моделей та інтерфейсу користувача.

Особливим типом автоматизованих систем, що дозволяють підвищити ефективність функціонування управлінських інформаційно-телекомунікаційних мереж, є експертні системи (ЕС) – інформаційні системи, що моделюють дії людини-експерта під час розв’язання задач у певній предметній галузі на основі логічного аналізу накопичених знань, що зберігаються в базі знань.

Мета досліджень з експертною системою полягає передусім у розробці програм, які у процесі розв’язання задач, що виникають у слабо структурованій і важко формалізованій предметній галузі та є складними для експерта-людини, дають результати, не гірші за якістю та ефективністю, ніж експерти.

Експертні системи та системи штучного інтелекту відрізняються від систем обробки даних тим, що в них використовується символьний (а не числовий) спосіб подання інформації, символьний вивід та евристичний пошук розв’язку (а не виконання відомого алгоритму).

Технологія експертної системи використовується для розв’язання різних типів задач (інтерпретація, прогноз, діагностика, планування, конструювання, контроль, інструктування, управління) у найрізноманітніших проблемних галузях, таких як фінанси, освіта, телекомунікації та зв’язок тощо. Нині спостерігається тенденція до дедалі більшої інтеграції ЕС та СППР, тому поступово ці типи інформаційних систем зближуються.

Експертна система – це програма, яка поводиться подібно до експерта в деякій, зазвичай вузькій, прикладній області. Типові застосування експертних систем включа-

ють такі завдання, як медична діагностика, локалізація несправностей в устаткуванні та інтерпретація результатів вимірів.

Експертні системи повинні вирішувати завдання, що вимагають для свого вирішення експертних знань в деякій конкретній області. У тій або іншій формі експертні системи повинні володіти такими знаннями. Тому їх також називають системами, заснованими на знаннях. Проте, не всяку систему, засновану на знаннях, можна розглядати як експертну.

Експертна система повинна також уміти якимсь чином пояснювати свою поведінку і свої рішення користувачеві, так само, як це робить експерт-людина.

Це особливо необхідно в областях, для яких характерна невизначеність, неточність інформації. У цих випадках здібність до пояснення потрібна для того, щоб підвищити міру довіри користувача до порад системи, а також для того, щоб дати можливість користувачеві виявити можливий дефект в міркуваннях системи.

У зв'язку з цим в експертних системах слід передбачати дружню взаємодію з користувачем, яка робить для користувача процес міркування системи «прозорим».

Часто до експертних систем пред'являють додаткову вимогу – здатність мати справу з невизначеністю і неповнотою.

Інформація про поставлене завдання може бути неповною або ненадійною; відношення між об'єктами наочної області можуть бути наближеними.

Можна виділити два типи експертних систем:

- для фахівців невисокого професійного рівня (експертна система зберігає знання, отримані від фахівців екстракласу);
- для фахівців високого класу – пошук і перегляд великих масивів інформації і виконання рутинних операцій.

У найзагальнішому випадку для того, щоб побудувати експертну систему, необхідно розробити механізми виконання наступних функцій системи:

- вирішення завдань з використанням знань про конкретну наочну область – можливо, при цьому виникне необхідність мати справу з невизначеністю;
- взаємодія з користувачем, включаючи пояснення намірів і вирішень системи в час і після закінчення процесу рішення задачі.

Кожна з цих функцій може виявитися дуже складною і залежить від наочної області, а також від різних практичних вимог.

Під час, розробки експертної системи прийнято поділяти їх на три модулі, як показано на рис. 1:

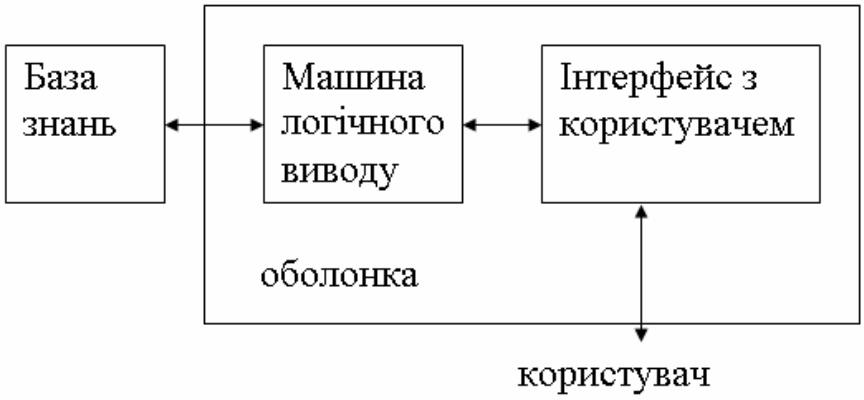


Рис. 1. Структура експертної системи

База знань містить знання, що відносять до конкретної прикладної області, у тому числі окремі факти, правила, що описують стосунки або явища, а також, можливо,

методи, евристики і різні ідеї, що відносяться до вирішення завдань в цій прикладній області. Машина логічного виводу уміє активно використовувати інформацію, що міститься в базі знань.

Інтерфейс з користувачем відповідає за безперебійний обмін інформацією між користувачем і системою; він також дає користувачеві можливість спостерігати за процесом вирішення завдань, що протікає в машині логічного виводу. Прийнято розглядати машину виводу і інтерфейс як крупний єдиний модуль, зазвичай так званою оболонкою експертної системи, або, скорочено, просто оболонкою.

В описаній вище структурі власне знання відокремлені від алгоритмів, що використовують ці знання. Таке розділення зручне по наступних міркуваннях. База знань, вочевидь, залежить від конкретного застосування. З іншого боку, оболонка, принаймні, в принципі незалежна від додатків.

Таким чином, розумний спосіб розробки експертної системи для декількох застосувань зводиться до створення універсальної оболонки, після чого для кожного застосування досить підключити до системи нову базу знань. Зрозуміло, всі ці бази знань повинні задовольняти одному і тому ж формалізму, який оболонка «розуміє».

Практичний досвід показує, що застосування складних експертних систем визначає їх наступні властивості:

- модульність: кожне правило описує невеликий, відносно незалежний фрагмент знань;
- можливість інкрементного нарощування: додавання нових правил в базу знань відбувається відносно незалежно від інших правил;
- зручність модифікації (як наслідок модульності): старі правила можна змінювати і замінювати на нові відносно незалежно від інших правил;
- застосування правил сприяє прозорості системи.

Остання властивість – це важлива особлива властивість експертних систем. Під прозорістю ми розуміємо здібність системи до пояснення прийнятих рішень і отриманих результатів.

Проте, багато галузей експертних знань не є категоричними. Як правило, у висновках експерта багато припущень (втім, висловлених з великою упевненістю), які зазвичай вірні, але можуть бути і винятки. Як дані, що відносяться до конкретного завдання, так й імплікації, що містяться в правилах, можуть бути не цілком визначеними.

Природнішим було б використовувати математичну вірогідність, але спроби застосувати її на практиці виникають труднощі. Відбувається це з наступних причин:

- експертам, мабуть, незручно мислити в умовах вірогідності. Їх оцінки правдоподібності не цілком відповідають математичному сенсу вірогідності;
- робота з вірогідністю, коректна з точки зору математики, зажадала б або якої-небудь недоступної інформації, або яких-небудь спрощуючих припущень, не цілком виправданих з точки зору практичного застосування.

Якщо експертні системи першого покоління розглядалися як машини для логічного виводу, то експертні системи другого покоління розглядаються як підсилювачі інтелектуальних можливостей людини.

Перерахуємо вимоги до сучасних експертних систем:

- у представленні знань використовуються не поверхневі знання, а глибинні, такі, що є теоріями наочних областей (аналогічні природничонауковим теоріям) і загальними стратегіями вирішення проблем. Коли з'являється нова проблема, експертна система визначає конкретні знання, які необхідно залучити для вирішення;
- система має не лише модель наочної області, але і модель самої себе (визначає кордони своєї компетентності – «знаю, що я це знаю»);

- система включає засоби для одночасної роботи з декількома моделями наочної області;
- є база знань з неповною інформацією;
- механізмом виводу є заміна дедукції на аргументацію. При обґрунтуванні рішення основною операцією стає пошук аргументів, підтверджуючих твердження, яке система повинна довести або спростувати;
- поєднання достовірного (дедуктивного) і правдоподібного (індуктивного, аналогічного) виводу;
- здатність системи в міру необхідності ослабляти або підсилювати прийняті в завданні припущення;
- присутність немонотонних міркувань: факти, що поступили, можуть змінити істинність виведених раніше висновків;
- придбання знань і навчання є засобами управління процесом наповнення експертної системи знаннями і налаштування на наочну область, що дозволяють вибирати модель представлення знань, найбільшою мірою відповідну структурі знань експерта;
- автоматичне виявлення закономірностей в знаннях. Експертна система отримує знання від експерта і самостійно витягує їх з бази знань шляхом висунення гіпотез і побудови їх обгрунтування. Тобто відбувається самонавчання на прикладах;
- відбувається аналіз наявних знань, при виявленні протиріч між старими знаннями і знов отриманими від експерта або виведеними емпірично експертна система звертається до користувача, вимагаючи вирішення конфлікту.

Ефективність застосування зазначених експертних систем може бути підвищено через застосування фрагменту семантичної нейтронної мережі у складі трьох шарів нейронів.

Такий підхід розробки експертної системи для автоматизації прийняття управлінського рішення визначає час ухвалення рішення, який залежить не від обсягу бази знань, а від її складності.

При цьому максимальна затримка ухвалення рішення після установки на шарі рецепторів всіх вхідних даних визначатиметься наступною формулою

$$T_{\max} = T_1 \cdot N_{\max},$$

де $T_{\max}$ – максимальна затримка ухвалення рішення; T_1 – час обробки градієнтних даних в одному нейроні; $N_{\max}$ - максимальна кількість послідовно включених нейронів.

Висновки

Функціонування складної автоматизованої системи управління діяльністю організацій та установ в умовах швидкоплинної невизначеної обстановки, значних обсягів потоків даних різного формату для прийняття адекватного, найбільш прийнятного раціонального управлінського рішення потребує обов'язкового залучення сучасних експертних систем на основі штучного інтелекту.

Проведений аналіз практики застосування експертних систем для автоматизації прийняття управлінських рішень, застосування фрагменту семантичної нейтронної мережі у складі складної експертної системи визначає напрями удосконалення інформаційно-аналітичних мереж управління спеціального призначення діяльністю організацій та установ.

Список літературних джерел

1. Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний: учебник [для студ. высш. учебн. завед.] / О.В. Герман. - Мн.: ДизайнПРО, 1995. – 255 с.
2. Хейес-Рот Ф. Построение экспертных систем: монография / Хейес-Рот Ф., Уотерман Д., Ленат Д. - М.: Мир, 1987. – 450 с.
3. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам: монография / Уотерман Д. , М.: Мир, 1989. – 388 с.
4. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему: монография / Нейлор К. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.
5. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: монография / Трахтенгерц Э.А. - М.: Синтег, 1998. – 376 с.
6. Джексон П. Введение в экспертные системы: монография / Джексон П. – М.: Вильямс, 2001. – 450 с.
7. Литвак Б.Г., Экспертные технологии в управлении / Литвак Б.Г. // Дело. - М., 2004. - С. 67-68.
8. Брукинг А. Экспертные системы. Принципы работы и примеры: монография [пер. с англ.] / А. Брукинг, П. Джонс, Ф. Кокс и др. [под ред. Р. Форсайта]. - М.: Радио и связь, 1987. - 224 с.

УДК 005.8:519.95

Двоєглазова М. В., викладач

Чернігівський державний інститут економіки та управління, м. Чернігів, Україна

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ВЗАЄМОДІЇ ДВОХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Досліджено процес взаємодії двох інформаційних систем. Побудовано синергетичну модель інформаційних систем проекту та підприємства. Розглянуто механістичну схему процесу об'єднання двох економіко-інформаційних систем у вигляді тривимірної моделі.

Постановка проблеми

Під час описання процесу взаємодії двох інформаційних підсистем особливо важливе місце посідає питання щодо їх злиття та об'єднання в одну єдину глобальну інформаційну систему.

Відомо, що під час розробки та впровадження новітніх інформаційних технологій виникають нові можливості якісної зміни траєкторії руху системи (зміни принципів інтеграції систем в процесі управління на підприємстві), зумовлені дією факторів зовнішнього середовища та здатності елементів системи управління накопичувати інформацію і самостійно породжувати новації. Тому для прийняття рішень про інтеграцію новітніх інформаційних технологій в процесі управління інноваційно-інвестиційними проектами доцільно застосовувати принцип синергізму, який полягає в отриманні додаткових ефектів від посилення зв'язку між структурними елементами. Застосування синергетичної концепції поряд з проектним підходом до управління на підприємстві дозволяє збільшити кінцевий результат функціонування системи в кількісному виразі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В сучасній економічній теорії та теорії управління проектами питанням інтеграції систем займаються різні дослідники [1-3]. При цьому загальновідомо, що під час стратегічного планування та управління внаслідок об'єднання та диверсифікації організації в межах портфеля сфер бізнесу можуть виникати синергетичні ефекти, які проявляються [4]: 1) в зниженні інтегральних загальновиробничих та накладних витрат за рахунок багатофункціонального використання інформаційних ресурсів (операційний синергізм); 2) в економії витрат внаслідок використання спільних розробок та технологічної бази (інвестиційний синергізм); 3) в отриманні додаткових інформаційних ресурсів та економії витрат на їх придбання внаслідок використання навиків керівників (синергізм менеджменту). Такі ефекти в довгостроковій перспективі забезпечують підвищення ефективності роботи підприємства.

В сучасних системах уравління в межах проблеми інтеграції інформаційних систем проекту та підприємства не достатньо приділено уваги питанням об'єднання систем з врахуванням характеристик розподілу їх енергій. Це не дозволяє в повній мірі дослідити виникнення синергетичних ефектів від взаємодії таких систем при виникненні спільних точок біфуркацій.

Формулювання цілей статті

Для розкриття процесу взаємодії інформаційних систем проекту та підприємства в роботі поставлені наступні завдання: 1) дослідити механізми взаємодії інформаційних систем в залежності від характеристик їх енергій; 2) побудувати механістичну модель взаємодії інформаційних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо питання об'єднання двох інформаційних підсистем управління підприємством та інноваційно-інвестиційним проектом в єдину систему. Приймемо, що об'єднання систем буде неповним, і в цілому системи будуть функціонувати індивідуально, контактуючи лише в точках їх дотику.

Розглянемо випадок, коли «енергія» системи розподілена вздовж границі, яка визначає параметри системи (рис. 1,а).

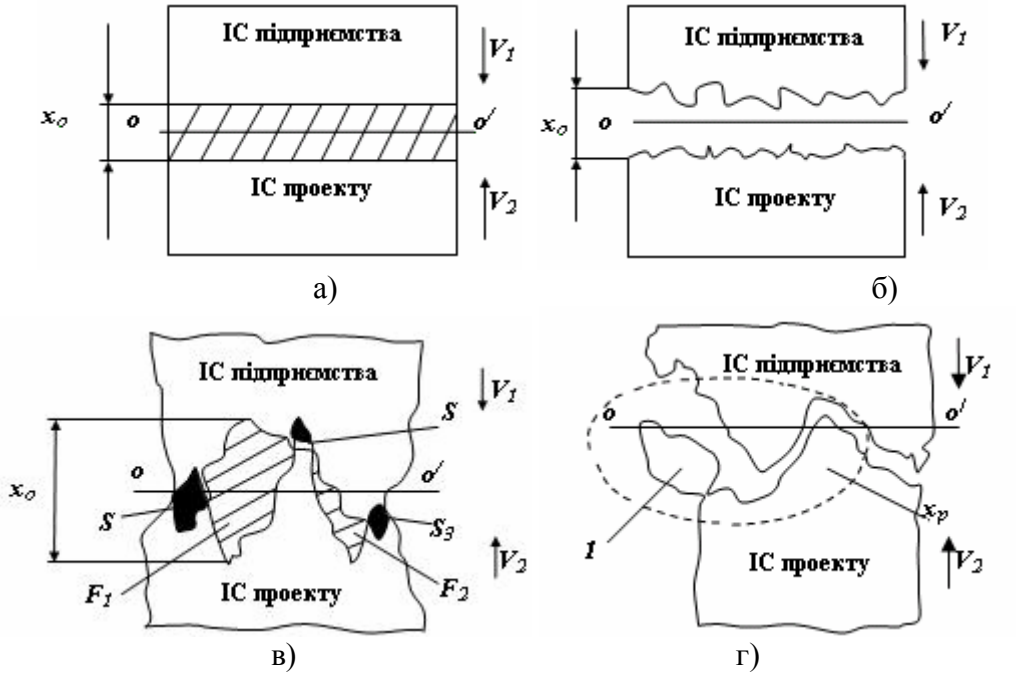


Рис. 1. Схема об'єднання двох інформаційних систем: 1 – локальний енергетичний потенціал, о$o^{/}$ – стан рівноваги

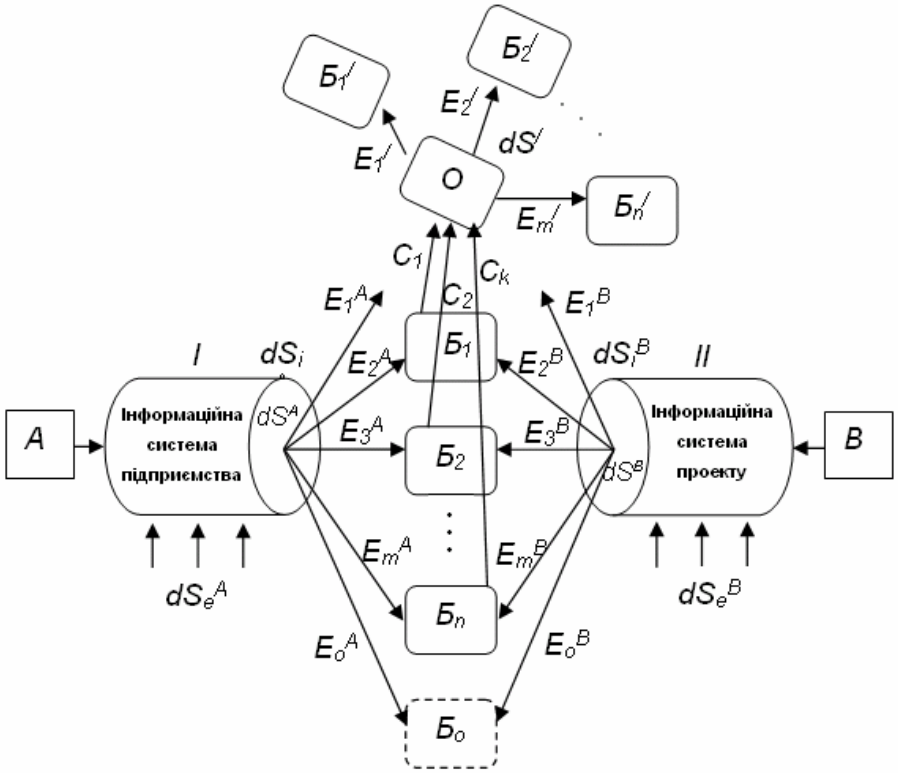
В цьому випадку границя системи утворює пряму лінію. В результаті руху систем назустріч одна одній зі швидкостями V_1 та V_2, відбувається їх взаємопроникнення і утворюється область x_0, де відбувається їх злиття та об'єднання з можливими синергетичними ефектами.

В реальних виробничих умовах енергія систем розподілена вздовж їх границь нерівномірно (рис. 1,б), а в деяких випадках – хаотично. Тому в залежності від існуючих законів розподілу енергії будуть формуватися виступи та западини на поверхні систем. В цьому випадку при зустрічному русі двох систем зі швидкостями V_1 та V_2 можуть формуватися різні конфігурації області x_0, за параметрами яких можна робити висновки про ефективність об'єднання та кінцеві результати їх сумісної діяльності.

Розглянемо деякі типові випадки (рис. 1,в,г), коли в результаті взаємопроникнення (дифузії) потоків енергії об'єднуються виступи систем з площами S_1, S_2, S_3 (рис. 1,в), де потоки енергії доповнюють один одного та утворюють точки біфуркації на основі принципів синергізму. Тут також виникають області з площами F_1 та F_2, де чітко виражені енергетичні потенціали відсутні. В цьому випадку виникають локальні енергетичні порожнини, які негативно впливають на загальну допустиму область x_0, в результаті чого її площа зменшується.

Можливий випадок, коли виступи та западини двох систем співпадають (рис. 1,г), тут енергетичний простір заповнюється повністю. Цікавим є випадок, коли енергетичні потенціали однополюсні, тоді виступ з більшим потенціалом може зруйнувати виступ з меншим потенціалом, а енергія буде розсіюватися в деякій області x_p, доповнюючи сусідні енергетичні зони.

В процесі об'єднання систем може існувати безліч варіантів їх кінцевого стану, проте, для подальшого дослідження розглянемо питання виникнення локальних синергетичних ефектів, які визначають економічну доцільність процесу інтеграції. На рис. 2 показано взаємодію двох зустрічних потоків енергії інформаційних систем підприємства та проекту. В результаті їх зіткнення виникають точки біфуркації $Б_1 ... Б_n$, наявність яких дає можливість реалізації певних сценаріїв дії для виходу систем на новий вищий рівень розвитку [1-3]. Розглянемо механізм зіткнення двох систем та принципи утворення точок біфуркації. Як бачимо з рис. 2, системи управління проектом та підприємством спершу перебувають у початкових станах I, II – гомеостазу, керуючись атракторами *A* та *B*. На системи діють потоки енергії за рахунок їх притоку ззовні (вплив зовнішніх факторів) dS_e^A та dS_e^B і енергії внутрішніх процесів dS_i^A та dS_i^B.



A, B – атрактори (цілі функціонування систем підприємства та проекту, відповідно); I та II – початковий стан гомеостазу; dS_e^A, dS_e^B, dS_i^A, dS_i^B, dS^A, dS^B $dS^/$ - зовнішня, внутрішня та загальна енергія, відповідно; $E_1^A ... E_n^A$, $E_1^B ... E_n^B$ - потоки енергії від початкових станів систем; $Б_1 ... Б_n$, $Б_1^/ ... Б_n^/$ – точки біфуркації поточного рівня самоорганізації та більш високого рівня, відповідно (n – вид точки біфуркації); $Б_0$ – точка біфуркації, яка не сформувалась внаслідок різниці потенціалів енергії; $C_1 ... C_n$ – сценарії руху об'єднаних систем; O – оптимальний напрям руху систем

Рис. 2. Синергетична модель об'єднання двох інформаційних систем

Між елементами систем управління виникають флуктуації – комбінації взаємодії, які призводять до відхилення траєкторії руху [1, 2]. В результаті флуктуацій в системах збільшується енергія dS_i, яка виступає у формі збільшення інвестицій, інформаційного та ресурсного забезпечення, а також стратегічного потенціалу (рівень професіоналізму менеджерів, ефективність стратегічного менеджменту, управління бізнес-процесами та ін.).

Для процесів в середині систем приріст енергії завжди додатній: $dS_i \geq 0$. Загальний приріст енергії $dS^{A,B}$ можна представити у вигляді:

$$dS^{A,B} = dS_e^{A,B} + dS_i^{A,B} \ . \quad (1)$$

Коли енергії $dS^{A,B}$ досягають максимального значення, системи втрачають рівновагу. Це призводить до виникнення точок біфуркацій, в яких системи мають можливість якісно змінити траєкторію руху (як правило, зустрічного), що призводить до синергетичного ефекту.

Можливий випадок, коли в результаті зустрічі двох потоків енергії точки біфуркації не виникло (точка $Б_0$, рис. 2). В цьому випадку сумарний енергетичний потенціал систем знизиться, а самі системи залишаться на колишньому рівні розвитку. Енергії E_1^A та E_1^B взагалі не зустрілись, тобто простежити їх загальний можливий потенціал можна лише на основі прогнозних оцінок та випадкових процесів.

Для виходу об'єднаних систем на вищий рівень організації необхідно проаналізувати методом сценаріїв найбільш оптимальний варіант напрямку руху систем *О*. Проте, під дією нестабільного зовнішнього середовища та флуктуації елементів системи знову втрачають рівновагу, виникають нові точки біфуркації $Б_1^/ \ldots Б_n^/$ та напрямки руху.

Далі, після зменшення величини енергетичного імпульсу, сума величин $dS_e^{A,B}$ та $dS_i^{A,B}$ зменшується, а системи повертаються в зрівноважений стан.

При цьому до внутрішніх умов відносять сильні та слабкі сторони підприємства за сферою діяльності, яка керується відповідною інформацією про ділову стратегією під час реалізації проекту [5]. До зовнішніх умов відносять можливості та загрози, які створюються конкурентами та споживачами, партнерами, державою та ін.

Економічні системи відносяться до типу відкритих складних об'єктів, які описуються параметрами, що відображають обмін матеріальних і фінансових ресурсів з навколишнім середовищем. Як у типовій термодинамічній системі, де відбувається організований перерозподіл потоків енергії в результаті зіткнення великого числа мікроскопічних елементів, так і в економічній системі загальний механізм ринкових відносин визначається рухом товарних і грошових потоків при здійсненні численних операцій між господарюючими суб'єктами. Як і в класичній термодинаміці, в економіці виділяються два рівні опису: мікрорівень взаємодії окремих господарюючих суб'єктів і макрорівень поведінки всієї економічної системи. Аналогічний і зв'язок між ними: кооперативна взаємодія окремих учасників ринку як мікроскопічних елементів призводить до формування загальних організаційних структур на макрорівні. В цілому, термодинамічний опис реальних економічних систем заснований на фундаментальних системних принципах, властивих складно організованим об'єктам будь-якої природи [6].

Поведінку економічних систем в нестабільному зовнішньому середовищі залежно від їх термодинамічних характеристик можна розділити на дві основні області: лінійну і нелінійну. У слабо нерівноважній області екотермодинамічні потоки (матеріальні і грошові потоки) лінійно залежать від екотермодинамічних сил (градієнта попиту, тобто перевищення попиту над пропозицією, або градієнта пропозиції – перевищення пропозиції над попитом). У сильно нерівноважній або нелінійній області екотермодинамічні потоки є складнішими функціями екотермодинамічних сил. Якщо в лінійній області економічна система залишається структурно стійкою і є єдиний метастабільний стан, то в нелінійній області відбувається значне посилення ринкових флуктуацій, що призводять до утворення нових господарських структур через певну послідовність метастабільних станів. Саме в умовах сильної незрівноваженості економічна система здатна спонтанно організовувати себе і якісно нарощувати свій господарсько-фінансовий потенціал.

Відомо, що першим законом термодинаміки є закон збереження енергії стосовно термодинамічних процесів: енергія не зникає і не виникає ні з чого, а лише переходить

з одного виду в іншій в еквівалентних кількостях. У відповідності до цього закон термодинаміки можна записати в наступному вигляді [7]:

$$dQ = dK + dH + dL, \quad (2)$$

де $dK+dH$ являє собою суму кінетичної та потенціальної енергії, тобто внутрішню енергію системи dL. Тоді формулу можна представити таким чином:

$$dQ = dU + dL. \quad (3)$$

Потенційну енергію економічної системи можна представити основними фондами, накопиченнями і капіталовкладеннями [8]:

$$D_p = \frac{K(x)^2}{2}. \quad (4)$$

Її завжди можна перевести в кінетичну енергію системи шляхом продажу підприємств, в які вкладено гроші, і обернути в готівку. При цьому капіталовкладення можна представити як стислу (розтягнуту) пружину, яка може вільно розпрямлятися і виконувати корисну роботу. При цьому виникають коливання з амплітудою δx. Можна знайти коефіцієнт пружності системи за формулою:

$$K = \frac{2D_p}{\delta x^2}. \quad (5)$$

В цій формулі потенційна енергія визначена як капіталовкладення.

Із статистичних даних вимірюють амплітуду в грошовому виразі і визначають параметр системи δx.

Кінетичну енергію системи можна представити залежністю [8]:

$$D_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (6)$$

де D_k – гроші або капітали, які створюють грошові потоки зі швидкістю v та знаходяться в обігу . При цьому можна знайти масу (інерційність) системи m як: $m = \frac{2D_k}{v^2}$.

Із статистичних даних можна знайти розміри капіталовкладень, швидкість обороту капіталу і загальний об'єм капіталу, що бере участь в обігу. Цих даних з урахуванням періоду коливань цілком достатньо, щоб знайти коефіцієнт квазіпружної сили або «пружність системи»:

$$K = \frac{\tau^2}{2\pi m}. \quad (7)$$

Виходячи з вищесказаного, квазіпружні коливання можна визначити як «економічні коливання суспільства».

На основі вищезазначеного модель економічної системи можна представити набором найпростіших елементів: інерційності, пружності та резистора. Такий набір представлено на рис. 3 у вигляді деякої тривимірної моделі.

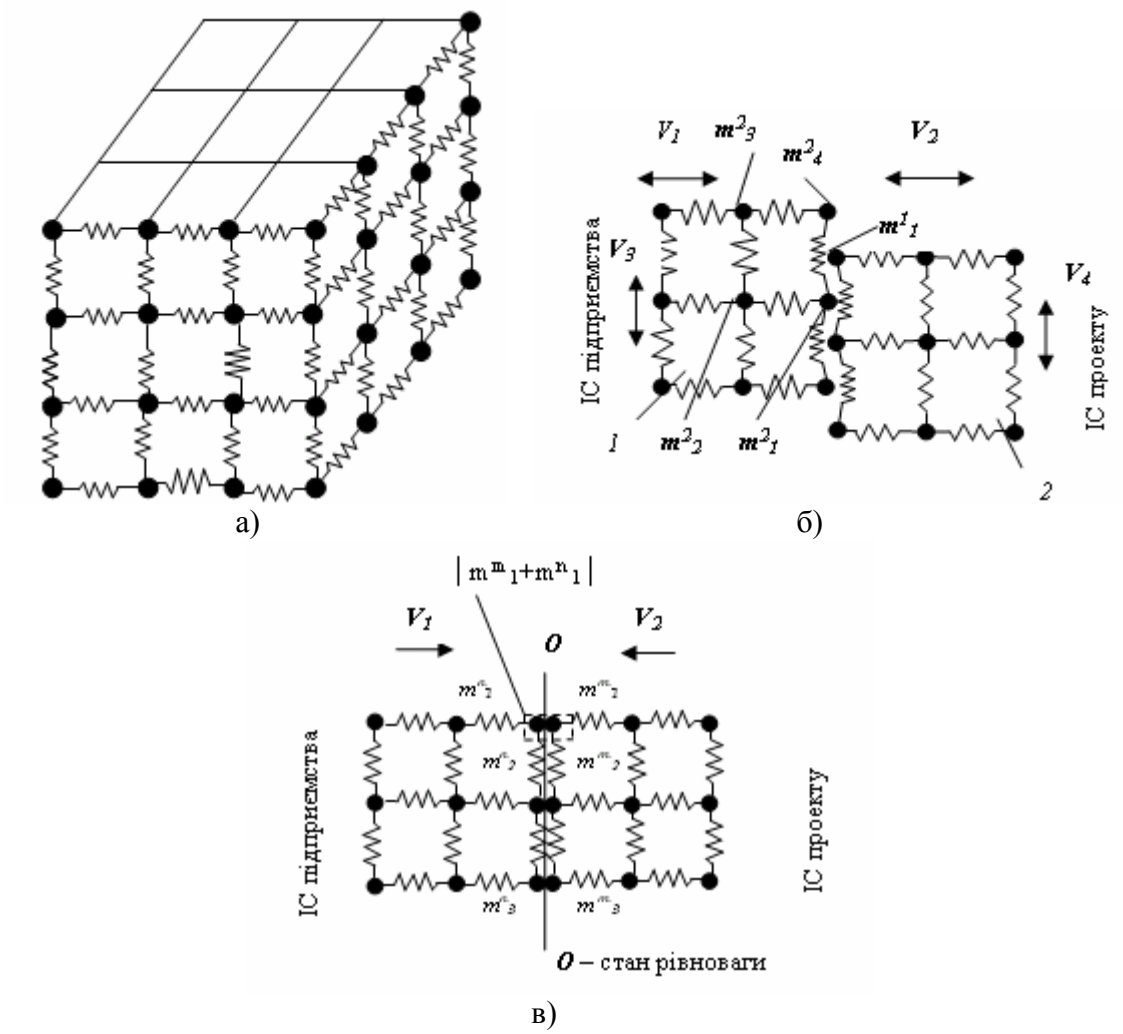


Рис.3. Схема об'єднання інформаційних систем підприємства та проекту: а – тривимірна модель інформаційної системи; б – глибинне проникнення інформаційних систем; в – поверхневе проникнення інформаційних систем; ● – інерційність або маса; ⁄\⁄\⁄ – резистор або дисипативний елемент; ▬ – пружність

Форма решітки може бути різноманітною та не обов'язково кубічною. Представлена на рис. 3,а конструкція суттєво полегшує сприйняття економічних процесів, в яких циркулюють грошові та матеріальні потоки.

У цієї конструкції існує границя-поверхня або мембрана, через яку енергія та матеріали проникають всередину та виходять на зовні. З цього слідує, що наявність мембрани створює поверхневий натяг та тиск всередині системи. Мембрана, що утримує всю конструкцію, та створюваний нею тиск мають бути достатніми для цього. Мембрана повинна бути (частково) прозорою для циркуляції потоку енергії та матерії.

Розглянемо процес об'єднання двох інформаційних систем підприємства та проекту на основі представленої моделі. При об'єднанні двох систем в одне ціле можливі різноманітні конфігурації пружних інерційних елементів.

Якщо прийняти решітку правильної форми, то в процесі об'єднання систем інерційна маса m^m_1 решітки 1 з'єднається з будь-якою масою m^n_1 решітки 2 (в залежності від глибини проникнення решітки 1 в решітку 2 (рис.3,б)). На рис. 3,в показано поверхневе об'єднання двох систем. В цьому випадку обидві маси можуть доповнити одна одну, якщо вони рухаються в одному напрямку. В результаті злиття обох мас система почи-

нає працювати як одне ціле. Таким чином, об'єднуючи дві підсистеми в одне ціле, можливо отримати нову сукупність взаємопов'язаних елементів, що мають властивості більш високого рівня функціонування.

Висновки з даного дослідження

В роботі розглянуто механізм об'єднання інформаційних систем проекту та підприємства в єдину інформаційну систему.

Розглянуто принципи утворення точок біфуркації та синергетичних ефектів в результаті об'єднання двох систем.

Побудовано механістичну модель об'єднання інформаційних систем підприємства та проекту.

Список літературних джерел

1. Сугаков В.Й. Основи синергетики / Сугаков В.Й. - К. : Обереги, 2001. – 287с.
2. Добронравова И.С. Синергетика: становление нелинейного мышления / Добронравова И.С.К., 1990. – 160 с.
3. Ребенок А.В. Синергетична концепція стратегічного управління проектами // Ребенок А.В. Управління проектами та розвитком виробництва: зб. наукових праць. – Луганськ , 2006. – № 2. – С. 30-36.
4. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия / Ансофф И. – СПб.: Издательство «Питер», 1999. – 416 с.
5. Сахно Є.Ю. Системні аспекти управління інноваційно-інвестиційними проектами стратегічного розвитку підприємства / Сахно Є.Ю., Дорош М.С., Ребенок А.В. Монографія. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2008. – 260 с.
6. Сахно Є.Ю. Процес об'єднання двох інформаційних систем при управлінні проектами розвитку підприємства // Сахно Є.Ю., Кунденко А.В., Двоєглазова М.В. Управління проектами та розвитком виробництва: зб. наукових праць. – Луганськ , 2010. – № 2. – С. 45-51.
7. Карташов Ю.А. Молекулярная физика. Термодинамика: Основные законы и формулы / Карташов Ю.А., Комаровских К.Ф., Харламова В.Б. – СПб.: СЗПИ, 1997. - 230 с.
8. Резонанс экономических систем [Електроний ресурс] / Режим доступу до журн.: http://raikhlin.co.il/myrusbook/chapter14/EconomicReson.htm.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 551.243

В.А. Іванишин, д-р. геол.наук
О.М. Менайлов, канд. техн. наук
А.Ф. Шевченко, канд. техн. наук

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

І.О. Прибитько, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ РОЗРИВІВ (У ЗВ'ЯЗКУ З ЇХ ФЛЮЇДНОЮ ПРОВІДНІСТЮ)

Дається критичний аналіз деяких класифікацій морфології розривних тектонічних порушень і обґрунтовується визначення розмірів порожнини за ідеалізованою схемою. Кількісна оцінка розривних порушень зроблена не лише для генетично однакових розривів, але і для розривів змішаної, комбінованої кінематики (скиди, підкиди, насуви). Характер утворення розривних порожнин у цих розривних порушеннях такий же, як і у однотипних розривах при наявності у них деяких особливостей. За результатами досліджень зроблені висновки про характер розкриття і закриття розривних порожнин і впливу на них різноманітних факторів.

Постановка проблеми

Вивчення нерівних поверхонь розривних порушень через їх здатність створювати порожнини представляє як теоретичний, так і практичний інтерес в будівництві, рудній, нерудній і нафтогазовій геології. Чітко виражені нерівні поверхні розривів давно привертали увагу дослідників. Але більшість з них це питання цікавило з чисто тектонічного боку, переважно у зв'язку з розвитком складок і структур, що супроводжується розривами. Фундаментальні дослідження цієї проблеми практично відсутні, а тому будь-яка нова інформація з цього питання є надзвичайно важливою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Геологи, вивчаючи генезис рудних родовищ, в своїх дослідженнях нерідко враховують факт наявності площин, які утворюються під час рухів по нерівних поверхнях розривів. Це диктується практикою геолого-пошукових і розвідувальних робіт на рудні корисні копалини, тому що в порожнинах розривів нерідко спостерігається гідротермальне та інше зруденіння. Визначення розривних порожнин полегшується тим, що не лише самі розриви, але й супровідні тріщини і системи тріщин в навколишніх породах порівняно легко і детально можуть бути закартовані.

Дещо інакше в цьому відношенні тлумачиться це питання в нафтогазовій геології. Згадування про відкриті порожнини розривів ("зіяння") у деяких дослідників є. Але при цьому не розглядається ні механізм формування порожнин, ні кількісні аспекти цього явища. У Р.С. Копистянського [1] є конкретні вказівки на звивистість слідів розривних порушень. На прикладі озокеритових родовищ Карпат ним було показано, що "… практично ні один тектонічний розрив, за винятком лише деяких мікротріщин і пластових розривів (кліваж, пластові скопи), не утворюють в перетині прямої лінії, як це рисується на картах і розрізах, а утворюють низку вузлів, розгалужень і викривлень. Це зумовлено не тільки звивистим характером первісних тріщин, але і наступним переміщенням порід "по кривій площині розриву".

Існує декілька кінематичних класифікацій розривів. Одною з найпростіших є класи-

фікація П.К. Соболевського, описана В.А. Букринським [2]. Ця класифікація зводить окремі випадки до восьми основних типів. Розривні порушення іменуються в залежності від направлення умовного вектора переміщення по зміщувачу висячого крила відносно лежачого.

Напрямок цього вектора на поверхні зміщувача приймає різні положення, від лежачого до висячого крила. Два основні взаємно перпендикулярні напрямки вектора переміщення утворюють скид, підкид, перезсув, зсув. Проміжні між цими напрямками положення вектора утворюють скидо-перезсув, підкидо-перезсув, підкидо-зсув, скидо-зсув.

Перезсув інакше називається правобічними зсувом, зсув – лівобічним зсувом [3], тобто тут зсув – узагальнююче поняття для розриву, утвореного рухом блоків за годинниковою стрілкою (правобічний зсув) і проти годинникової стрілки (лівобічний зсув). Ця класифікація не визначає назву проміжних положень вектора переміщення між вказаними вище вісьмома типами розривних порушень, тобто випадки скидів і підкидів з зсувовими складовими або обох типів зсувів із скидовими і підкидовими складовими. Це означає, що сумарний вектор переміщення розкладається на два взаємно перпендикулярні, з яких основним, який дає назву розриву, є великий, а складовим є менший вектор.

В цьому відношенні класифікацією П.К. Соболевського можна розширити, звівши напрямки вектора переміщення до 12-ти основних типів: скид, підкид, перезсув (правобічний зсув), зсув (лівобічний зсув), перезсуво-скид, скидо-перезсув, підкидо-перезсув, перезсуво-підкид, підкидо-зсув, скидо-зсув, зсуво-скид. Друге слово подвійних назв означає розрив, який має більшу складову. Тут ми не використовуємо слово перезсув, яке не вкоренилось в літературі, а використовуємо терміни правобічний і лівобічний зсуви. В цю класифікацію не вкладається таке розривне порушення як насув. Але останній за кінематикою не відрізняється від підкиду і може розглядатися як пологий підкид.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розривне порушення під час виникнення є хвилястою або ламаною тріщиною. Обидві стінки розриву мають конфігурацію, яка доповнює одна одну. При зміщенні по розриву конфігурації стінок не збігаються, що призводить до утворення різного вигляду і розміру порожнин. Схема утворення порожнин під час руху по поверхні зміщувача (у вертикальному розрізі) показана на рисунку 1. Можна помітити чергування крутих і пологіших ділянок розривних тріщин, але головне – це утворення порожнин. У випадку скиду порожнини утворюються на крутих ділянках (колінах), у вигляді підкиду або насуву – на пологих. В залежності від характеру чергування крутих і пологих ділянок, ступеня їх крутизни порожнини повинні мати різні розміри. Характер розкриття порожнин не залежить від орієнтування поверхні розриву в просторі. В залежності від комбінації крутих і пологих ділянок можна розрізняти замкнуті порожнини (рисунок 1, а та в) та які відкриваються вгору (рисунок 1, б та г).

Визначення розмірів порожнин скиду і підкиду робиться за ідеалізованою схемою (рисунок 2). Інтерес можуть представляти: розмір поперечного перетину (C) та об'єм порожнини (V), які визначаються за формулами, наведеними нижче.

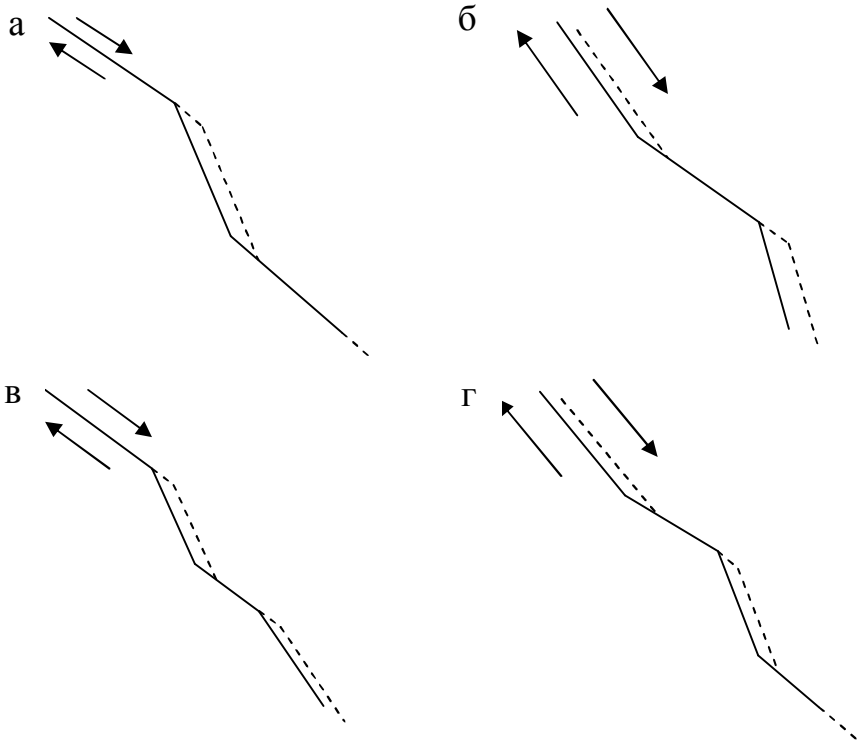
Вхідні дані для обчислення C і V знаходяться емпірично, тобто з профільних розрізів, карт. Розмір поперечного перетину (рисунок 2) визначається за формулою:

$$C = a \cdot \sin(\beta - \alpha), \qquad (1)$$

де a – розмір зміщення по поверхні розриву;

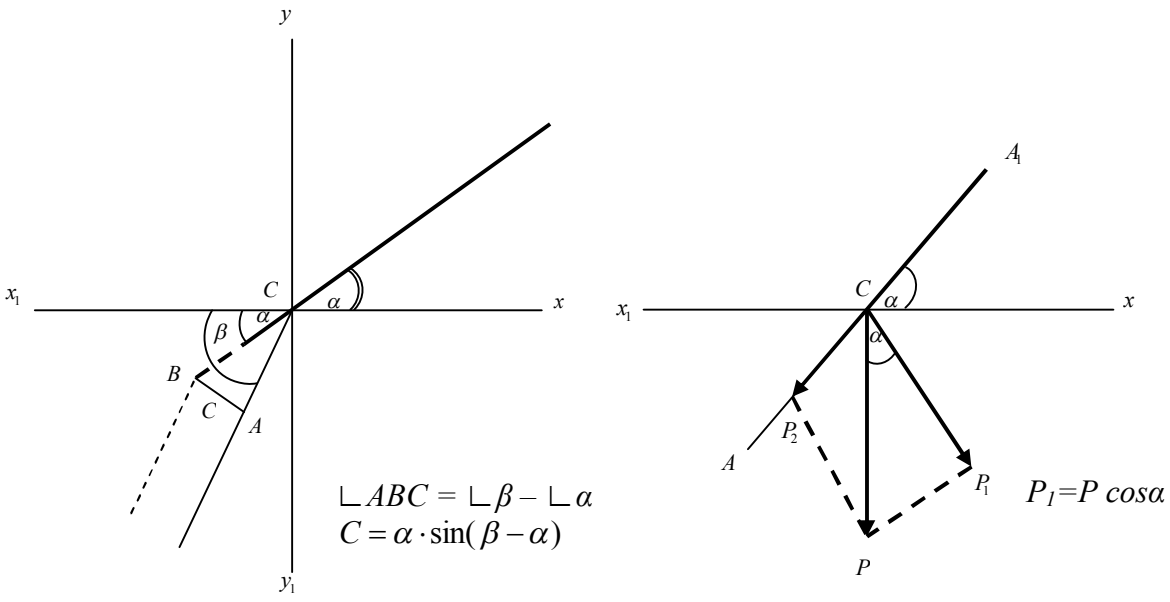
α – кут падіння крутої ділянки розриву;

β – кут падіння пологої ділянки.



а, в – замкнуті порожнини; б, г – порожнини, що розкриваються вгору

Рис. 1 Комбінація крутих і пологих ділянок порожнин



AA_1 – слід поверхні ділянки скиду в вертикальній площині

Рис. 2 Схема визначення розмірів порожнин розривів

Аналіз формули показує, що розмір поперечного перетину прямо пропорційний розміру зміщення (a) і різниці кутів падіння двох суміжних (крутої і пологої) частин роз-

риву. Останнє особливо важливо, оскільки показує, що при графічних побудовах, пов'язаних з розривами, посилання на один тільки кут падіння розриву не відповідає дійсності. Граничні значення величин (a) і ($\beta-\alpha$) означають наступне: якщо (a)→0 або ($\beta-\alpha$)→0, то і розмір поперечного перетину прямує до нуля; 2), якщо ($\beta-\alpha$)→90º, то розмір поперечного перетину прямує до (a).

Наближена формула об'єму розривної порожнини має такий вигляд:

$$V = \frac{1}{2} \cdot C \cdot l \cdot h, \qquad (2)$$

де l – довжина розриву в плані;

h – довжина порожнини у вертикальному розрізі.

При цьому розуміється, що слід розриву в плані не звивистий. Якщо розрив в плані представляє слід ламаної або кривої лінії, розмір порожнини може бути обчислений для кожної елементарної ділянки ($l_1, l_2, ..., l_n$). Замінюючи в цій формулі C на раніше наведений вираз, отримуємо

$$V = \frac{1}{2} \cdot a \cdot l \cdot h \cdot \sin(\alpha - \beta), \qquad (3)$$

Вказані формули справедливі і для насувів.

Зсуви мають деякі принципіальні відміни від описаних вище розривних порушень, а тому на них необхідно зупинитися окремо. Характерними морфологічними особливостями “чистих” зсувів, які відрізняють їх від скидів, підкидів і насувів, є майже вертикальне положення змішувача та вектор переміщення, направлений горизонтально.

Тут, на противагу розривам з вертикальним зміщенням, порожнини розкриваються в горизонтальній площині, тобто в плані. Характер розкриття порожнин при русі по зсуву визначається, виходячи з наступного правила: якщо зсув орієнтований з півночі на південь, то при правобічному зсуві розкриваються порожнини на ділянках зсуву північно-східного простягання, а при лівобічному зсуві – північно-західного.

У випадку зсувного зміщення як довжина порожнини, так і поперечний перетин контролюються положенням зсуву в плані, а висота (h) – глибиною проникнення поверхні зміщувача. Поперечний перетин визначається за такою формулою:

$$C = a \cdot \sin(180^\circ - \gamma), \qquad (4)$$

де γ – внутрішній кут між двома сусідніми ділянками (колінами) зсуву.

Об'єм порожнини обчислюється за формулою:

$$V = a \cdot l \cdot h \cdot \sin(180^\circ - \gamma). \qquad (5)$$

Важливість явища утворення розривних порожнин стає зрозумілою при з'ясуванні його масштабності. Хоч задача є об'ємною, найхарактернішою величиною є розмір поперечного перетину порожнини. На основі формули визначення поперечного перетину порожнини укладена таблиця 1 значень величини C (в метрах) в залежності від зміни величин (a) і ($\beta-\alpha$).

Аналіз табличних даних показує, що навіть при малій (2º – 5º) різниці кутів β і α і при зміщенні лише 5 м, поперечні перетини порожнин можуть досягати 17-43 см. А ці величини, як буде показано нижче, практично досить значні.

Для підтвердження наведемо розрахунок об'єму скидової (підкидової) порожнини. Прийнявши довжину скиду 2000 м і висоту кутової ділянки скиду 500 м (такі величини є звичними в умовах Дніпровсько-Донецької западини), при розмірах поперечних перетинів 17-43 см об'єм порожнини повинен коливатися в межах 85000 – 215000 м^3.

Таблиця 1

Значення величини С (в м)

a **(в метрах)**	***β–α***							
	0,5°	**1°**	**2°**	**5°**	**10°**	**15°**	**20°**	**30°**
1	0,01	0,01	0,04	0,09	0,17	0,26	0,34	0,42
2	0,02	0,02	0,08	0,19	0,34	0,53	0,68	0,84
5	0,04	0,08	0,17	0,43	0,85	1,3	1,7	2,1
10	0,09	0,17	0,35	0,87	0,71	2,6	3,4	4,2
15	0,13	0,26	0,52	1,2	2,5	3,9	5,1	6,3
20	0,18	0,35	0,70	1,7	3,4	5,2	6,8	8,2
50	0,45	0,88	1,8	4,4	8,5	13,0	17,0	21,0

Все сказане вище про кількісну оцінку розривних порожнин відносилось до так званих “чистих розривів”. Але в певних умовах утворюються розриви змішаної кінематики. Це скиди, підкиди і насуви зі зсувною складовою і зсуви з скидовою і підкидовою складовими. Характер утворення розривних порожнин у цих розривних порушеннях, підкоряючись тим же правилам, що і “чисті” (ортогональні), має і деякі свої особливості. Завдання тут винятково об'ємне через сполучення двох взаємно перпендикулярних площин, горизонтальної і вертикальної, з поверхнями розривів. Раніше розглядалась задача на площині, горизонтальній або вертикальній через те, що вектор переміщення не мав складових. При русі комбінованих розривних порушень, природно, утворюються обидва типи порожнин, описаних вище. Порожнини першого і другого типу при цьому перетинаються, утворюючи єдину складну хрестоподібну порожнину (при одній порожнині в плані і одній – в розрізі) або цілу гратку порожнин (при декількох порожнинах як в плані, так і в розрізі).

Для підкріплення викладених вище теоретичних поглядів необхідно навести докази, приклади. Причому фактор часу існування порожнин тут не розглядається. Питання ставиться так: чи можливе в принципі існування таких порожнин? Всі докази існування розривних порожнин можна розбити на дві великі групи: 1) прямі; 2) непрямі.

Прямими доказами існування розривних порожнин є неодноразово описані в літературі випадки знаходження порожнин, заповнених рудними утвореннями, в тому числі озокеритом, проходження буровим інструментом понад 1000–метрової порожнини, жерла грязьового вулкана [4] та інші. Порожнини в надрах – це реальність і вони можуть існувати. Інше питання – скільки часу, в яких умовах і тому подібне.

Значну інформацію про існування в надрах розривних порожнин дають землетруси. При цьому отримуємо і непрямі докази існування розривних порожнин. Амплітуди деяких розривних порушень, утворених за один етап, досягали 8-12 м [5], а за четвертинний період сумарна амплітуда порушень досягала декількох десятків метрів. При цьому відкриті зіяння на земній поверхні досягали декількох (в межах перших десяти) метрів.

В історії землетрусів відомі численні випадки зміни (коливання) рівнів води в колодязях, прориви останніх на поверхню, коливання рівнів рік і таке інше, які відбувались під час землетрусів. Ці явища деякими дослідниками пояснювалися послідовним стисненням і пониженням напруженого стану вод, які містяться в породах, в результаті проходження сейсмічних хвиль. В цих випадках, як зазвичай вказується, зміни напру-

женого стану води і зміна рівнів мають пульсаційний характер. Але, як зазначає І.Ф. Ріхтер [6], "Лише при небагатьох землетрусах повідомлялося про пульсуюче фонтанування; скоріше тут має місце безперервне, поступово слабнуче витікання". В цій же роботі (с. 175) говориться: "Дуже важко пояснити виходи гарячих джерел вздовж лінііїї розломів, особливо відразу після землетрусу. Джерела приурочені до багатьох активних розломів і зсувних рифтів. Близько десяти виходів гарячих джерел розсіяно вздовж розлому Сан-Джасінто в Південній Каліфорнії; поблизу більшості з них виникли курорти." Тобто ці джерела повинні походити з великих глибин (висока температура води), що може бути зумовлено лише наявністю водопровідних порожнин, причому біля розлому зі зсувною складовою зміщення. З описання катастрофічного Гобі–Алтайського землетрусу [5], який стався 4 грудня 1975 року, відомо: "Вскоре после землетрясения она (т.е. трещина) во многих местах представляла собой ров шириной до 6,5 м и глубиной до нескольких метров. Северный (приозерный) борт трещины опущен на 3,5 м по отношению к южному. Из трещины вытекали ручьи, впадавшие в озеро." Таких випадків у природі немало. Вони свідчать про наявність розривних порожнин в земних надрах.

Наведена вище схема утворення розривних порушень є принциповою, а тому – приблизною. І це природно, тому що окрім факторів, які сприяють виникненню порожнин, є і фактори, що чинять опір цьому процесу. В надрах існують найрізноманітніші умови імовірнісного характеру геологічних процесів і позитивний результат (в нашому випадку – формування розривних порожнин) буде досягнутий при переважанні дії і взаємодії факторів, які сприятимуть отриманню цього результату. При переважанні "негативних" факторів утворення порожнин може і не відбутися.

Окрім викладеного, не менш важливим є і те, що станеться з порожнинами після їх виникнення. Мабуть в окремих сприятливих випадках порожнини можуть зберігатися порівняно довго. Про це можуть свідчити жили озокериту, які утворилися впродовж певного часу через циркуляцію по них (порожнинах) нафти. Серед явищ, які можна спостерігати безпосередньо, доцільно виділити обвал стінок свердловин. Чим більше кут викривлення свердловини, тим вона "важча", тобто тим менш стійкі її стінки. Відкриті газові, нафтові, а також газо-водяні та інші викиди часто досить швидко руйнуються через обвал стінок свердловини, що свідчить про високу здатність порід обвалюватися. Широко відомі також випадки обвалів у різноманітних гірничих виробках. Всі ці процеси повинні би змінити конфігурацію порожнин, а з часом і закрити їх. При закритті порожнин продукти обвалів могли створити ілюзію наявності тектонічних брекчій. Але і після заповнення продуктами обвалів порожнини якийсь час могли бути проникними для циркулюючих флюїдів. Лише в процесі тривалої циркуляції останніх в колишній порожнині відбувалися різні вторинні зміни, які призводили до повного закриття шляхів міграції флюїдів.

Фактори, які впливають на екрануючі властивості розривних порушень, детально розглянуті в роботі П.Г. Романова та інших [7]. В ній вельми прискіпливо розглядається роль геостатичного і бокового тиску на порушену зону, кутів падіння порушень, величини пластового тиску в колекторі та інше. Дана диференціація основних факторів, які перешкоджають міграції флюїдів, окремо для крутих і пологих порушень. Тому ці питання в статті не відображені.

Висновки з даного дослідження

Загалом за результатами наших досліджень морфологія закритих і розкритих розривних порожнин може залежати від таких факторів:

1) характеру розподілу напружень в породах після формування порожнини;
2) величин гравітаційного навантаження порід, що залягають вище;
3) поперечного перетину порожнини;

4) довжини і кутів нахилу відповідних ділянок розриву (в скидах – крутих, у підкидах – пологих і т.і.);
5) розміру розриву в плані;
6) розташування коренів розриву;
7) характеру перетинання розривами навколишніх порід;
8) формування супутніх (додаткових) скидів.

Список літературних джерел

9. Копыстянский Р.С. К вопросу о роли трещиноватости в формировании нефтяных месторождений //Проблема миграции нефти и формирование нефтяных газовых скоплений. – Гостоптехиздат. – 1959. – С. 103 – 107.
10. Рыжов П.А. Геометрия недр. – М.: Недра. – 1964. – 178 с.
11. Муди Дж. Д., Хилл М. Дж. Сдвиговая тектоника. //Вопросы современной зарубежной тектоники. – М. – Ин. лит. – 1960. – 247 с.
12. Редкий случай проявления грязевого вулканизма на нефтяном месторождении Барса-Гельмес. /Арифан И.Н., Лысенков С.П. // Геология нефти и газа. – 1968. – №8. – С.53-54.
13. Гоби–Алтайское землетрясение / Солоненко В.П. // Геология и геофизика. – 1960. – №2. – С.73-80.
14. Рихтер У.Ф. Элементарная сейсмология. – М.: Ин. лит. – 339 с.
15. Факторы, влияющие на экранирующие свойства разрывных нарушений /Романов П.Г., Галин В.Л., Жемеричко М.И. // Нефть и газ. – 1970. – №2. – С.62-77.

УДК 519.6

Зацерковний В. І., канд. техн. наук

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЕТАЛОННИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ ГІС ЗА ДОПОМОГОЮ ОРТОГОНАЛЬНИХ БАГАТОЧЛЕНІВ

Розглянута можливість застосування геоінформаційних систем та геоінформаційних технологій для діагностування стану природного середовища. Розроблена математична модель на базі ортогональних багаточленів, що дозволяє ефективно діагностувати стан навколишнього середовища в умовах поганої обумовленості задачі.

Постановка проблеми

Ефективність функціонування ГІС в значній мірі визначається її математичним забезпеченням, під яким розуміють математичні моделі досліджуваних просторових об'єктів, представлених у вигляді, придатному для обчислень в комп'ютері, та алгоритми прогнозування зміни станів цих об'єктів і якістю пошарового тематичного наповнення бази метричних та атрибутивних даних. Це зумовлено тим, що при дослідженні будь-якого просторового об'єкта необхідно сформувати адекватну модель просторового об'єкта дослідження; сформувати відхилення параметрів стану просторового об'єкта дослідження; визначити перехід об'єкта дослідження в „несправний" стан; отримати управлінське (діагностичне) рішення.

Для формування відхилень параметрів стану досліджуваного просторового об'єкта в якості еталона можна прийняти: значення параметрів досліджуваного об'єкта, отриманих на його початковій стадії дослідження (експлуатації) в завідомо справному стані, перерахованих за формулами приведення; значення параметрів середньостатистичного досліджуваного просторового об'єкта при стандартних атмосферних умовах, отриманих за експериментальними даними; індивідуальну ідентифіковану нелінійну математичну модель залежностей контрольованих параметрів просторового об'єкта від зовнішніх умов і режимних параметрів (параметрів управління), отриману за експериментальними даними в початковий період дослідження (експлуатації) тощо; середньостатистичну ідентифіковану нелінійну математичну модель досліджуваного об'єкта ГІС, отриману шляхом обробки експериментальних даних; багаторежимну квазінелінійну індивідуальну ідентифіковану математичну модель досліджуваного об'єкта; багаторежимну квазілінійну ідентифіковану середньостатистичну математичну модель досліджуваного об'єкта.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Обраний напрям дослідження пов'язаний з реалізацією завдань постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30.03.1998 р. №391, Державної цільової екологічної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища, що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 5.12.2007 р, №1376; Закону України "Про екологічну мережу України" за станом на 24.06.2008, № 1864-IV, виконанням науково-дослідної роботи кафедри геодезії, картографії та землеустрою Чернігівського державного інституту управління і економіки спільно з Державним управлінням у сфері охорони навколишнього природного середовища в Чернігівській області.

Теоретико-методичні основи застосування ГІС і матеріалів ДЗЗ в галузі природоохорони та землезнавства приведені в роботах С. Довгого, В. Лялька, В. Шестопалова, М. Якимчука та ін. Теоретичні засади та приклади імітаційного моделювання кризових ситуацій приведені в працях А. Прохорова, О. Додонова, О. Рогожина, А. Садівничого, О. Федоровича, О. Трофимчука, Л. Грекова, Г. Красовського, В. Ілюшко, М. Железняка,

А. Тихонова [2]. Можливість створення на основі засобів системної динаміки та методу адаптивного балансу впливів (прийнята назва АВС-метод) моделей для оцінки геоекологічного стану навколишнього природного середовища розглянуті І. Тимченком, О. Федоровським, В. Якимчуком.

Узагальнення і систематизація робіт в галузі геоінформаційних технологій представлена в роботах А.В. Кошкарьова і В.П. Каракіна, А.А. Світличного, Б.С. Бусигіна, В.С. Тікунова, В.Я Цветкова та ін.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для проведення діагностики екологічного стану територій України та прогнозування можливих змін, викликаних антропогенним тиском на довкілля в умовах поганої обумовленості задачі.

Виклад основного матеріалу дослідження

Проблема обґрунтованості рішень, що приймаються в управлінні територіями для України, набуває все більш актуального значення. Швидка зміна зовнішніх умов, глобалізація економічних процесів, загострення екологічних проблем, підвищення конкуренції територій за залучення інвестицій – це далеко не повний перелік умов, які в тій або іншій мірі змушують органи влади і управління шукати і освоювати нові методи і інструменти прийняття ефективних управлінських рішень.

Основним фактором, що забезпечує прийняття ефективних управлінських рішень в ринкових умовах як на рівні керівника підприємства, так і на рівні управління регіону (області) і держави, є своєчасна і достовірна інформація, тому актуальним є створення раціональної організації інформаційної системи управління територією.

Оскільки практично вся інформація (80-85 %) про ресурси певного регіону має просторову прив'язку [1], то цілком очевидно, що базовою інформаційною технологією повинна виступати регіональна геоінформаційна система (РГІС). Впровадження ГІТ дозволяє не тільки значно спростити ведення інформаційних баз і знизити імовірність виникнення помилок, але й впровадити нові методи підтримки прийняття управлінських рішень на основі аналізу даних і, врешті-решт, підняти їх ефективність.

Серед великої кількості задач, що вирішуються за допомогою ГІС, найбільш інтелектуальними є системи прогнозу та діагностики, які спроможні прогнозувати сценарій майбутнього, ґрунтуючись на подіях минулого і наявного стану, та володіють можливістю знаходити причини аномальності спостережуваних процесів та явищ. Для цього ГІС використовують динамічні параметричні моделі та набори даних, за допомогою яких виявляються відхилення від еталонної поведінки.

При використанні ГІС в управлінні територіями та моніторингу навколишнього середовища досить часто виникає необхідність відновлення (отримання) поліноміальних моделей за результатами, отриманими при дослідженнях просторових процесів, явищ і недостатній (малій) кількості експериментів. Недостатня кількість вимірів і наявність похибок виміру контрольованих параметрів досліджуваних просторових явищ призводить до того, що задача відновлення, зазвичай, виявляється погано обумовленою.

Як відзначено в [2], не існує загального математичного метода, який би дозволив ефективно вирішувати таку задачу. Кожний з відомих методів накладає певні обмеження, порушення яких виключає застосування даного метода.

На сьогодні існує величезна кількість підходів, алгоритмів і програм, які дозволяють в тому або іншому ступені раціонально організувати обчислювальні процедури. До них відносяться [2, 7]: метод усіх можливих регресій; метод вибору "найкращої підмножини" предикторів; метод виключення; покроковий регресійний метод; гребенева ("рідж") регресія; "ПРЕСС"-регресія; регресія на головних компонентах; регресія на ортогональні поліноми Чебишева; регресія на власних значеннях; східчастий регресійний метод;

регресія на основі *G*-обернення; робастна регресія; регуляризація за Тихоновим; регресія з використанням сингулярних розкладань; схеми Холецького і Хаусхолдера; метод групового урахування аргументів (МГУА). На цій основі написана велика кількість пакетів програм на різних алгоритмічних мовах [2, 6]. Однак, частина з них мало відрізняється одна від одної, а іншими досить складно скористатися. Цей факт можна пояснити тим, що [2]: більшість пакетів програм розроблялися приблизно в один і той же час, незалежно один від одного, і ґрунтувалися на одному і тому ж фундаменті наявних на той час математичних методів; відсутність, недостатність або наявність помилок в документації з використання розроблених пакетів програм призводять до того, що найчастіше простіше розробити нові програми, ніж розібратися у відомих; досконало неопрацьованою залишається поки що проблема порівняння і вибору кращого алгоритму або програми; автоматизовані тільки лише розрахунки, а аналіз результатів і вибір найкращих варіантів, як і раніше, провадиться інтуїтивно, вимагаючи суттєвих витрат часу і коштів.

Використання традиційних [2] та інших підходів для створення поліноміальних моделей тематичних шарів ГІС виявилося малоефективним через притаманні їм в тому або іншому ступені спільних недоліків: великої чутливості до похибок виміру відгуків; великими погрішностями в обчисленні коефіцієнтів поліномів при поганій обумовленості матриці планування; неможливістю розрахунку коефіцієнтів полінома у випадку недостатньої кількості експериментів; відсутності формалізованих методів вибору оптимальної структури поліноміальної моделі.

Більше того, задача виявляється взагалі нерозв'язною при достатньо великій кількості варійованих факторів.

При створенні "згорнутих" математичних моделей окремих тематичних шарів ГІС ступені поліномів, зазвичай, невеликі. Однак, число параметрів може бути значним (більше 10...15). Чутливість контрольованих параметрів до більшості варійованих факторів мало відрізняється одна від одної. Крім того, контрольовані параметри, отримані в результаті вимірів, містять похибки. Ці особливості призводять до того, що задача відновлення поліноміальних залежностей розглядуваних тематичних шарів просторових об’єктів РГІС є погано обумовленою. Тому, незважаючи на те, що на даний час запропонований цілий ряд алгоритмів отримання поліноміальних моделей просторових об’єктів, цикл робіт в цьому напрямку далекий від завершення як в частині удосконалення математичних методів, так і в частині охоплення класу задач.

У зв'язку з цим виникла необхідність випробувати ряд нових підходів, щоб при наступних комп’ютерних експериментах і порівняльній оцінці виявити комплекс алгоритмів, здатних автоматизувати вибір оптимальної структури поліноміальної моделі еталонних тематичних шарів РГІС в умовах поганої обумовленості задачі і вирішити тим самим задачу створення моделей просторових об’єктів ГІС.

Вихідна інформація для побудови поліноміальної моделі може бути отримана за результатами натурних досліджень або розрахунковим шляхом на базі математичних моделей об'єкта дослідження. При цьому передбачається, що фактори задаються без помилок.

В процесі відновлення моделей можуть зустрітися два випадки: структура математичної моделі відома апріорі, і задача відновлення зводиться до визначення коефіцієнтів цієї моделі; структура математичної моделі заздалегідь невідома. У другому, більш загальному випадку, використовуються відрізки нескінченного ряду Тейлора [5], і задача відновлення полягає у визначенні як числа членів ряду, так і коефіцієнтів при цих членах. Треба враховувати, що підвищення складності відновлюваного полінома дозволяє отримати краще співпадання відновлюваної залежності з експериментальними даними. Але збільшення ступеня полінома доцільно лише до тих пір, поки з експериментальної

вибірки добувається надійна інформація [5]. Тому дуже важливо створення таких алгоритмів відновлення, у яких процес вибору оптимальної структури був би формалізованим при надійному отриманні значимих, незміщених і ефективних оцінок.

Комбінаторний алгоритм, заснований на методі повної математичної індукції [5], дозволяє не пропустити оптимальної структури відновлюваних поліномів і є багатоетапним. На першому етапі здійснюється пошук тільки в класі одночленів, на другому етапі досліджуються можливі двочленні описи тощо. Однак, відновлення структури поліномів за допомогою комбінаторного перебору вимагає великих часових витрат та об'єму оперативної пам'яті комп'ютера і при погіршенні обумовленості матриці якість отриманого рішення погіршується [6].

Набагато ефективнішим виявився алгоритм відновлення поліноміальної моделі за допомогою регуляризуючого функціоналу [6], який гарантує швидке знаходження рішення, вектор якого має найменше число значимих компонент. Проте, недоліки, відзначені в [2], даним алгоритмом повністю усунути не вдається.

Результати розрахунків [6] свідчать, що розроблений алгоритм може бути рекомендований для відновлення поліноміальних моделей просторових явищ, процесів, що досліджуються в ГІС при відсутності апріорної інформації про значимість факторів, і коли послідовний перебір всіх підсистем вимагає значних витрат машинного часу.

Відновлення поліноміальних моделей об'єктів РГІС ортогональними багаточленами дозволяє, поряд з покращенням обумовленості задачі, істотно скоротити часові витрати на пошук оптимальної структури полінома, тому що додавання нового члена в рівнянні регресії:

$$W = в_0 + в_1 u_1 + в_2 u_2 + ... + в_{19} u_1 u_2 u_3 \qquad (1)$$

не змінює раніше обчислених коефіцієнтів.

Задача вирішується в 2 етапи:

- на першому етапі визначається для заданої опорної функції нормальне рішення за допомогою регуляризуючого або ортогоналізуючого функціоналів [8], з наступним ранжуванням компонент вектора рішення за абсолютною величиною;

- на другому етапі за допомогою імовірнісної оцінки сумісності перерозширених підсистем [1] здійснюється пошук сумісних підсистем з поступовим зменшенням кількості невідомих змінних.

При структурній ідентифікації використання оптимальних планів для відновлення поліноміальних моделей часто виявляється малоефективним. Це зумовлено тим, що точні оптимальні плани [3], засновані на аналітичних виразах для інформаційної матриці Фішера і пов'язаних з нею величин, що характеризують той або інший критерій оптимальності, вдається теоретично дослідити на екстремум лише в окремих випадках. Тому навіть в лінійному випадку процедура побудови оптимального плану доволі громіздка. В математичній моделі РГІС залежність функції відгуку від варійованих параметрів, зазвичай, нелінійна, так що обчислювальні труднощі ще зростуть.

Задачі такого типу можуть бути вирішені за допомогою метода статистичних випробувань (метода Монте-Карло) [2, 4].

Перед тим як приступити безпосередньо до ортогоналізації, доцільно натуральні фактори u_i перевести в кодовані $\overline{u}_i$.

Перехід від натуральних змінних до кодованих здійснюється шляхом перенесення початку координат системи кодованих факторів $\overline{u}_i$ в центр з координатами в натуральних змінних [6]:

$$u_{oi} = 0{,}5\left(u_{i\max} + u_{i\min}\right) \qquad (2)$$

Кодовані змінні обчислюються по формулі:

$$\overline{u_i} = \frac{u_i - \frac{u_{i\max} + u_{i\min}}{2}}{\frac{u_{i\max} - u_{i\min}}{2}} \qquad (3)$$

Повернення до натуральних змінних здійснюється по формулі:

$$u_i = \overline{u_i} = \frac{u_{i\max} - u_{i\min}}{2} + \frac{u_{i\max} + u_{i\min}}{2} \qquad (4)$$

Ортогональні багаточлени, отримані за допомогою ортогоналізації Грама-Шмідта, можна представити у вигляді:

$$\overline{w_i} = \sum_{j=1}^{k} b_j^{(1)} L_j^{(1)} + \sum_{j=1}^{k} b_j^{(2)} L_j^{(2)} + \sum_{j=1}^{k} b_j^{(3)} L_j^{(3)} + \sum_{\psi=1}^{c_1} b_\psi^{(i,\psi)} L_\psi^{(i,\psi)} + \sum_{з=1}^{c_2} b_з^{(\nu,\varphi,\mu)} L_з^{(\nu,\varphi,\mu)}$$

де $j = \overline{1,k}$; $\psi = \overline{j+1,k}$; $i = \overline{1,k-1}$;

$\nu = \overline{1,k-2}$; $\varphi = \overline{\nu+1,k-1}$; $\mu = \overline{\varphi+1,k}$;

$c_1 = \frac{(k-1)k}{2}$; $c_2 = \frac{k(k-2)(k-1)}{6}$.

$L_j^{(1)} = \overline{u_j}$ – для розрахунку лінійних членів розкладання;

$L_j^{(2)} = \overline{u_j^{(2)}} - 5\sum_{\nu=1}^{j-1} \frac{1}{9+5(\nu-1)} L_\nu^{(2)}$ – рекурентна формула для розрахунку квадратних членів розкладання.

Якщо $j = 1$, $L_1^{(2)} = \overline{u_1^2}$

$L_j^{(3)} = \overline{u_j^{(3)}} - \frac{3}{Б}\overline{u_j}$ – кубічні члени розкладання;

$L_\psi^{(i,\varphi)} = \overline{u_i}\,\overline{u_\psi}$, $i \neq \psi$ – члени парної взаємодії;

$L_з^{(\nu,\varphi,\mu)} = \overline{u_\nu}\,\overline{u_\varphi}\,\overline{u_\mu}$, $\nu \neq \varphi \neq \mu$ – члени потрійної взаємодії.

Всі отримані багаточлени $L_j^{(1)}, L_j^{(2)}, L_j^{(3)}, L_\psi^{(i,\varphi)}, L_з^{(\nu,\varphi,\mu)}$ є взаємноортогональними, в чому можна переконатися безпосередньою перевіркою:

$$\left(L_\beta^{(P)}\right)\left(L_\omega^{(C)}\right) = \int_{-1}^{1}\ldots\int_{-1}^{1} f\left(\overline{u_1}\ldots\overline{u_n}\right)F\left(\overline{u_1}\ldots\overline{u_n}\right)d\overline{u_1}\ldots d\overline{u_n} = 0$$

Для оцінки переваг пропонованого алгоритму вирішувалася тестова задача, описана в [6]. Результати розрахунків представлені в табл. 1 та на рис.1.

Таблиця 1.

Результати розрахунків тестової задачі, оцінки переваг пропонованого алгоритму

Номер коефіцієнта полінома		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Дійсні Значення коефіцієнтів		4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
Коефіцієнти відновлення полінома без врахування зашумлення	МНК	4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
	ортогональні багаточлени	4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
D,% відновлення Коефіцієнта з врахуванням зашумлення	МНК	18,1	11,0	14,8	5,3	19,0	6,9	79,4	22,7	7,2	7,6	93,1	30,0	160
	ортогональні багаточлени	3,5	3,3	3,4	3,0	1,6	2,5	4,6	4,7	4,8	2,2	2,5	2,1	4,8

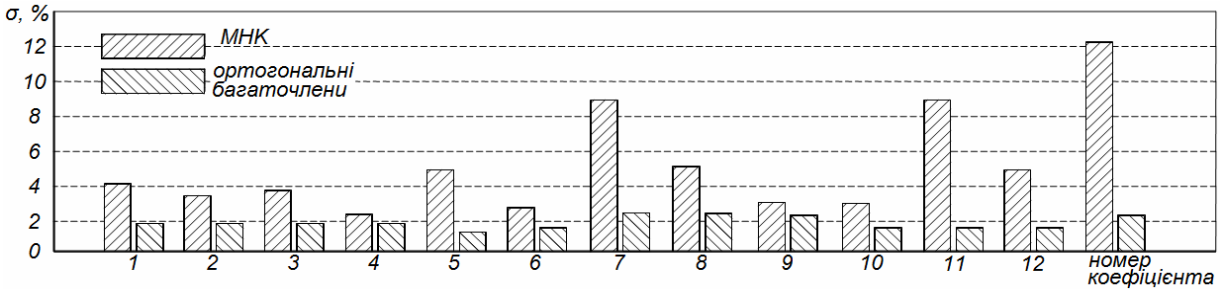


Рис.1 Результати розрахунків відновлення полінома

Як видно з рис. 1, СКВ коефіцієнтів полінома, відновлених за допомогою ортогональних багаточленів, менше СКВ, відновлених за допомогою МНК, при зашумлених вихідних даних $\sigma = 1\%$ в 10... 15 разів, що свідчить про високу ефективність розробленого алгоритму.

Висновки даного дослідження

Запропонована методика створення еталонних моделей просторових об'єктів ГІС за допомогою ортогональних багаточленів дозволяє знайти рішення в умовах погано обумовленої задачі з прийнятним ступенем достовірності розрахунків для прогнозування в ГІС.

Алгоритм може застосовуватись для практичних задач геопросторового моделювання та геостатистичного прогнозування.

Список літературних 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. Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач. Уч. пособие для вузов / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М. : Наука, 1986. – 288 с.
3. Цветков В. Я. Основы геоинформатики: Электронный учебник / В. Я. Цветков. – М-во общ. и проф. образования РФ. Центр информатизации, 1998. – 627 с.
4. Цветков В. Я. Методы прогнозирования в геоинформационных технологиях / В. Я. Цветков // Информатика-машиностроение. – 1999. – № 4. – С. 44–47.
5. Зацерковний В. І. Методика створення еталонних моделей місцевості просторових об'єктів ГІС за допомогою комбінаторного алгоритму / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Вісник ЧДТУ. Збірник. Серія «Технічні науки» № 45. – Чернігів : ЧДТУ, 2010 – С. 206-213.
6. Зацерковний В. І. Методика створення еталонних моделей просторових об'єктів ГІС за допомогою регуляризуючого функціоналу. / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Вісник ЧДТУ. Збірник. Серія «Технічні науки» № 1 (47). – Чернігів : ЧДТУ, 2011 – С. 240-246.
7. Воеводин В. В. Матрицы и вычисления / В. В. Воеводин, Ю. А. Кузнецов. – М. : Наука, 1984. – 318 с.
8. Зацерковний В. І. Методика створення еталонних моделей просторових об'єктів ГІС за допомогою ортогоналізуючого функціоналу. / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Вісник ЧДТУ. Збірник. Серія «Технічні науки» № 2 (49). – Чернігів : ЧДТУ, 2011 – С. 240-246.

УДК: 62.799:628.87

Ю.Г. Мережаний

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ПІДІГРІВ ПОВІТРЯ В ЧИСТИХ ВИРОБНИЧИХ БОКСАХ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНОГО СКЛАДАННЯ ГІРОСКОПІЧНИХ ПРИЛАДІВ

Пропонується вентиляційно-опалювальна система підігріву приточного повітря, призначена для забезпечення гігієнічних і технологічних вимог щодо температурного режиму складальних виробничих приміщень прецизійного гіроскопічного приладобудування. Запропоновано спосіб підігріву приточного повітря, наведено необхідні теплоенергетичні розрахунки.

Вступ

Важливим фактором якості кінцевої продукції прецизійного приладобудівного виробництва, особливо систем орієнтації та навігації, є підтримка параметрів мікроклімату виробничих приміщень (боксів або мікробоксів) у складальних цехах відповідно до вимог технологічного процесу. Постійне підвищення вимог до технічних та експлуатаційних характеристик прецизійних приладів та механізмів вимагає високої точності і стабільності їх характеристик. Похибки, допущенні при виготовленні, складанні й регулюванні, наприклад, гіроскопічних приладів, суттєво впливають на їх точність та надійність [1].

Одним з важливих параметрів мікроклімату виробничих приміщень є температура. Для керування системами опалення і вентиляції зазвичай використовують засоби локальної автоматики, проте, основним недоліком такої методики регулювання є те, що не враховується фактичний повітряний і тепловий баланс приміщення та зовнішні погодні умови. Тому під керуванням засобів локальної автоматики система теплопостачання працює, як правило, не в оптимальному режимі [2].

Ефективність роботи системи опалення й вентиляції можна значно підвищити, якщо, використовуючи математичну обробку теплової поведінки виробничих приміщень, здійснити оптимальне керування системами, засноване на використанні ЕОМ або мікро-ЕОМ та комплексу відповідних технічних і програмних засобів.

Постановка завдання

Метою роботи є створення вентиляційно-опалювальної системи для контролю та керування мікрокліматичними параметрами виробничого боксу з високим класом чистоти для прецизійного складального виробництва, а саме температури, що, крім інших факторів, забезпечує якість та надійність продукції, що випускається на виробництві.

Розрахунок параметрів вентиляційно-опалювальної системи

Кількість енергії, що подається на підігрів повітря, визначається так званим «керуючим впливом». Для визначення керуючого впливу потрібна інформація про властивості й кількість вхідних і вихідних параметрів та умови протікання процесу передачі тепла. Оскільки метою системи керування опалювально-вентиляційним устаткуванням є забезпечення необхідних умов повітряного середовища у виробничому приміщенні (боксі) при мінімальних енергетичних витратах, то за допомогою мікро-ЕОМ можна розрахувати оптимальні варіанти керування і створити відповідні керуючі впливи на систему підігріву повітря. В результаті, мікро-ЕОМ з відповідним комплексом технічних і програмних засобів утворює автоматизовану систему управління тепловим режимом приміщень (АСУ ТРП).

Повітря для опалення виробничого боксу подається в приміщення нагрітим до такої температури t_n щоб у результаті його змішування з внутрішнім повітрям і теплообміну з поверхнею огороджень підтримувалася задана температура приміщення. Отже, кіль-

кість акумульованої повітрям теплоти повинна дорівнювати Q_n – максимальній тепловій потребі для підтримки в приміщенні розрахункової температури $t_н$:

$$Q_П = G_{ОТ}(t_Г - t_В)$$

Звідси витрати нагрітого повітря $G_{ОТ}$, кг/с для опалення приміщення дорівнює:

$$G_{ОТ} = Q_П /(c(t_Г - t_В)), \quad (1)$$

де c – питома масова теплоємність повітря, рівна 1005 Дж/(кг•К), $t_Г$ – температура гарячого повітря, $t_В$ – температура внутрішнього повітря.

Для того, щоб розрахувати витрати повітря в кг/год теплової потреби приміщення у Вт (Дж/с), треба виразити значення в Дж/год, тобто помножити на 3600 с.

Обсяг повітря, що подається, $L_{ОТ}$, м^3/год , при температурі нагрітого повітря буде:

$$L_{ОТ} = \mathrm{G}_{\mathrm{ОТ}} / \rho_{\mathrm{Г}}. \quad (2)$$

Повітрообмін у приміщенні $L_П$, м^3/год, дещо відрізняється від $L_{ОТ}$, тому що визначається вже при температурі внутрішнього повітря $t_В$:

$$L_П = \mathrm{G}_{\mathrm{ОТ}} / \rho_В, \quad (3)$$

де $\rho_Г$ і $\rho_В$ – щільність повітря, кг/м^3, при його температурі відповідно $t_Г$ і $t_В$.

Температура повітря $t_Г$ повинна бути якомога більш високою для зменшення, як це видно з рівняння (1), кількості повітря, що подається. У зв'язку з цим відповідно скорочуються розміри каналів, а також знижуються витрати електроенергії при механічному спонуканні руху повітря.

Однак правилами гігієни встановлюється верхня межа температури – повітря не слід нагрівати вище 60 °С, щоб воно не втратило своїх властивостей як середовище, що вдихається людьми. Ця температура й приймається як гранична для систем повітряного опалення приміщень з постійним або тривалим (більше 2 годин) перебуванням людей. Якщо люди піддаються тривалому безпосередньому впливу струменя нагрітого повітря, то межу температури рекомендується знижувати до 25°С. Відхилення від цього загального правила роблять лише для повітряно-теплових завіс. Для завіс у зовнішніх воріт і технологічних проходів, що виходять назовні, допускається підвищення температури повітря, що подається, до 70°С, а для завіс у зовнішніх вхідних дверей – до 50°С.

Конкретні значення температури повітря при повітряному опаленні пов'язані зі способами його подачі з повітророзподільників і залежать від того, чи подається повітря вертикально зверху вниз, похило в напрямку робочої зони або горизонтально у верхній зоні приміщення.

За формулою (1) визначають кількість повітря, що подається в приміщення тільки з метою його опалення, тоді систему влаштовують рециркуляційною. Коли ж повітряна система опалення є одночасно й системою вентиляції, кількість повітря, що подається в приміщення, встановлюють наступним чином:

• якщо $G_{ОТ} \geq G_{ВЕНТ}$ (кількість повітря для опалення виявляється рівною кількості повітря. необхідного для вентиляції або перевищує його), то зберігають кількість і температуру опалювального повітря, а систему вибирають прямоточною або з частковою рециркуляцією;

• якщо $G_{ВЕНТ} > G_{ОТ}$ (кількість вентиляційного повітря перевищує кількість повітря, яке необхідне для опалення), то орієнтуються на кількість повітря, яке потрібне для вентиляції, систему роблять прямоточною, а температуру повітря, що подається в приміщення, обчислюють за формулою:

$$t_Г = t_В \div Q_П /(cG_{ВЕНТ}), \quad (4)$$

Кількість повітря для опалення приміщення або його температуру зменшують, якщо в приміщенні є постійні тепловиділення. При центральній опалювально-вентиляційній системі температура нагрітого повітря, що визначається за формулою (4), може вияви-

тися для кожного приміщення різною. Після уточнення повітрообміну визначають теплові витрати на нагрівання повітря за такими формулами:

для рециркуляційної системи повітряного опалення

$$Q = G_{OT}c(t_Г - t_B); \quad (5)$$

для частково рециркуляційної опалювально-вентиляційної системи

$$Q = G_{OT}c(t_Г - t_B) + G_{ВЕНТ}c(t_B - t_H); \quad (6)$$

для прямоточної опалювально-вентиляційної системи

$$Q = G_{ВЕНТ}c(t_Г - t_H), \quad (7)$$

де G_{OT} і $G_{ВЕНТ}$ – витрати повітря, кг/с, для цілей опалення та вентиляції; t_H – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення.

У формулі 6 кількість рециркуляційного повітря $G_{РЕЦ} = G_{ОТ} - G_{ВЕНТ}$, оскільки $G_{ОТ}$ виражає кількість змішаного повітря, нагрітого до температури 1Г с метою опалення приміщення [3].

Відповідно до СНіП 2.04.05-86 температура $t_В$, відносна вологість $\varphi_В$ і швидкість руху повітря v у виробничому приміщенні повинні відповідати їх допустимим значенням, і залежать від характеристики приміщення та категорій робіт, що в ньому виконуються. У випадку складального виробництва прецизійних приладів категорія робіт визначається як «легка». Значення параметрів для холодного, перехідного та теплого періодів року для даної категорії робіт наведено в таблиці 1 [2].

Таблиця 1

Значення параметрів для холодного, перехідного та теплого періодів року

Період року	Температура повітря $t_В$, °С	Відносна вологість повітря $\varphi_В$, %, не більше	Швидкість руху повітря v, м/с, не більше
Холодний та перехідний	17-22	75	0,3
Теплий	28	55	0,3-0,5
	27	60	0,3-0,5
	26	65	0,3-0,5
	25	70	0,3-0,5
	24	75	0,3-0,5

Для дотримання комфортних умов для робітників виробництва у приміщеннях варто підтримувати оптимальні параметри повітря. Застосування оптимальних або близьких до них параметрів повітря рекомендується, якщо підтримка їх не викликає додаткових витрат або науково-експериментального обґрунтування техніко-економічної доцільності капітальних витрат й експлуатаційних витрат, пов'язаних з забезпеченням таких параметрів. Значення оптимальних параметрів для створення комфортних умов у виробничих приміщеннях наведені в таблиці 2 [2].

Таблиця 2

Значення оптимальних параметрів для створення комфортних умов у виробничих приміщеннях

Період року	Температура повітря $t_В$, °С	Відносна вологість повітря $\varphi_В$, %	Швидкість руху повітря v, м/с
Холодний та перехідний	20-22	60-30	0,2
Теплий	22-25	60-30	0,2-0,5

Розрахунки теплових витрат на нагрівання повітря для створення оптимальних параметрів мікроклімату виробничого приміщення слід виконувати виходячи з реальних

умов виробництва. При проведенні розрахунків, виходячи з специфіки поставленого перед автором завдання, будемо орієнтуватися на приладобудівні підприємства, що територіально розміщуються у місті Києві (Україна). Середньорічна температура повітря в Києві становить 7,7 °С, найвища вона в липні (19,3°С), найнижча – у січні (-5,6°С). Розподіл температури повітря по місяцях наведено в таблиці 3 [4].

Таблиця 3

Розподіл температури повітря по місяцях

Температура	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII	Рік
Середня	-5,6	-4,2	0,7	8,7	15,1	18,2	19,3	18,6	13,9	8,1	2,1	-2,3	7,7
Денна максимальна	-3	-2	3	12	20	23	25	24	19	12	4	-1	11
Нічна мінімальна	-9	-8	-3	3	10	13	15	14	9	4	-1	-5	2

В якості початкових параметрів для розрахунку теплових витрат на опалення виробничого приміщення (боксу) об'ємом 50 м^3 візьмемо наступні дані:

• температура повітря в каналі 45 °С;
• середня температура повітря в приміщенні:
  для холодного та перехідного періодів року 21 °С;
  для теплого періоду року 23,5 °С;
• теплові втрати приміщення 2000 Вт.

Сучасний підхід до прецизійного складання гіроскопічних приладів та систем орієнтації та навігації передбачає використання промислових боксів та мікробоксів з певними параметрами мікроклімату, а саме: значення температури повітря, яке буде присутнє у виробничому боксі; кількість повітря, що необхідно подавати в бокс (цей параметр також є важливим для створення інших параметрів мікроклімату виробничого приміщення); кількість теплових витрат для підтримання заданих значень температур.

Для визначення параметрів мікроклімату промислового боксу за формулами 1, 2 і 3 визначили кількість підігрітого повітря, яке необхідно подавати у виробниче приміщення (бокс) для підтримки заданої температури.

В результаті проведених розрахунків отримали наступні дані:

• кількість повітря, яке необхідно подавати в бокс:
  для холодного та перехідного періодів року $G_{ОТ}$ = 298,5 кг/год;
  для теплого періоду року $G_{ОТ}$ = 333,2 кг/год;
• об'єм повітря, яке необхідно подавати в бокс:
  для холодного та перехідного періодів року $L_{ОТ}$ = 268,92 м^3/год;
  для теплого періоду року $L_{ОТ}$ = 300,2 м^3/год;
• повітрообмін в боксі:
  для холодного та перехідного періодів року $L_{П}$ = 247,7 м^3/год;
  для теплого періоду року $L_{П}$ = 276,5 м^3/год.

За формулою (6) розраховано теплові витрати на підігрів повітря для частково рециркуляційної вентиляційної системи підігріву приточного повітря, якщо об'єм зовнішнього повітря, що подається в бокс, $L_{ВЕНТ}$ = 110 м^3/год. Для цього із кожного з теплових періодів року визначили найменше значення температури з таблиці 3.

В результаті проведених розрахунків отримали наступні дані:

• мінімальна температура зовнішнього повітря:
  для холодного та перехідного періодів року $t_{Н}$ = -9 °С;
  для теплого періоду року $t_{Н}$ = 3 °С;

- теплові витрати на підтримку заданої температури в боксі:
  для холодного та перехідного періодів року Q = 3073,05 Вт;
  для теплого періоду року Q = 2628,95 Вт;
- об'єм рециркуляційного повітря:
  для холодного та перехідного періодів року $L_{РЕЦ}$ = 147,7 м^3/год;
  для теплого періоду року $L_{РЕЦ}$ = 176,5 м^3/год.

Висновки

В роботі запропоновано вентиляційно-опалювальну систему для підігріву приточного повітря у виробничих боксах приладобудівного виробництва, призначених для складання прецизійних гіроскопічних приладів та систем орієнтації і навігації. З розглянутих варіантів принципу побудови вентиляційної системи обрано прямоточну систему вентиляції повітря з рециркуляцією як найбільш ефективну для вирішення поставленої задачі.

Проведені розрахунки дають можливість оцінити значення робочих параметрів виробничого боксу, що необхідні для забезпечення комфортних умов для роботи працівників виробництва та забезпечення вимог технологічного процесу для холодного, перехідного та теплого періодів року. Результати розрахунків показують, що запропонована вентиляційно-опалювальна система для чистого виробничого боксу є ефективною з точки зору енергетичних витрат на вентиляцію та опалення, і створює необхідні умови для реалізації інших параметрів мікроклімату, таких як запиленість повітря, перепад тиску і вологість повітря.

Список літературних джерел

1. Павловский М.А. Влияние погрешностей изготовления и сборки гироприборов на их точность. / Михаил Антонович Павловский. – К.: Издательство Киевского университета, 1973. – 192 с.
2. Государственный таможенный комитет РФ ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. Пособие по проектированию автоматизированных систем управления микроклиматом производственных зданий. – М.: Стройиздат, 1989.
3. Сканави А.Н., Махов Л.М. Отопление: учебник для вузов, обучающихся по направлению «Строительство», специальности 290700/ Л.М. Махов. / Александр Николаевич Сканави. – М.: АСВ, 2002. – 576с.: ил.
4. METEOPROG.UA - Клімат Києва [Електронний ресурс] / В.І. Вішневський. – 2007. – Режим доступу до ст.: http://www.meteoprog.ua/ua/climate/Kyiv/

УДК 632.953:635.21

І.В.Демчук , канд.с/г.наук**,**

Інститут сільськогосподарської мікробіології Національної Академії аграрних наук України

Ж.В.Замай, канд.техн.наук**,**
А.М.Пустовойт, студент,

Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка, Україна

І. В.Волкова, н.с**.**

Інститут сільськогосподарської мікробіології Національної Академії аграрних наук України

ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ДЛЯ АДАПТАЦІЇ РОСЛИН КАРТОПЛІ IN VITRO ДО УМОВ IN VIVO

Досліджено можливість підвищення адаптивної здатності рослин картоплі in vitro до умов ґрунту за допомогою біопрепаратів «Фітодоктор», «Мікосан», «Оптім-гумус» та «Кладостим». Визначено ауксинову, цитокінінову, гіберелінову активність їх розчинів та вивчено вплив біопрепаратів на ріст та продуктивність мікророслин картоплі при переведенні в умови in vivo. З'ясовано, що серед досліджуваних розчинів найбільшу активність за біотестами виявляє біопрепарат «Оптім-гумус», а на продуктивність рослин найкраще впливають препарати «Фітодоктор», «Кладостим», «Мікосан».

Постановка проблеми

Під впливом вірусної інфекції погіршуються ріст і розвиток рослин, знижуються їх врожайність та якість. Вірусні інфекції в насінному матеріалі картоплі накопичуються, і прояви ознак хвороб прогресують зі збільшенням числа польових репродукцій: за п'ять років репродукування ураженість вірусними хворобами зростає до 100%, а продуктивність знижується втричі [1].

Сьогодні вихідний матеріал для відтворення еліти сортів картоплі отримують із застосуванням методів біотехнології, тобто проводять оздоровлення матеріалу із застосуванням методів культивування меристем, у поєднанні з термо- та хіміотерапією експлантів та наступним мікроклональним розмноженням оздоровленого матеріалу [2]. Штучно створена екосистема для живців картоплі *in vitro* призводить до надзвичайно низького коефіцієнту приживання мікророслин в умовах відкритого ґрунту, що обумовлюється особливим культуральним фенотипом пробіркових рослин. А саме, швидкість асиміляції CO_2 цих рослин нижче, ніж у рослин відкритого ґрунту на порядок, провідна система знаходиться в незрілому стані, значно редуковані судини ксилем, інактивована продихова регуляція.

Отже, рослини, що росли в стерильних умовах на штучному середовищі, при пересаджуванні з пробірки в ґрунт піддаються глибокому стресу, який продовжується до тих пір, доки вказані системи не прийдуть в норму, тобто доки не закінчиться їх переадаптація [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що одним з чисельних шляхів вирішення цієї проблеми є зміна гормонального статусу рослин *in vitro* під дією екзогенних регуляторів росту, які додаються в поживне середовище під час останнього живцювання. Цей прийом забезпечує кращу приживлюваність рослин, позитивно впливає на їх ріст і розвиток в умовах *in vivo* [4, 5].

Актуальним є дослідження в напрямку збільшення адаптивної здатності мікророслин до умов *ex vitro*, зокрема, з використанням біопрепаратів.

Формулювання цілей роботи

Метою даної роботи було дослідження можливості підвищення адаптивної здатнос-

ті рослин картоплі *in vitro* до умов ґрунту за допомогою біопрепаратів: «Фітодоктор», «Мікосан», «Оптім-гумус» та «Кладостим». Для цього визначали ауксинову, цитокінінову, гібереліновую активність робочих розведень розчинів біопрепаратів і досліджували їх вплив на ріст, розвиток та продуктивність мікророслин картоплі при переведенні в умови *in vivo*.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для виявлення фізіологічної активності та робочих розведень розчинів біопрепаратів користувались методиками специфічних біотестів [6, 7] та тест-рослинами: озимою пшеницею (ауксини), огірком (цитокініни) та кукурудзою (гібереліни).

Застосовували біопрепарати:

«Оптім-гумус» – гумінове універсальне добриво (ТУ У 24.1-05540184-004-2007, ПП Науково-інноваційний комплекс «Екологія» Херсонська обл., Україна) з гумусу, виробленого каліфорнійськими хробаками. Є дуже ефективним комплексним біодобривом для насіння, квітів та багатьох інших рослин саду і городу. Використовується успішно при пересадці розсади квітів і саджанців молодих дерев, а також все літо при поливі і як добриво для листя. Препарат збільшує рухливість біогенних елементів ґрунту, стимулює розмноження ґрунтових бактерій, стимулює ріст розсади і коренеутворення. Також збільшує стійкість до несприятливих умов під час засухи або зниженні температур.

«Фітодоктор» – бактеріальний препарат ДП «ЕНЗИМ» (ТУ У 24.2-32813696 007:2007 виробництво «ЕНЗИМ», м. Ладижин, Україна). Це порошковий біологічний препарат пролонгованої дії для профілактики та лікування сільськогосподарських рослин від комплексу грибних та бактеріальних хвороб. Основою препарату є жива спорова бактерія *Bacillus subtilis*, яка продуктами своєї життєдіяльності пригнічує розмноження багатьох фітопатогенних грибів і бактерій, а також сприяє підвищенню імунітету й стимулює розвиток рослин.

«Мікосан» – препарат-імуностимулятор (ТУ У 24.2-23710945-003-2001, ТОВ «Міктон-Аглікон», м. Боярка Київської обл.). Діючою речовиною є специфічні полісахариди, глюкани і олігохітин, які стимулюють в рослинних клітинах синтез ферментів, внаслідок чого препарат забезпечує високу і пролонговану захисну дію на рослини: підвищується стійкість до екстремальних кліматичних умов, зростає поглинання макро- та мікроелементів, підвищується урожай.

«Кладостим» – стимулятор росту (Інститут сільськогосподарської мікробіології НААН). Містить комплекс фітогормонів (ауксинів, гіберелінів, цитокінінів), еліситорів (арахісова кислота) і мікроелементи. Препарат активує синтез усіх форм РНК, а також ДНК і білків, стимулює поділ клітин, ріст стебел, провідних пучків, коренів. Арахідова кислота як біогенний еліситор, індукує у тканинах рослин системну імунну відповідь на дію несприятливих умов, підвищує стійкість рослин до збудників хвороб, низьких температур та інших негативних чинників. При застосуванні Кладостиму поліпшується якість вирощеної продукції та суттєво зростає урожайність сільськогосподарських культур.

Робочі розчини препаратів готували за інструкціями виробників.

Для дослідження впливу біопрепаратів, які вивчались, на адаптацію рослин *in vitro* до умов відкритого ґрунту використовували мікроклон картоплі сорту Жуковська рання з колекції оздоровлених сортів ІСГМ НААН. Для цього оздоровлені рослини *in vitro* висаджували у плівкові рулони і підрощували в парниках впродовж трьох тижнів. У відкритий ґрунт розсаду висаджували по варіантах (300 рослин у варіанті):

1 – контроль – обробіток кореневої системи розсади чистою водою;

2 – обробіток препаратом Фітодоктор (20 г на 1,5л);

3 – обробіток препаратом Кладостім (10 г на 10 л);

4 – обробіток препаратом Оптімгумус (10 г на 10 л);

5 – обробіток препаратом Мікосан (150 г на 10 л).

Догляд за насадженнями (прополювання, окучування, захист від шкідників) проводили на всіх ділянках однаково. Статистичне оброблення отриманих результатів здійснювали згідно методик статистичних аналізів у сільському господарстві і біології [8] та набору комп'ютерних програм STATISTICA 6.0.

В результаті досліджень фізіологічної активності біопрепаратів виявилось, що препарати «Фітодоктор» та «Оптимгумус» мають значну ауксинову активність (136,4 та 124,2%), а «Мікосан» в рекомендованій концентрації має достовірний інгібуючий ефект і при розведенні 1:100 не відрізняється від контролю (табл.1).

Таблиця 1.

Вплив досліджуваних речовин та їх концентрацій на приріст відрізків колеоптилів 3-добових проростків пшениці.

Варіант	Приріст відрізків колеоптилів, мм			SD	$\bar{x}$, %
	min	max	$\bar{x} \pm$ SE		
Вода (К)	2,0	4,0	3,3±0,21	0,674949	100,0
ІОК,10^{-5} М	5,0	10,0	6,7±0,33*	1,490320	203,0
Фітодоктор	2,0	6,0	4,5±0,28*	1,277333	136,4
Оптимгумус	3,0	6,0	4,1±0,22*	1,020836	124,2
Мікосан	1,0	2,0	1,3±0,10*	0,444262	37,9
Мікосан, 1:100	2,0	5,0	3,0±0,18	0,825578	89,4

Примітка. * виділені значення, які достовірно відрізняються від контролю за *t*-тестом

За результатами вагового біотесту на сім'ядолях огірка (табл.2) найбільшу цитокінінову активність мали препарати «Оптімгумус» та «Мікосан» у розведенні 1:100 (відповідно 163,2 і 123,7%). «Фітодоктор» показав незначну цитокінінову активність. Розчин препарату «Мікосан» був дуже концентрований, внаслідок чого сім'ядолі огірка зменшились в початковій масі та розмірах (в клітинах пройшла дегідратація).

Таблиця 2.

Вплив досліджуваних речовин та їх концентрацій на приріст маси ізольованих сім'ядолей огірка

Варіант	Маса проб, мг		Приріст маси проб, мг	Приріст маси проб, %
	початкова	кінцева		
Вода (К)	251	289	38	100,0
Кінетин, 10^{-5}М	249	425	176	463,2
Фітодоктор	251	260	9	23,7
Оптім-гумус	252	314	62	163,2
Мікосан	253	245	-8	-21,1
Мікосан, 1:100	251	298	47	123,7

Результати біотесту на гіберелінову активність (табл. 3) доводять, що препарат «Оптім-гумус» має гіберелінову дію (118%). Результати, отримані під час використання Фітодоктору та Мікосану, мають достовірні відмінності від контролю (гіберелінової активності немає).

Таким чином, при дослідженні фізіологічної активності препаратів методом біотестування виявилось, що препарат «Фітодоктор» має виражену ауксинову дію на рівні 136,4%, «Оптимгумус» проявляє комплексну дію (ауксинова активність 124,2%, цитокінінова – 163,2%, гіберілінова – 118,0%), а робочий розчин препарату «Мікосан» проявляє фітотоксичну дію, тоді як концентрація 1:100 має цитокінінову активність на рівні 123,7%.

Таблиця 3.

Вплив досліджуваних речовин та їх концентрацій на приріст відрізків 6-добових проростків кукурудзи

Варіант	Приріст відрізків колеоптилів, мм			SD	$\bar{x}$, %
	min	max	$\bar{x}$ ± SE		
Вода (К)	3,0	10,0	6,4±0,46	2,036509	100,0
ГК,10^{-5} М	4,0	13,0	7,7±0,61	2,719810	119,5
Фітодоктор	2,0	12,0	**4,6±0,52***	2,326054	71,9
Оптим-гумус	5,0	11,0	7,6±0,37	1,669384	118,0
Мікосан	0,0	3,0	**0,9±0,19***	0,852242	14,1
Мікосан, 1:100	2,0	10,0	5,4±0,44	1,984148	84,4

Примітка. * виділені значення, які достовірно відрізняються від контролю за *t*-тестом

Названі біопрепарати, а також експериментальний препарат «Кладостим» було апробовано при вирощуванні оздоровленого матеріалу картоплі сорту Жуковська рання (табл. 4). Достовірно збільшувалась маса клонів під впливом препаратів «Фітодоктор», «Кладостим», «Мікосан» – від 287,6 до 195,3 %. Ці препарати збільшували масу бульб на 216,0 % («Кладостим»), 200,7 % («Фітодоктор») та 166,7 % («Мікосан»). Кількість бульб у клонах збільшувалась неістотно, що пояснюється більш вагомим впливом погодного фактору під час вегетації. Дані структури урожаю рослин у варіанті із застосуванням препарату «Оптим-гумус» не мають достовірних відмінностей від контролю. Можливо, однократного обробітку рослин цим препаратом було недостатньо для отримання істотної прибавки урожаю.

Таблиця 4.

Вплив біопрепаратів на продуктивність рослин картоплі сорту Жуковська рання у першому бульбовому поколінні

Варіант	Маса клону		Кількість бульб		Маса бульб	
	г	%	г	%	г	%
Контроль	27,4±5,86	100	3,1±0,55	100	8,5±065	100
Мікосан	**53,5±7,77***	195,3	3,9±0,55	124,6	**14,2±1,52***	166,7
Кладостім	**59,2±7,51***	216,1	3,4±0,50	108,6	**18,4±1,21***	216,0
Фітодоктор	**78,8±8,10***	287,6	4,9±0,77	156,5	**17,1±0,92***	200,7
Оптим-гумус	35,5±5,82	129,6	3,9±0,48	124,6	9,1±1,21	106,8

Примітка. * виділені значення, які достовірно відрізняються від контролю за *t*-тестом

Висновки

Таким чином, виявлення ауксинової активності на рівні 136,4% у біопрепараті «Фітодоктор», комплексної дії (ауксинова активність 124,2%, цитокінінова – 163,2%, гіберілінова – 118,0%) у біопрепараті «Оптім-гумус» дозволяє рекомендувати їх, як і експериментальний препарат «Кладостим», до застосування в технології адаптації рослин картоплі *in vitro* до умов *in vivo*.

З'ясовано, що препарат «Мікосан» при вирощуванні картоплі з рослин *in vitro* слід застосувувати у розведенні 1:100, при якому він виявляє цитокінінову активність на рівні 123,7%.

Список літературних джерел

1. Кинчарова М. Контроль качества семенного картофеля как залог высоких урожаев // Картофельная система. – 2009. – № 2. – С.18-19.
2. Демчук І.В., Зарицький М.М., Дерев'янко С.В., Петренко О.М., Волкова І.В., Лебідь Л.М. Насінництво: теорія і практика прогнозування продуктивності сортів та гібридів за якістю насіння та садивного матеріалу: Наукові праці південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». – Сімферополь, 2009. – Вип. 127. – С. 334- 337.
3. Реуцкий В.Г., Родионов П.А., Зубей Е.С., Ашихмина Н.С. Жизнеспособность растений картофеля in vitro. Анализ проблемы и методика оценки // Картофелеводство: сб. науч. тр. / РУП «Науч.-практ. Центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». – Минск, 2007. – Т. 12. – С. 93-104.
4. Зубкевич О.Н. Использование биологически активных веществ в пробирочной культуре оздоровленных растений картофеля как способ повышения их продуктивности и болезнеустойчивости / Защита растений: Сб. науч. тр. НИРУП "БелИЗР". – Минск, 2004. – Вып. 28. – С. 97-105.
5. Зубкевич О.Н., Авдей В.Н., Середа Г.М. Эффективности эпина и эмистима С при размножении оздоровленных растений картофеля / Защита растений: Сб. науч. тр. РУП "Институт защиты растений НАН Беларуси". – Минск, 2005. – Вып. 29. – С. 112-121.
6. В.И.Кефели, Р.Х.Турецкая, Э.М.Коф, П.В.Власов. Определение биологической активности свободных ауксинов и ингибиторов роста в растительном материале //Методы определения фитогормонов, ингибиторов роста, дефолиантов и гербицидов. – М.: Наука, 1973. – С. 7-21.
7. Методические рекомендации по определению фитогормонов. – К.: Институт ботаники АН УССР, 1988. – С.41-45.
8. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології: Навч. посіб. / О.М.Царенко, Ю.А.Злобін, В.Г.Скляр, С.М.Панченко. – Суми: Університетська книга, 2000. – 203 с.

УДК 658.56

Ю. Іванова, викладач,
О.Менайлов, канд.техн.наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна
О.Гавриленко, головний інженер,
Т.Кириченко, завідувач хімічною службою.
ВАТ «Облтеплокомуненерго», м. Чернігів, Україна

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ВАТ «ОБЛТЕПЛОКОМУНЕНЕРГО» ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ ШУХАРТА

Проведено аналітичні та експериментальні дослідження і розроблено рекомендації для вдосконалення нормативної документації ВАТ «Облтеплокомуненерго».

Постановка проблеми

Відомо, що Держспоживстандарт України вважає актуальним завданням *«…організовувати широкомасштабну просвітницьку кампанію щодо залучення …бізнесу до…використання сучасних міжнародних і європейських стандартів* [1]*», оскільки «…стандартизація має бути ефективним засобом розвитку та модернізації української економіки* [2]».

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Особлива роль у системі управління якістю (СУЯ) приділяється [3] статистичному контролю і управлінню з використанням контрольних карт Шухарта–Вестгарда, але ДСТУ ISO 8258 – 2001 «Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта» [4], введений в Україні майже 10 років тому, у багатьох виробництвах Чернігівщини не використовується.

Особливої уваги, на нашу думку, потребує впровадження контрольних карт Шухарта у процес отримання продукції ВАТ «Облтеплокомуненерго» – організації, яка цілодобово забезпечує 56 000 абонентів власною продукцією, – опаленням та гарячою водою, і підтримка безпеки та якості продукції і процесів (ЯПП) для такої організації є дуже важливою, оскільки недоліки в роботі організації можуть негативно впливати не тільки на економічну ефективність, а і на довкілля та здоров'я громадян.

Метою даної роботи є розробка рекомендацій для вдосконалення нормативної документації (НД) ВАТ «Облтеплокомуненерго» з розробкою контрольних карт Шухарта.

Для досягнення поставленої мети були визначені і вирішені такі завдання дослідження:

- встановити основні технологічні етапи, на яких формуються ризики (для суспільства і довкілля) розвитку негативних процесів та можливість їх запобігання шляхом вдосконалення і впровадження нормативної документації,
- науково обґрунтувати рекомендації для вдосконалення НД ВАТ «Облтеплокомуненерго» з використанням контрольних карт Шухарта.

Методика досліджень

В ході теоретичних досліджень використовуються фундаментальні положення основ теорії управління якістю [5]. Аналітичні дослідження проведено згідно з стратегією удосконалення процесу за ДСТУ ISO 8258-2001 [4, С. 12], розраховано показники середніх значень ($\overline{X}$) та розмахів (R) вибірок; верхня контрольна межа (ВКМ), центральна лінія (ЦЛ), нижня контрольна межа (НКМ) для $\overline{X}$, R-карт, визначено індекс можливості розглянутих процесів (ІМП).

Експериментальні дослідження проведено в реальних умовах функціонуючого виробництва ВАТ «Облтеплокомуненерго», якому і передано результати даних досліджень для їх впровадження. Проаналізовані в технологічному процесі контроль і хімічна підготовка мережної води. Відбір та аналіз на твердість (Т) зразків пом'якшеної холодної води і на лужність (Л) зразків нагрітої котлової води здійснювались згідно з діючими методиками та рекомендаціями [6-9]. Згідно з п.10.4 [4, С. 12] обрано 25 підгруп обсягом n=5 одиниць вимірювань у підгрупі, число підгруп позначено k. Одиниці кожної підгрупи об'єднані на основі важливого чинника – усі вони зроблені за однаковий інтервал часу – через кожні 2 години на протязі робочої зміни.

Результати досліджень та їх обговорення

Для визначення етапів виробництва, що формують ризики розвитку негативних процесів для суспільства і довкілля і потребують вдосконалення **НД ЯПП,** розглянемо схему виробництва цієї продукції, представлену нами на рис.1. На схемі виділено шість етапів, які мають відношення до теми даного дослідження.

На етапі 1 холодна жорстка вода від водоканалу потрапляє до котельні ВАТ, де на етапі 2 за допомогою Na-катіонітового фільтру відбувається очищення води від катіонів твердості – кальцію і магнію, тому що сполуки кальцію і магнію є активними накипоутворювачами, викликають звужування внутрішнього діаметру трубопроводів, порушення роботи трубопроводів та устаткування, їх руйнацію. Виробничий досвід ВАТ « Облтеплокомуненерго» свідчить, що твердість зм'якшеної води залежить від багатьох факторів, але на протязі однієї зміни (при нормальному функціонуванні устаткування) значення показника твердості суттєво не змінюється. Твердість води на протязі окремих змін може мати різні значення, залежить від функціонування устаткування (наприклад, можливе пошкодження запорної арматури фільтру, зокрема, задвижки взрихлення, крізь яку відбувається проскок твердої води.). На якість роботи Na-катіонітового фільтру негативно впливає наявність у воді солей заліза і міді, твердих та абразивних частинок розміром понад 100 мкм. Характер зміни показників твердості пом'якшеної води під час деяких періодів аналізування представлено нами на рис. 2а.

На етапі 3 очищена вода нагрівається, і під час нагрівання та випаровування води важливо не допустити підвищення її лужності, що може викликати міжкристалічну корозію обладнання, забруднення пару [8, 9] і поступово привести до негативних подій, терміни яких важко передбачити. Зміна лужності води під час експерименту представлена нами на рис. 2б, лужність на протязі однієї зміни безперервно зростає.

Більшість етапів розглянутого виробництва продукції пов'язані з роботою насосів, і відмова насосів тимчасово унеможливлює виконання умов договорів на постачання теплової енергії і гарячої води ВАТ «Облтеплокомуненерго», але не створює значних умов розвитку негативних для суспільства і довкілля процесів.

На етапі 4 і 5 руйнація трубопроводів під впливом неякісної води гарячої (ВГ) може викликати втрату продукції, а також створювати загрозу для громадян і довкілля, як свідчать численні випадки у різних регіонах України – просідання доріг, будинків, травмування та загибель людей [10].

Втрата гарячої води через зруйновані водні комунікації особливо небезпечна для територій, що зазнають значного техногенного навантаження, створює небезпеку для життя і майна громадян, а також довкілля. До того ж виробництво змушено буде виробляти додаткову продукцію, щоб забезпечити споживача згідно з договором, тобто збільшувати забруднення довкілля додатковим використанням газу, енергії.

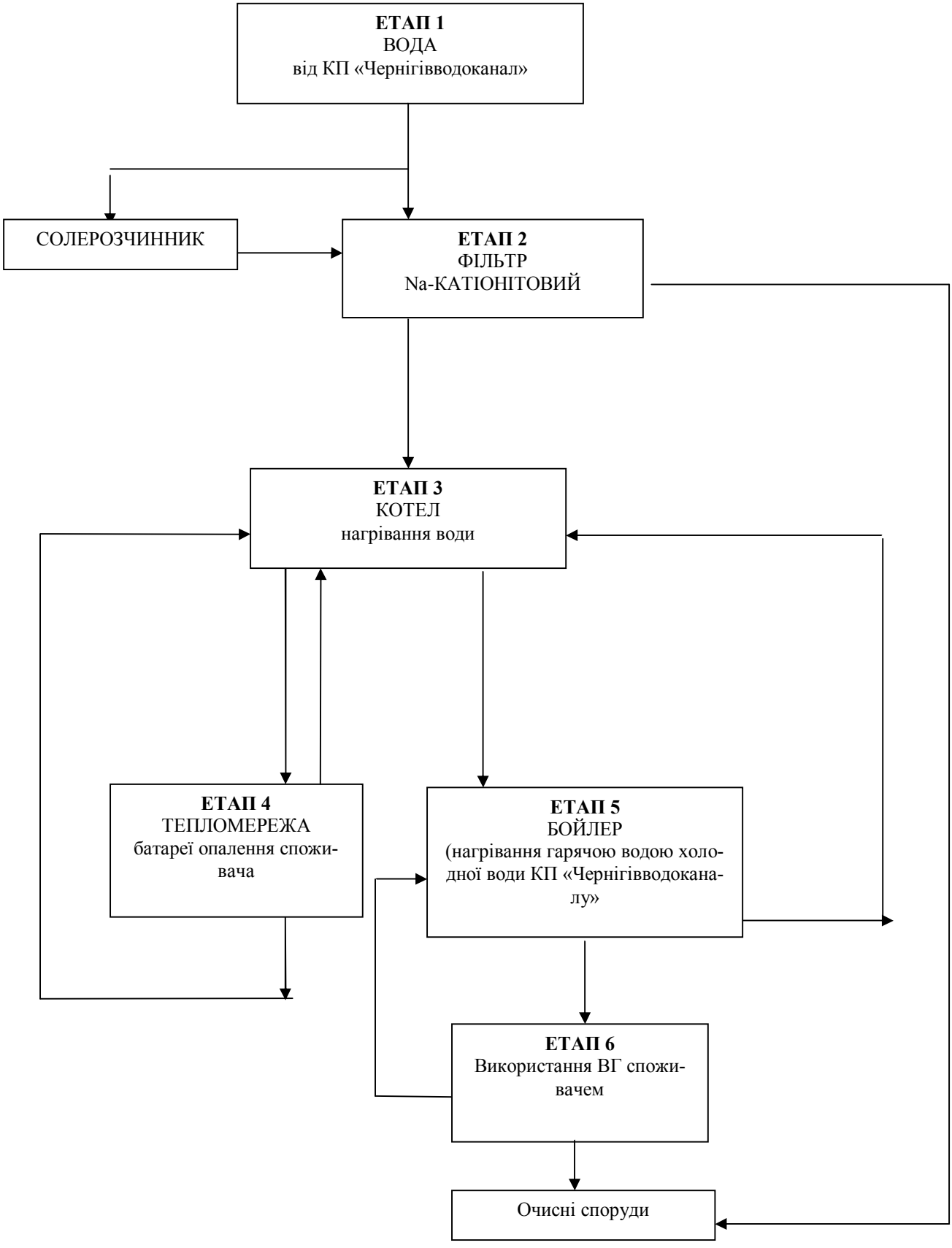
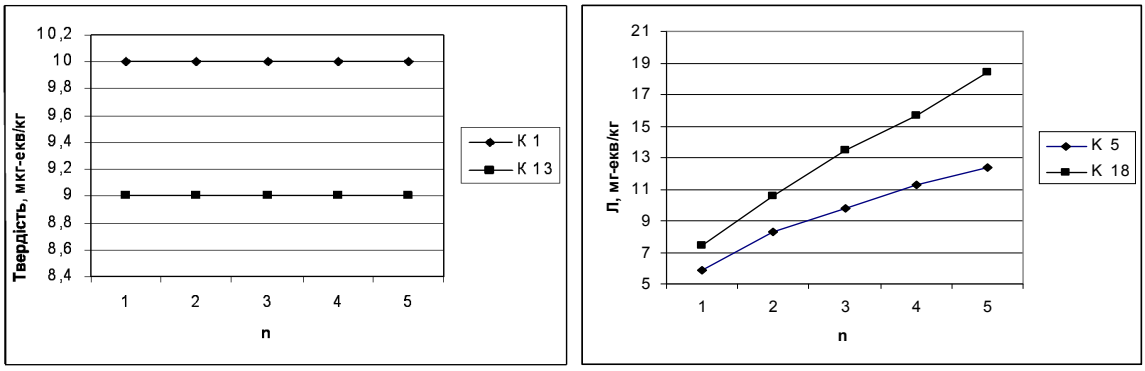


Рис.1 Устаткування та основні технологічні етапи виготовлення продукції ВАТ «Облтеплокомуненерго»

А бажана відсутність перерахованих негативних процесів разом з іншими заходами щодо модернізації устаткування, зменшення викидів CO_2 в атмосферне повітря і економія палива, дозволить ВАТ «Облтеплокомуненерго» успішно функціонувати, і, зокрема, забезпечить виконання умов Кіотського протоколу в 2011 – 2012 р.р. [11].



а) б)

Рис. 2. Зміна показників твердості і лужності води на протязі окремих робочих змін

На етапі 6 після отримання і використання споживачем гарячої води утворюється забруднена вода, яка поступає до Водоканалу, де очищується фізико-хімічними методами, а також активним мулом.

Із розгляду життєвого циклу продукції відповідно до розглянутої схеми (тверда вода – холодна пом'якшена вода – гаряча вода) виявляється, що погіршення ЯПП, втрати продукції на будь-якому етапі викликають додаткове використання водних ресурсів (і, відповідно, додаткове використання енергії), але особливої уваги потребують етапи 2 і 3 щодо контролю твердості і лужності води, тому що саме ці етапи формують довгострокові ризики для суспільства і довкілля розвитку негативних процесів. Оскільки існуюча у ВАТ «Облтеплокомуненерго» НД ЯПП регламентує визначення абсолютних значень показників і не враховує розмахи показників (обумовлені специфікою виробництва), що уповільнює прогнозування, прийняття управлінських рішенн та активні дії (які саме і передбачає *моніторинг* як доповнення до терміну *контроль* [12]), виявлено необхідність вдосконалення процесу побудови нормативних документів з питань забезпечення ЯПП.

Відомо, що організація, яка зорієнтована на підвищення задоволеності замовника через результативне застосування системи, «*...повинна планувати та впроваджувати процеси моніторингу, вимірювання, аналізування* [5, С. 9]». Розглянуте нами виробництво з сорокарічним досвідом зацікавлене у підвищенні задоволеності замовника, можливості запобігання формування ризиків для суспільства і довкілля розвитку негативних процесів, тому проводить вимірювання показників води на усіх етапах згідно з існуючими методиками, які з урахуванням [4] потребують актуалізації.

Так, твердість води визначається за методикою [6] і порівнюється із затвердженими керівництвом ВАТ нормами згідно карти водно-хімічного режиму. За нормативними документами ВАТ допустиме значення твердості води після Na-катіонітного фільтру для водогрійних котлів – до 100 мкг-екв/кг, періодичність контролю – через 2 години із записом у журналі первинних даних. Дані, що використано нами для аналізу ЯПП, представлено у табл. 1. Єдиного стандартного значення не задано, і, щоб визначити показники процесу і керувати ним та забезпечити високий рівень однорідності найважливіших характеристик продукції за допомогою неперервного фіксування інформації про якість в процесі виробництва, використовуємо [4, п.12.2].

Знаходимо $\overline{\overline{X}}$ – середнє середніх значень підгруп: $\overline{\overline{X}} = \frac{\sum \overline{X}}{k}$ =360:25=14,4.

Розраховуємо $\overline{R}$ – середнє значення величини *R* для всіх підгруп:

$$\overline{R} = \frac{\sum R}{k} = 130:25 = 5{,}2.$$

Для побудови *R*-карти визначаємо ЦЛ= $\overline{R}$ =5,2;

ВКМ=$D_4 \cdot \overline{R}$ =2,114 х 5,2=10,99.

Таблиця 1

Результати вимірів твердості та розрахункові дані очищеної Na –катіонітним фільтром води

Підгрупа №, k	Твердість мкг-екв/кг					$\sum x_i$	$\overline{X} = \frac{\sum Xi}{n}$	Розмах *R*
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
1	10	10	10	10	10	50	10	0
2	10	10	10	10	10	50	10	0
3	5	5	5	5	10	30	6	5
4	10	5	5	5	5	30	6	5
5	5	5	10	10	10	40	8	5
6	10	10	10	10	10	50	10	0
7	10	10	5	5	5	35	7	5
8	5	5	5	0	5	20	4	5
9	10	10	10	10	10	50	10	0
10	10	10	5	10	10	45	9	5
11	10	10	10	10	5	45	9	5
12	5	5	10	10	5	35	7	5
13	5	5	5	5	5	25	5	0
14	5	5	10	10	10	40	8	5
15	10	10	10	10	10	50	10	0
16	10	10	10	10	10	50	10	0
17	10	10	10	15	10	55	11	5
18	10	10	15	15	15	65	13	5
19	10	15	15	15	15	70	14	5
20	10	15	15	15	15	70	14	5
21	10	10	15	15	15	65	13	5
22	20	10	15	15	15	75	15	10
23	15	15	15	15	15	75	15	0
24	40	40	40	50	50	220	44	10
25	70	70	100	110	110	460	92	40

За отриманими даними будуємо $\overline{X}$ -карту та карту розмахів (Рис. 3, 4), які використовуємо для аналізу. Значення точок 24, 25 на представлених графіках вказують на порушення статистично керованого стану, тому необхідно вжити певні заходи, щоб усунути особливі причини і запобігти їхньому повторенню.

Роботу з картами продовжуємо після встановлення переглянутих контрольних меж без вилучених точок, що вийшли за старі межі, тобто значень 24, 25 вибірок. Значення $\overline{\overline{X}}$, $\overline{R}$ і лінії контрольної карти перераховуємо для *k*=23 у такий спосіб [4, С. 20]:

$\overline{\overline{X}} = \frac{\sum \overline{X}}{k}$ =224 :23=9,74. Переглянуте значення $\overline{R} = \frac{\sum R}{k}$ =80 :23=3,48.

Для $\overline{X}$ – карти:

Центральна лінія= $\overline{\overline{X}}$ =9,74;

ВКМ= $\overline{\overline{X}}$ + $A_2 \cdot \overline{R}$ =9,74+ 0,577 х 3,48=11,74 (мкг-екв/кг)

Для *R*-карти:

ЦЛ= $\overline{R}$ =3,48; ВКМ=$D_4 \cdot \overline{R}$ =2,114 х 3,48=7,36(мкг-екв/кг)

Індекс можливостей процесу визначається за [4, С. 21]:

$$\text{ІМП}=\frac{номінальний...допуск}{розкид...процесу}=\frac{(ВПЗ-НПЗ)}{6\overline{\sigma}}=(100\text{-}0):1{,}5=66{,}7,$$

де ВПЗ=100; НПЗ=0; $6\overline{\sigma}=\frac{\overline{R}}{d_2}$ =3,48:2,326=1,5.

Оскільки ІМП більше одиниці (ІМП>>1,33), можливості процесу можна вважати прийнятними, але рекомендується вдосконалити процес.

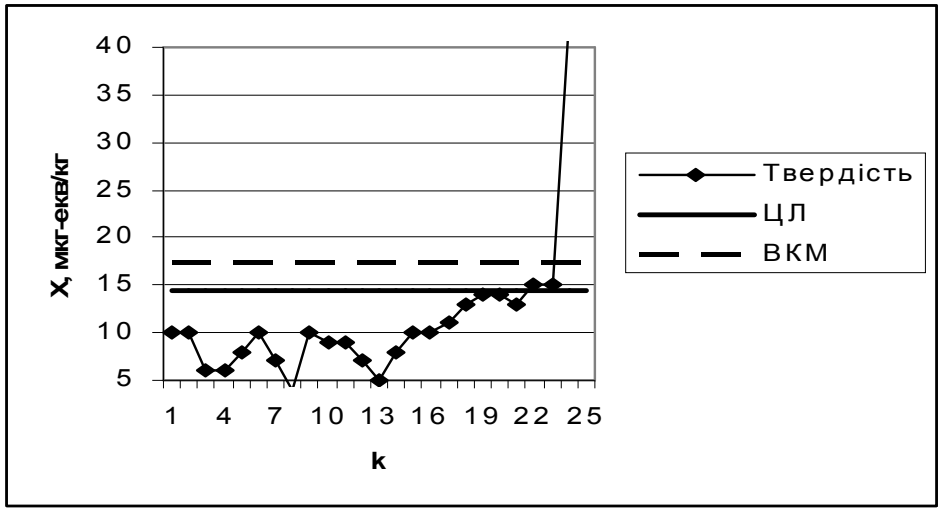


Рис. 3.Попередня $\overline{X}$ -карта твердості води

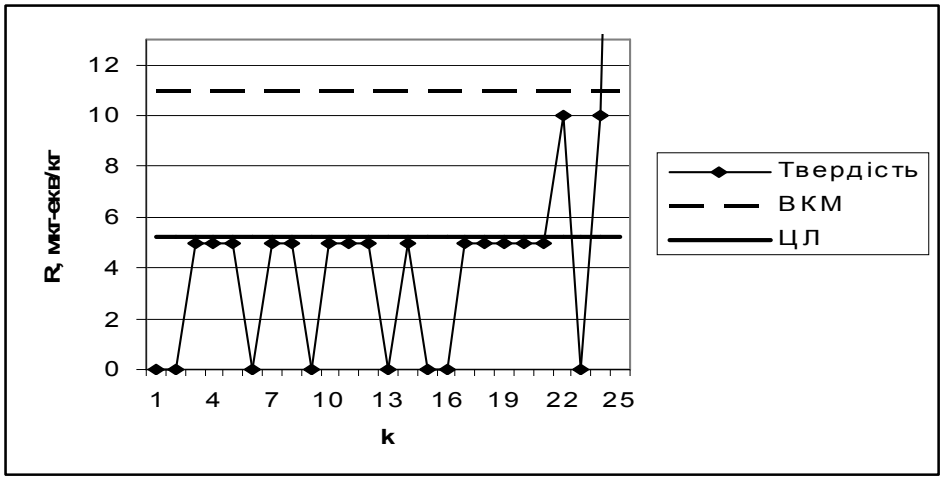


Рис. 4. Попередня R-карта твердості води

Отримані нами результати – розраховані значення $\overline{X}$ -карти (ЦЛ=9,74 мкг-екв/кг, ВКМ=11,74 мкг-екв/кг) і *R*-карти (ЦЛ=3,48 мкг-екв/кг, ВКМ=7,36мкг-екв/кг) дозволяють забезпечити статистичний підхід для постійного і цілеспрямованого поліпшення процесу отримання очищеної від солей твердості води.

Наступним виявленим показником, що потребує статистичного контролю, є лужність води, яка визначається за відомою методикою [7]. Визнана у ВАТ припустима норма – до 20 мг-екв/кг, періодичність контролю – через кожні 2 години в період експлуатації котла. Результати вимірів представлено в табл. 2. Метод статистичного керування процесом отримання пару і гарячої води розглянуто для бойлера та тепломережі (батарей опалення споживача) за допомогою контрольних карт Шухарта.

Таблиця 2

Експериментальні та розрахункові дані аналізу лужності котлової води парового котла марки Е 1/9

Підгрупа №	Лужність мг-екв/кг					$\sum x_i$	$\overline{X}=\frac{\sum Xi}{n}$	Розмах R
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
1	5,7	7,7	12,6	14,2	15,7	55,9	11,18	10
2	6,0	8,2	9,7	11,7	12,8	48,4	9,68	6,8
3	5,9	8,8	10,1	11,3	13,5	49,6	9,92	7,6
4	5,5	8,0	9,7	11,3	12,7	47,2	9,44	7,2
5	5,9	8,3	9,8	11,3	12,4	47,7	9,54	6,5
6	5,2	6,4	8,8	10,0	11,5	41,9	8,38	6,3
7	7,1	11,2	13,3	15,1	19,1	65,8	13,16	12,0
8	6,6	9,1	12,6	15,2	18,2	61,7	12,34	11,6
9	10,2	12,0	14,3	17,0	20,5	74,0	14,8	10,3
10	8,0	9,9	12,3	15,0	18,6	63,8	12,76	10,6
11	11,2	16,0	18,1	20,6	23,2	89,1	17,82	12
12	7,5	11,2	13,9	16,0	18,6	67,2	13,44	11,1
13	6,8	12,5	16,0	19,1	22,2	76,6	15,32	15,4
14	5,8	15,8	18,6	21,5	24,4	86,1	17,22	18,6
15	6,2	6,6	12,5	14,2	17,2	56,7	11,34	11,0
16	7,8	10,9	14,9	18,8	21,2	73,6	14,72	13,4
17	8,1	11,0	12,5	13,5	15,7	60,8	12,16	7,6
18	7,4	10,6	13,5	15,7	18,4	65,6	13,12	11
19	6,3	11,0	12,4	14,5	17,8	62,0	12,4	11,5
20	6,1	10,3	13,6	16,5	18,6	65,1	13,02	12,5
21	6,4	9,0	11,4	13,4	16,1	56,3	11,26	9,7
22	14,3	14,9	16,6	19,3	21,3	86,4	17,28	7
23	6,7	11,0	12,7	15,2	17,8	63,4	12,68	11,1
24	6,4	10,0	16,3	18,6	20,8	72,1	14,42	14,4
25	8,5	8,9	12,6	14,2	16,5	60,7	12,14	8

Середнє значення середніх значень підгруп дорівнює:

$$\overline{\overline{X}}=\frac{\sum \overline{X}}{k}=\frac{319,54}{25}=12,781,$$

а середнє значення величини R для всіх підгруп: $\overline{R}=\frac{\sum R}{k}=\frac{263,2}{25}=10,528.$

Для R-карти:

$$\text{ЦЛ}=\overline{R}=10,528;\ \text{ВКМ}=D_4\cdot\overline{R}=2,114\cdot 10,528=22,256\ \text{мг-екв/кг};$$

$$\text{НКМ}=D_3\cdot\overline{R}=0\cdot 10,528=0.$$

Значення множників D_3 і D_4 узяті для n=5. Оскільки розглянуті експериментальні дані знаходяться в середині контрольних меж (див. рис. 5), $\overline{R}$-карта вказує на статистично керований стан.

Для $\overline{X}$-карти:

$$\text{ЦЛ}=\overline{\overline{X}}=12,7816,\ \text{ВКМ}=\overline{\overline{X}}+A_2\cdot\overline{R}=12,7816+(0,577\cdot 10,528)=18,86\ \text{мг-екв/кг},$$

$$\text{НКМ}=\overline{\overline{X}}-A_2\cdot\overline{R}=12,78-0,577\cdot 10,528=6,7069.$$

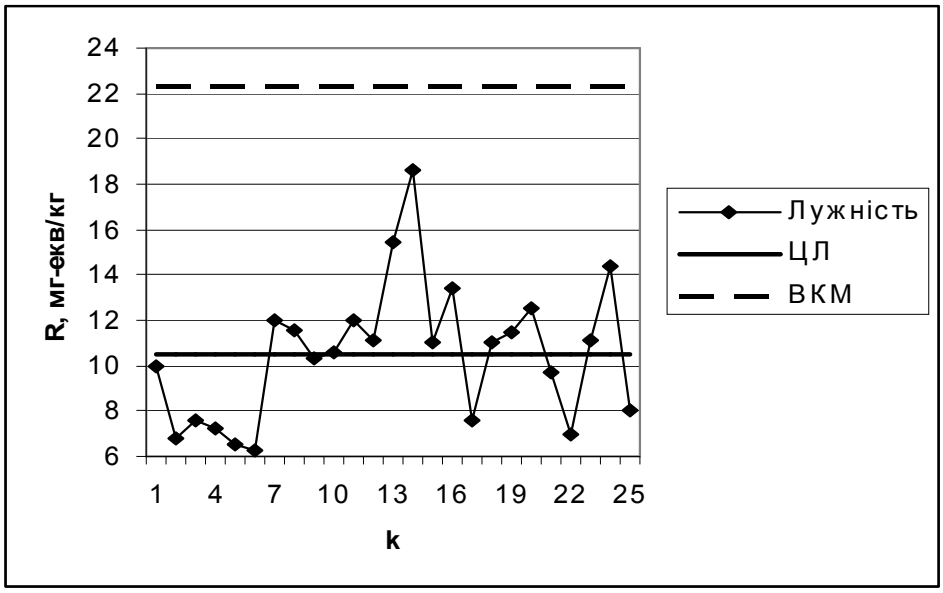


Рис. 5. R-карта лужності води

Побудована $\overline{X}$ -карта представлена на рис.6. Експериментальні значення $\overline{X}$ знаходяться в середині контрольних меж, що вказує на статистично керований стан.

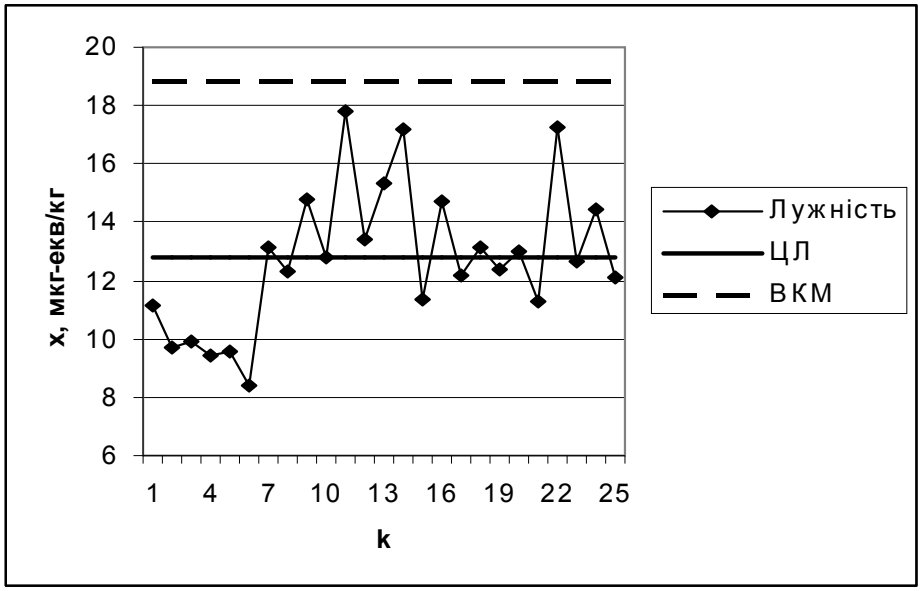


Рис. 6. $\overline{X}$ -карта лужності води

Для стабільного процесу можна оцінити можливості (прийнятні, не прийнятні). В даному процесі верхнє припустиме значення (ВПЗ) згідно затвердженої керівництвом карти водно-хімічного режиму котлів Е 1/9 дорівнює 20 мг-екв/кг, нижнє припустиме значення (НПЗ) дорівнює 0 мг-екв/кг. Значення коефіцієнта d_2=2,326 для n=5 [4, С. 6].

Тому ІМП= $\frac{номінальний...допуск}{розкид...процесу} = \frac{(ВПЗ - НПЗ)}{6\overline{\sigma}}$ =(20 -0):4,5=4,44,

де $6\overline{\sigma} = \frac{\overline{R}}{d_2} = \frac{10,528}{2,326}$ =4,5.

Оскільки ІМР більше одиниці, можливості процесу можна вважати прийнятними.

Отримані нами результати для контролю лужності котлової води – розраховані значення $\overline{X}$ -карти (ЦЛ=12,78 мг-екв/кг, ВКМ=18,86 мг-екв/кг) і R –карти (ЦЛ=10,53 мг-екв/кг, ВКМ=22,3мг-екв/кг) дозволяють забезпечити статистичний підхід для постійно-

го і цілеспрямованого моніторингу та поліпшення процесу у ВАТ «Облтеплокомуненерго» для вдосконалення НД ЯПП, урахування не тільки абсолютних значень показників жорсткості та лужності води, а і розкиду показників, виявлення певних тенденцій, трендів, уточненого контролю ЯПП за допомогою карт Шухарта.

Таким чином, завдяки статистичному підходу для постійного і цілеспрямованого поліпшення основних етапів виробництва набули подальшого розвитку принципи керування ЯПП ВАТ з урахуванням можливостей зменшення розвитку негативних для суспільства процесів – попередження втрати гарячої води через зруйновані водні комунікації, виникнення небезпеки для здоров'я і майна громадян, а також довкілля.

Висновки

1. На основі аналізу нормативних документів і виробничого досвіду у ВАТ «Облтеплокомуненерго» рекомендовано вдосконалення процесу побудови нормативних документів з питань забезпечення якості та безпеки продукції і процесів її отримання для здоров'я громадян і охорони довкілля.

2. Науково обґрунтовано розроблені рекомендації для удосконалення НД ЯПП ВАТ «Облтеплокомуненерго» з використанням визначених показників контрольних карт Шухарта – на етапі контролю твердості води значення *X*-карти (ЦЛ=9,74 мкг-екв/кг; ВКМ=11,74 мкг-екв/кг) і *R*-карти (ЦЛ=3,48 мкг-екв/кг ;ВКМ=7,36 мкг-екв/кг); на етапі контролю лужності котлової води значення *X*-карти (ЦЛ=12,78 мг-екв/кг, ВКМ=18,86 мг-екв/кг) і *R*-карти (ЦЛ=10,53 мг-екв/кг, ВКМ=22,3 мг-екв/кг).

3. Набули подальшого розвитку принципи керування ЯПП ВАТ з урахуванням не тільки абсолютних значень показників твердості та лужності води, а і розкиду показників, виявлення певних тенденцій, трендів, уточненого контролю ЯПП за допомогою карт Шухарта, а також можливостей зменшення розвитку негативних для суспільства процесів завдяки статистичному підходу для постійного і цілеспрямованого поліпшення визначених етапів виробництва.

Список літературних джерел

1. Реформування національної системи технічного регулювання // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2009. – №3. – С. 3.

2. Держспоживстандарт інформує // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2010. – №5. – С. 31.

3. Лосюк Л. Основні тенденції розвитку сучасних концепцій СУЯ // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2009. – №4. – С.3-9.

4. ДСТУ ISO 8258 – 2001. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта.

5. ДСТУ ISO 9001:2009.Системи управління якістю. Вимоги.

6. ГОСТ 4151 – 72. Вода питьевая. Методы определения общей жесткости.

7. ГОСТ Р 52963-2008. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов.

8. Белан Ф.И., Сутоцкий Г.П. Водоподготовка промышленных котельных. – М. : Изд-во «Энергия»,1969. –328 с.

9. Кострикин Ю.М., Мещерський Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. Справочник. М. : Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.

10. Сваренные заживо// Всеукраинская газета «Я».– 2010. – № 50(409). – С. 3.

11. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2007 рік. – Чернігів: ДУОНПСЧО. – 2008. –С. 15-16.

12. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля. : Підручник. – К. : Видавничий центр «Академія», 2006. – С. 8.

АНОТАЦІЇ

УДК 621.855

Пилипенко О.І. Комплексне забезпечення якості ланцюгових передач і приводів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 6-20.

Представлений комплексний підхід до проектування і реалізації ланцюгових передач і приводів, що базується на врахуванні реальних динамічних процесів, що супроводжують їх роботу, використанні полімерних композитних матеріалів, ресурсозберігаючих технологій і обладнання для їх здійснення, автоматизованому оптимальному проектуванні, в результаті чого конструктор зможе вибирати науково обгрунтовану сукупність значень параметрів, при яких ще на стадії проектування забезпечується висока динамічна якість ланцюгових передач і приводів.

Іл.11. Ббібліогр.: 12

УДК 621.855

Пилипенко О.И. Комплексное обеспечение качества цепных передач и приводов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 6-20.

Представлен комплексный подход к проектированию и реализаци цепных передач и приводов, базирующихся на учёте реальных динамических поцессов, сопровождающих их работу, использовании полимерных композитных материалов, ресурсосберегающих технологий и оборудования для их осуществления, автоматизированном оптимальном проектировании, в результате чего конструктор сможет выбирать научно обоснованную совокупность значений параметров, при которых ещё на стадии проектирования обеспечивается высокое динамическое качество цепных передач и приводов.

Илл. 11. Библиогр.: 12

UDC 621.855

Pilipenko O.I. Complex Providing of Chain Transmissions and Drives Quality // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 6-20.

The complex approach is presented to designing and realization of chain-transmissions and drives, being based on the account of the real dynamic processes, accompanying their work, use of polymeric composite materials, resource-saving technologies and equipment for their carrying out, automated optimal designing, as a result a designer will be able to choose the scientifically grounded aggregate of values of parameters at which yet on the stage of designing high dynamic quality of chain transmissions and drives is provided.

Ill. 11. Ref.:12

УДК 539.375.5

Коваль В.І. Про деякі технологічні методи підвищення надійності роботи високонавантажених конструкцій. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 21-26.

Проведений аналіз існуючих способів підвищення надійності роботи високонавантажених конструкцій з точки зору зменшення можливості їх крихкого руйнування. Показані переваги застосування багатошарових конструкцій у порівнянні з монолітними.

Іл. 4. Бібліогр.: 9.

УДК 539.375.5

Коваль В.И. О некоторых технологических методах повышения надежности работы высоконагруженных конструкций. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 21-26.

Проведен анализ существующих способов повышения надежности работы высоконагруженных конструкций с точки зрения снижения возможности их хрупкого разрушения. Показаны преимущества применения многослойных конструкций в сравнении с монолитными.

Ил. 4. Библиогр.: 9.

UDC 539.375.5

Koval V.I. On the Certain Technological Methods of Rising the Reliability of High Resistance Constructions. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 21-26.

An analysis for existing methods of rising the reliability of high loaded structures work form the point of view of brittle destruction has been carried out. The advantage of using multylayer structures compared with monolithic ones has been shawn.

Ill. 4. Ref.: 9.

УДК 621.922

Кальченко В.І., Погиба Н.М., Кальченко Д.В. Визначення складових сил різання при глибинному шліфуванні орієнтованим ельборовим кругом з врахуванням деформуючих кромок. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 27-34.

Пропонується методика розрахунку складових сил різання при глибинному шліфуванні ступінчастих валиків орієнтованим кругом, що сприяє вибору оптимальних режимів обробки поверхонь обертання типу вал за один установ. Приведено приклад розрахунку складових сил різання по даній методиці при глибинному високошвидкісному шліфуванні ступінчастого валика вузьким ельборовим кругом зі схрещеними осями його та деталі з врахуванням впливу різальних та деформуючих кромок, де нормальна складова сили різання розраховується не лише на торці круга, але й на його периферії.

Іл. 9. Бібліогр.: 10.

УДК 621.922

Кальченко В.И., Погиба Н.М., Кальченко Д.В. Определение составляющих сил резания при глубинном шлифовании ориентированным ельборовым кругом с учетом деформирующих кромок. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 27-34.

Предлагается методика расчета составных сил резания при глубинном шлифовании ступенчастых валиков ориентированным кругом, который способствует выбору оптимальных режимов обработки поверхностей вращения типа вал за один установ. Приведен пример расчета составных сил резания по данной методике при глубинном высокоскоростном шлифовании ступенчатого валика узким ельборовим кругом со скрещенными осями с учетом влияния режущих и деформирующих кромок, где нормальная составляющая силы резания рассчитывается не только на торце круга, но и на его периферии.

Ил. 9. Библиогр.: 10.

UDC 621.922

Kalchenko V.I., Pogiba N.M., Kalchenko D.V. Determination of Making Forces of Cutting at the Deep Polishing Oriented Elbor Around Taking Into Account Deforming Edges. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 27-34.

The method of calculation of component forces of cutting at the deep polishing of stupen-frequent rollers is offered oriented a circle which is instrumental in the choice of the optimum modes of obra-botki surfaces of rotation of type billow for one ustanov. The example of calculation of component forces of cutting is resulted on this method at the deep high-speed polishing of step roller narrow el'borovim around with the crossed axes taking into account influence of cuttings and deforming edges, where the normal constituent of cutting force settles accounts not only on the butt end of circle but also on his periphery.

Ill. 9. Ref.: 10.

УДК 621.923.42

Рудик А.В. Розрахунок температури шліфування з врахуванням теплофізичних та технологічних факторів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 35-41.

Розглядаються питання визначення температури шліфування при зміні як теплофізичних характеристик так і технологічних. Методика передбачає проводити розрахунки температури з врахуванням дії окремих зерен, що дозволить враховувати зміну робочого стану поверхні круга в процесі обробки.

Іл.:5, Бібліогр.: 8 назв.

УДК 621.923.42

Рудик А.В. Расчет температуры шлифования с учетом теплофизических и технологических факторов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 35-41.

Рассматриваются вопросы определения температуры шлифования при изменении как теплофизических характеристик, так и технологических. Методика предполагает производить расчеты температуры с учетом действия отдельных зерен, что позволит учитывать изменение рабочего состояния поверхности круга в процессе обработки.

Илл.:5, Библиогр.: 8 назв.

UDC 621.923.42

Rudik A.V. Calculation Of Temperature Grinding Taking Into Account Thermo physical and Technological Factors // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 35-41.

Questions of definition of grinding temperature are considered by changing how thermo physical characteristic and technology. The methodology to carry out calculations at temperatures of regard for individual grains, which will incorporate a change in the working range of the surface during processing.

Ill.: 5, Ref.: 8

УДК 621.9:62-755

Сахно Ю.О., Сахно Є.Ю., Шевченко Я.В. Система компенсації динамічної неврівноваженості роторного вузла в гідростатичній опорі // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 42-48.

Розглянуто питання компенсації технологічного дисбалансу шпинделя в двох площинах корекції. Визначена кореляційна залежність між похибкою розподілу потоку на рівні частини від тиску у відводах чотирьохпоточного розподільника, що керує процесом врівноваження.

Іл. 3. Табл.3. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 621.9:62-755

Сахно Ю.А., Сахно Е.Ю., Шевченко Я.В. Система компенсации динамической неуравновешенности роторного узла в гидростатической опоре // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 42-48.

Рассмотрены вопросы компенсации технологического дисбаланса шпинделя в двух плоскостях коррекции. Определена корреляционная зависимость между погрешностью деления потока на равные части от давления в отводах четырехпоточного делителя, который управляет процессом уравновешивания.

Ил. 3. Табл.3. Библиогр.: 10 назв.

UDC 621.9:62-755

Sakhno Yu.A., Sakhno E.Yu., Shevchenko Ya. V. Compensation System of the Dynamic Unbalances of the Rotor Hub in Hydrostatic Bearing // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 42-48.

The question of compensation technological imbalances stem in two planes of correction is considered. The correlation dependence between the accuracy of flux at the level of pressure in the removal of four current distributor, which manages the balancing process is determined.

I11.3. Tabl. 3.Ref.:10.

УДК 621.9.06-82

Федориненко Д.Ю., Іванець С.А., Сапон С.П. Підвищення точності обертання шпинделя засобами мехатронних систем // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 49-57.

Запропонована технічна ідея адаптивного керування вихідними параметрами точності шпиндельних вузлів на гідростатичних підшипниках на основі застосування нових конструкцій опор, де початковий зазор змінюється за рахунок витрати рідини або за рахунок геометрії опори з каналом зворотного зв'язку за переміщенням шпинделя.

Іл. 9. Бібліогр.: 15 назв.

УДК 621.9.06-82

Федориненко Д.Ю., Иванец С.А., Сапон С.П. Повышение точности вращения шпинделя средствами мехатронных систем // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 49-57.

Предложена техническая идея адаптивного управления выходными параметрами точности шпиндельных узлов на гидростатических подшипниках на основе применения новых конструкций опор, где начальный зазор изменяется за счет расхода жидкости или геометрией опоры с каналом обратной связи за перемещением шпинделя.

Ил. 9. Библиогр.: 15 назв.

UDC 621.9.06-82

Fedorinenko D.Y., Ivanec S.A. Sapon S.P. Increasing Precision the Spindle Rotation by Means of Mechatronics Systems // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 49-57.

Proposed technical idea of adaptive control output parameters precision spindles with hydrostatic bearings on the basis of new designs, supports, where the initial gap is changed due to fluid flow or the geometry of the bearing with feedback channel for the movement of the spindle .

.Il. 9. Ref.: 15

УДК 621.01-621.9.06

Кириченко А.М. Вплив діапазону кутів повороту шарнірних опор на об'єм робочого простору верстата-гексапода // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 58-62.

Наведено дискретний чисельний метод визначення робочого простору обладнання з ланками змінної довжини та встановлено вплив допустимих кутів повороту шарнірних опор на об'єм робочого простору верстата на основі механізму паралельної структури «гексапод».

Іл. 6. Бібліогр.: 3 назв.

УДК 621.01-621.9.06

Кириченко А.Н. Влияние диапазона углов поворота шарнирных опор на объем рабочего пространства станка-гексапода // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 58-62.

Приведен дискретный численный метод определения рабочего пространства оборудования со звеньями переменной длины и установлено влияние допустимых углов поворота шарнирных опор на объем рабочего пространства станка на основе механизма параллельной структуры «гексапод».

Ил. 6. Библиогр.: 3 назв.

UDC 621.01-621.9.06

Kyrychenko A.M. The Influence of Joints Range Upon the Workspace Volume of Hexapod Parallel Robot // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 58-62.

A discrete numerical method of workspace determination of parallel robots with variable length links, and the impact of joints angles limits upon the workspace volume of hexapod parallel robot are presented.

Ill. 6. Ref.: 3.

УДК 004.896

Бойко С.В., Міхнєв С.С. Інтелектуальна управляюча система мобільного робототехнічного комплексу // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 63-65.

Розглянуто структуру інтелектуальної системи управління мобільного робото- технічного комплексу. Наведено формальний опис вхідних даних для синтезу системи. Запропоновано використання anytime-алгоритмів для розглянутої системи.

Іл. 1. Бібліогр.: 3 назв.

УДК 004.896

Бойко С.В., Михнев С.С. Интеллектуальная управляющая система мобильного робототехнического комплекса // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 63-65.

Рассмотрена структура интеллектуальной системы управления мобильного робототехнического комплекса. Приведено формальное описание входных данных для синтеза системы. Предложено использование anytime-алгоритмов для рассматриваемой системы.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

UDC 004.896

Boycko S.V., Mikhnev S.S. Intellectual Management System for Mobile Robotic Complex // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 63-65.

The structure of the intellectual control system of mobile robotics industry is considered. A formal description of input data for the synthesis system is given. Use of anytime-algorithms for the system is proposed.

Ill. 1. Ref.: 3.

УДК 531.7

Ігнатенко П.Л., Осмоловський О.І. Підвищення динамічної точності руху виконуючих елементів робототехнічних систем // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 66-69.

Запропоновано нові підходи до організації керування виконуючими елементами спеціалізованих робототехнічних систем, які дозволили одержати покращені динамічні та енергетичні показники процесу відтворення складного просторового руху. Проведені аналітичні дослідження варіантів реалізації систем керування двигунами постійного струму.

Іл. 2. Бібліогр.: 2 назв.

УДК 531.7

Игнатенко П.Л., Осмоловский О.И. Повышение динамической точности движения исполняющих элементов робототехнических систем // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 66-69.

Предложены новые подходы к организации управления исполняющими элементами специализированных робототехнических систем, которые позволили получить улучшенные динамические и энергетические показатели процесса воссоздания сложного пространственного движения. Проведены аналитические исследования вариантов реализации систем управления двигателями постоянного тока.

Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

UDC 531.7

Ignatenko P.L., Osmolovskiy O.I. Increase of Dynamic Exactness of Motion of Carrying Out Elements of Robotsystems // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 66-69.

The new going of the organization of driving by the carrying out elements of the dedicaded robotsystems is offered which allowed to get the improved dynamic and power indexes of process of recreation of difficult spatial motion. Analytical researches of variants of realization of control system are conducted by the engines of direct-current.

Ill. 2. Ref.: 2.

УДК 621. 822. 3

Хоменко І. М. Гранично допустимий знос деталей і спряжень машин. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 70-78.

Наведено методологію визначення гранично допустимих зносів деталей і спряжень машин розрахунково-аналітичним методом. Використання методу показано на прикладі визначення гранично допустимого зносу мастилознімального кільця двигуна СМД-14.

Іл. 6. Бібліогр.: 18 назв.

УДК 621. 822. 3

Хоменко И. М. Гранично допустимый износ деталей и сопряжений машин. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 70-78.

Приведена методология определения предельно допустимых износов деталей и сопряжений машин расчетно-аналитическим методом. Использование метода показано на примере определения предельно допустимого износа маслосъемного кольца двигателя СМД-14.

Ил. 6. Библиогр.: 18 назв.

UDK 621. 822. 3

Khomenko I. M. Range Possible Wear of Details Interfaces of Machines. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 70-78.

Methodology of determination maximum of possible wear details and interfaces of machines is resulted by calculation-analytical method. The use of method is shown on the example of determination maximum of possible wear of oil- ring of engine of SMD-14.

Ill. 6. Ref.:18.

УДК 621.923.42

Веремей Г.О. Засоби підвищення якості поверхонь контакту деталей в двигунах внутрішнього згоряння // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 79-83.

Досліджені існуючі засоби забезпечення параметрів якості поверхонь сполучення «клапан- сідло» – деталей газорозподільного механізму в двигунах внутрішнього згоряння. Дане з'єднання визначає експлуатаційні характеристики двигуна, які не завжди у вітчизняному виробництві задовольняють запитам споживача з причини недосконалості існуючих методів забезпечення жорстких технічних вимог до деталей дослідження. В статті розглянуто питання щодо використання більш досконалих засобів досягнення параметрів якості поверхонь сполучення пари "клапан-сідло" за рахунок застосування високоефективних методів і ріжучого інструменту в галузі металообробки.

Іл. 4. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 621.923.42

Веремей Г.А. Методы повышения качества поверхностей сопряжения деталей в двигателях внутреннего сгорания // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 79-83.

Исследованы существующие методы обеспечения параметров качества поверхностей сопряжения пары «клапан-седло» – деталей газораспределительного механизма в двигателях внутреннего сгорания. Данное соединение определяет эксплуатационные характеристики двигателя, которые зачастую в отечественном производстве не удовлетворяют запросам потребителя по причине несовершенства существующих методов обеспечения жёстких технических требований, предъявляемых к исследуемым деталям. Рассмотрено применение более совершенных путей достижения параметров качества поверхностей сопряжения пары «клапан-седло» за счёт использования высокоэффективных технологических методов и режущего инструмента в области металлообработки.

Ил. 4. Библиогр.: 5 назв.

UDC 621.923.42

Veremey G.A. The Quality Increase Methods of the Parts' Contacting Surfaces in the Internal Combustion Engine // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 79-83.

The modern existing methods of the contacting surfaces quality parameters for the parts "valve-seat" of the valve train in the internal combustion engine are considered. The "valve-seat" conjugation is responding for the power characteristics of the internal combustion engine, that's why it must be met the strict requirements for the forming, relative orientation and asperity their contacting surfaces. The usage of the more perfect technological means, as diamond grinding, and modern metal-cutting tools to reach the necessary quality of these working surfaces is offered.

Ill. 4. Ref.:5.

УДК 621.941.025

Кальченко В.В., Юрченко Ю.Д. Моделювання теплового поля збірних токарних різців з оптимально орієнтованими непереточуваними пластинками в T-FLEX CAD 3D // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 84-87.

Наведені результати досліджень теплових полів у збірних токарних різцях з пасивним внутрішнім тепловідводом з використанням комп'ютерного моделювання в системі T-FLEX CAD 3D.

Іл. 5. Бібліогр.: 2 назв.

УДК 621.941.025

Кальченко В.В., Юрченко Ю.Д. Моделирование теплового поля сборных токарных резцов с оптимально ориентированными неперетачиваемыми пластинками в T-FLEX CAD 3D // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 84-87.

Приведенные результаты исследований тепловых полей в сборных токарных резцах с пассивным внутренним теплоотводом с использованием компьютерного моделирования в системе T-FLEX CAD 3D.

Ил. 5. Библиогр.: 2 назв.

UDC 621.941.025

Kalchenko V.V., Yurchenko Y.D. Design of the Thermal Field of Collapsible Lathe Chisels with the Optimum Oriented Throw-away Plates in T-FLEX CAD 3D // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 84-87.

Resulted results of researches of the thermal fields in collapsible lathe chisels with a passive internal heatsink with the use of computer design in the system of T-FLEX CAD 3D.

Ill. 5. Ref.:2.

УДК 621.791.4:620.224

Болотов М.Г., Болотов Г.П., Рижов Р.М. Дифузійне зварювання дисперсно зміцнених композиційних матеріалів групи алюміній–карбід кремнію // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 88-92.

Наведено результати досліджень по підвищенню якості дифузійно-зварних з,єднань дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів групи алюміній-карбід кремнію. Показано, що міцність з,єднань зростає при підвищенні пластичності контактуючих поверхонь, що досягається застосуванням при зварюванні проміжних прошарків металів, які утворюють з алюмінієвою матрицею пластичну евтектику.

Іл. 4. Бібліогр.: 6.

УДК 621.791.4:620.224

Болотов М.Г., Болотов Г.П., Рыжов Р.Н. Диффузионная сварка дисперсно упрочненных композиционных материалов группы алюминий–карбид кремния // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 88-92.

Приведены результаты исследований по повышению качества диффузионно-сварных соединений композиционных материалов группы алюминий-карбид кремния. Показано, что прочность соединений возрастает при повышении пластичности контактирующих поверхностей, что достигается применением при сварке промежуточных слоев металлов, образующих с алюминиевой матрицей пластичную эвтектику.

Ил. 4. Библиогр.: 6.

UDC 621.791.4:620.224

Bolotov M.G., Bolotov G.P., Ryzhov R.N. Diffusion Welding of Dispersion-hardened Composite Materials of Aluminum-silicon Carbide // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 88-92.

The results of studies to improve the quality of diffusion-welded joints of composite materials of aluminum-silicon carbide are presented. It is shown that joint strength increases with increasing plasticity of the contacting surfaces, which is achieved by using intermediate layers when welding metals which form a eutectic aluminum matrix plastic.

Ill. 4. Ref.: 6.

УДК 678.057.5

Чередніченко П.І., Бакалов В.Г., Бакалов О.В. Дослідження впливу геометричних розмірів плоскощілинної головки на якість плівки // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 93-99.

Розроблено математичну модель, яка враховує в'язкісні властивості полімеру, геометричні розміри внутрішніх каналів плоскощілинної головки, процес витягування плівки між головкою і притискним валком. Визначено вплив геометричних параметрів головки та технологічних параметрів формування плівки на її якість.

Іл. 5. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 678.057.5

Чередниченко П.И., Бакалов В.Г., Бакалов О.В. Исследование влияния геометрических размеров плоскощелевой головки на качество пленки // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 93-99.

Разработана математическая модель, которая учитывает вязкостные свойства полимера, геометрические размеры внутренних каналов плоскощелевой головки, процесс вытягивания пленки между головкой и прижимным валком. Определено влияние геометрических параметров головки и технологических параметров фрмирования пленки на ее качество.

Ил. 5. Біиблиогр.: 10 назв.

UDC 678.057.5

Cherednichenko P.I., Bakalow W.G., Bakalow O.W. Research of Influence of Geometrical Sizes of Ploskoschilinnoy Head is on Quality of Tape // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 93-99.

A mathematical model, which takes into account viscosity properties of polymer, geometrical sizes of the internal ductings of ploskoschelevoy head, process of drawing out of tape, between a head and rider roller, is developed. Certainly influence of geometrical parameters of head and technological parameters of forming of tape on its quality.

Il. 5. Ref.: 10.

УДК 678.027.3-057

Кузяєв І.М., Митрохін А.А., Рожко Н.А. Здобуття химволокон з полімерних нанокомпозитів на комбінованих екструдерах // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 100-105.

Розроблена багатофункціональна екструзійна приставка із черв'ячно-дисковим вузлом, оснащеним ультразвуковим генератором для виробництва виробів з полімерних нанокомпозитов, у тому числі й для одержання хімічних волокон. Представлені теоретичні основи й експериментальні дані для поділу нанодісперсних агрегатів у полімерному матеріалі. Отримане рівняння для розрахунку температурного поля, що виникає в междискових зонах черв'ячно-дискових екструдерів для полімерних рідин.

Іл. 4. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 678.027.3-057

Кузяев И.М., Митрохин А.А., Рожко Н.А. Получение химволокон из полимерных нанокомпозитов на комбинированных экструдерах // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 100-105.

Разработана многофункциональная экструзионная приставка с червячно-дисковым узлом, оснащенным ультразвуковым генератором для производства изделий из полимерных нанокомпозитов, в том числе и для получения химических волокон. Представлены теоретические основы и экспериментальные данные для разделения нанодисперсных агрегатов в полимерном материале. Получено уравнение для расчета температурного поля, возникающего в междисковых зонах червячно-дисковых экструдеров для полимерных жидкостей.

Ил. 4. Біиблиогр.: 8 назв.

UDC 678.027.3-057

Kyziaev I.M., Mitrohin A.A., Rogko N.A. Receipt of Chemical Fibres from Polymeric Nanokompozitov on the Combined Extruders // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 100-105.

Multifunction extrusion prefix is worked out with a worm-disk knot, equipped by an ultrasonic generator for the production of wares from polymeric nanocomposites, including for the receipt of chemical fibres. Theoretical bases and experimental data are presented for the division of nanodispersion asms in polymeric material. Equalization is got for the calculation of the temperature field, arising up in the interdisk areas of worm-disk extruders for polymeric liquids.

Il. 4. Ref.: 8.

УДК 620.197.3

Курмакова І.М., Корольов О.О., Сиза О.І. Інгібуюча дія броміду імідазоазепінію при кислотному травленні сталі // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 106-111.

Досліджені протикорозійні властивості броміду 1-(4-етоксіфенил)-2-(1,4-бенздиоксан-6-іл)-2-гидрокси-2,3,6,7,8,9-гексагидро-5Н-імідазо[1,2-а]азепінию в хлоридному середовищі при рН 0-2. Встановлено, що при концентрації 1,2 ммоль/л захисний ефект складає 97,3% і збільшується при підвищенні температури (98,2% при 333К). Висока захисна дія пояснена із залученням результатів розрахунків зарядів на адсорбційно-реакційних центрах молекули (Chem3D, метод MOPAC, PM3) і оцінки впливу інгібітора на величину крайового кута змочування.

Табл. 3 лл. 5. Бібліогр. 10 назв.

УДК 620.197.3

Курмакова И.Н., Королев А.А., Сизая О.И. Ингибирущее действие бромида имидазоазепиния при кислотном травлении стали // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 106-111.

Исследованы противокоррозионные свойства бромида 1-(4-этоксифенил)-2-(1,4-бенздиоксан-6-ил)-2-гидрокси-2,3,6,7,8,9-гексагидро-5Н-имидазо[1,2-а]азепиния в хлоридной среде при рН 0-2. Установлено, что при концентрации 1,2 ммоль/л защитный эффект составляет 97,3% и увеличивается при повышении температуры (98,2% при 333К). Высокое защитное действие объяснено с привлечением результатов расчетов зарядов на адсорбционно-реакционных центрах молекулы (Chem3D, метод MOPAC, PM3) и оценки влияния ингибитора на величину краевого угла смачивания.

Табл. 3 Илл. 5. Библиогр. 10 назв.

UDC 620.197.3

Kurmakova I.N., Korolyov O.O., Syza O.I. Inhibitions Properties of Bromide of Imidazoazepiniya at the Acid Etching of Steel // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 106-111.

Inhibitions properties of bromide of 1-(4-etokxyphenyl)-2-(1,4-benzdioksan-6-il)-2-hydroxy-2,3,6,7,8,9-hexahydro-5H-imidazo-[1,2-a]azepinya are studied in a chloride medium at pH 0-2. It is set, that in concentration 1,2 mmol/l protective effect is 97,3% and is increased at the rise of temperature (98,2% at 333K). High protective action is explain by bringing of results of computations of charges in on the adsorption-reactionary centers of molecule (Chem3D, the MOPAC, PM3 method) and estimation of influencing of inhibitor on the size of wetting angle.

Tabl. 3. Il. 5. Ref. 10.

УДК 621.762:669.23

Внуков А.А., Чигиринець Е.Є. Особливості процесу здобуття хімічно чистого мідного електролітичного порошку // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 112-116.

Розглянуті питання впливу хімічної чистоти основних компонентів сірчанокислого електроліту (в першу чергу сульфату міді) на процеси структуроутворення мідного електролітичного осаду і його хімічний склад. Для оцінки морфології часток обложеної міді використовували методи растрової електронної мікроскопії. Для оцінки чистоти мідного осаду застосовували рентгеноструктурний аналіз і методи емісійного атомного спектрального аналізу.

Іл. 3. Бібліогр. 4 назв.

УДК 621.762:669.23

Внуков А.А., Чигиринець Е.Э. Особенности процесса получения химически чистого медного электролитического порошка // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 112-116.

Рассмотрены вопросы влияния химической чистоты основных компонентов сернокислого электролита (в первую очередь сульфата меди) на процессы структурообразования медного электролитического осадка и его химический состав. Для оценки морфологии частиц осажденной меди использовали методы растровой электронной микроскопии. Для оценки чистоты медного осадка применяли рентгеноструктурный анализ и методы эмиссионного атомного спектрального анализа.

Илл. 3. Библиогр. 4 назв.

UDC 621.762:669.23

Vnukov A.A., Chigirinec E.E. Features of Process of Receipt Chemically of Clean Copper Electrolytic Powder // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 112-116.

The questions of influence of chemical cleanness of basic components of sernokislogo electrolyte (above all things sulfate of copper) are considered on the processes of gelation of copper electrodeposit and his chemical composition. For the estimation of morphology of particles of the besieged copper used the methods of raster electronic microscopy. For the estimation of cleanness of copper sediment applied a rentgenostrukturnyy analysis and methods of emission atomic spectrology.

Il. 3. Ref. 4.

УДК 620.197.3

Бондар О. С., Ткаченко С. В., Демченко А. М., Сиза О. І. Корозійна поведінка міді та хромованої сталі в середовищі з бактеріальною сульфатредукцією // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 117-121.

Досліджено корозійну поведінку міді та хромованої сталі в нейтральному середовищі з бактеріальною сульфатредукцією. Встановлено, що сульфатвідновлювальні бактерії здатні прикріплюватися як до поверхні міді, так і до хромованої сталі. При цьому хромована сталь є більш стійкою у зазначеному середовищі. Регуляція бактеріальної сульфатредукції за допомогою похідних ізохіноліну з біоцидною дією забезпечує захисний ефект міді до 75%.

Табл. 3 Іл. 2. Бібліогр. 10 назв.

УДК 620.197.3

Бондарь Е. С., Ткаченко С. В., Демченко А. М., Сизая О. И. Коррозионное поведение меди и хромированной стали в среде с бактериальной сульфатредукцией // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 117-121.

Исследовано коррозионное поведение меди и хромированной стали в нейтральной среде с бактериальной сульфатредукцией. Показано, что сульфатвосстанавливающие бактерии способны прикрепляться как к поверхности меди, так и к хромированной стали. При этом хромированная сталь является более устойчивой в указанной среде. Регуляция бактериальной сульфатредукции с помощью производных изохинолина с биоцидной активностью обеспечивает защитный эффект меди до 75%.

Табл. 3 Илл. 2. Библиогр. 10 назв.

UDC 620.197.3

Bondar E.S., Tkachenko S.V., Demchenko A.M., Syza O.I. Corrosion Behaviour of Copper and the Chrome-plated Steel in the Environment with Bacterial Sulphatereduction // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 117-121.

The corrosion behavior of copper and the chrome-plated steel in the neutral environment with bacterial sulphatereduction is investigated. It is shown that sulphatereducing bacteria are capable to be attached as to a copper surface, and the chrome-plated steel. Thus chrome-plated steel is steadier in the specified environment. Regulation bacterial sulphatereduction by means of derivatives isoquinoline with biocyde action provides protective effect of copper to 75 %.

Tabl. 3. Il. 2. Ref. 10.

УДК 620.197.3

Гуменюк О.Л., Квашук Ю.В., Антоненко В.П. Прогнозування впливу гербіцидних препаратів на корозійну стійкість металевих споруд і комунікацій // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 122-127.

Синтезовані нові похідні 3,4-дихлор-(2H)-піридазин-3-ону, проведені квантово-хімічні розрахунки (semi-empirical PM 3) параметрів їх молекул та зроблений прогноз щодо їх впливу на корозійні властивості металевих споруд. Зроблено висновок, що серед синтезованих сполук найбільшу протикорозійну ефективність слід очікувати у сполуки 5, що може бути наслідком збільшення кількості радикалів з системою спряжених π-зв'язків (фенільні радикали) і, як наслідок, зростання покривної здатності молекули; зростання як позитивного, так і негативного зарядів на реакційно-активних центрах молекул; введення

сильних електроноакцепторних замісників у фенільний радикал, що надає молекулі більшої полярності, в результаті чого полегшується фізична адсорбція інгібітора на поверхні металу.

Бібліогр.: 11 назв.

УДК 620.197.3

Гуменюк О.Л., Квашук Ю.В., Антоненко В.П. Прогнозирование влияния гербицидных препаратов на коррозионную стойкость металлических сооружений и коммуникаций // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 122-127.

Синтезированы производные 3,4-дихлор-(2Н)-пиридазин-3-она, проведены квантово-химические расчеты (semi-empirical PM 3) параметров их молекул и сделан прогноз касательно влияния этих веществ на коррозионные свойства металлических сооружений. Сделан вывод, что среди синтезированных соединений наибольшую противокоррозионную эффективность следует ожидать у соединения 5, что может быть следствием увеличения количества радикалов с системой сопряженных π-связей (фенильные радикалы) и, как следствие, увеличение покрывающей способности молекулы; увеличение как положительного, так и отрицательного зарядов на реакционно-активных центрах молекулы; введение сильных электроноакцепторных заместителей в фенильный радикал, что придает молекуле большую полярность, в результате чего облегчается физическая адсорбция ингибитора на поверхности металла.

Библиогр.: 11 назв.

UDC 539.3:539.4

Gumeniuk O.L., Kvashuk Y.V., Antonenko V.P. Forecasting of Influence Herbicide Preparations on Corrosion Resistance of Metal Structures and Communications // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 122-127.

Derivatives of the 4,5-Dichloro-2H-pyridazin-3-one are synthesized, the quantum mechanics (semi-empirical PM 3) parameters of their molecules are calculated and the forecast of the influence of these substances on corrosion properties of metal structures is made. The conclusion is made, that among the synthesized compounds greatest anticorrosion efficiency is probable to expect at compound 5, what can be a consequence of increase of an radicals with double aromatic bonds (phenyl radicals) and, as a consequence, increase of covering properties of a molecule; increase both positive, and negative charges on the reaction-active centers of molecule; introduction electron acceptor assistants at phenyl radical, that gives to a molecule of the greater polarity, therefore is facilitated physical adsorption of an inhibitor on a surface of metal.

Ref.: 11.

УДК 620.197.3

Слободян З.В., Маглатюк Л.А., Синіло В.М., Купович Р.Б. Особливості застосування інгібітора КОРСОЛ-2 для захисту локальних водооборотних систем // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 128-131.

Показано, що вода локальної оборотної системи АТ “СКФ УКРАЇНА” є корозійно-активною та схильною до соле- та біологічних відкладень. В результаті лабораторних та дослідно-промислових досліджень інгібіторів серії КОРСОЛ встановлено, що найвищий захист від корозії та солевідкладення виявляє модифікація КОРСОЛ-2. При цьому спостерігається і мінімальне мікробіологічне забруднення системи.

Табл. 3. Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 620.197.3

Слободян З.В., Маглатюк Л.А., Синило В.М., Купович Р.Б. Особенности применения ингибитора КОРСОЛ-2 для защиты локальных водооборотных систем // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 128-131.

Показано, что вода локальной оборотной системы АТ «СКФ УКРАИНА» является коррозионно-активной и склонной к соле – и биоотложениям. В результате лабораторных и опытно-промышленных испытаний ингибиторов серии КОРСОЛ установлено, что максимальная защита от коррозии и солеотложения наблюдается в присутствии модификации КОРСОЛ-2. При этом наблюдается и минимальное микробиологическое загрязнение системы.

Табл. 3. Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

UDC 620.197.3

SloboianZ.V., Mahlatiuk L.A., Synilo V.M., Kupovych R.B. Peculiarities of CORSOL-2 Inhibitor Use for Local Water-circuit Systems Protection // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 128-131.

It is shown that the water of local circulating system of JS Company “SKF UKRAINE” is corrosion-

active and has a tendency to salt- and bio- incrustation. By laboratory and research-industrial testing of CORSOL inhibitors it is established that the maximum protection against corrosion and scale incrustation was observed in the presence of CORSOL-2 modification. The minimum microbiological pollution of the system is observed too.

Tabl. 3. Ill. 3. Ref.: 5.

УДК 621.314.69

Гусєв О., Bisenieks L., Вінніков Д. Вхідний активний випрямляч для перетворювача вітрогенераторів на основі СМПМ // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 132-138.

Запропонований алгоритм керування ККМ для вхідного активного випрямляча у складі перетворювача для вітрогенераторів на основі СМПМ. Представлена нова топологія перетворювача для вітротурбін на основі СМПМ. Наведена топологія (керований випрямляч з квазі-імпедансним підсилювальним перетворювачем з гальванічною ізоляцією) ефективна для забезпечення постійної (400 В постійної напруги для перетворення в мережу 230 В) напруги і споживання лише активної потужності при змінній напрузі з виходу вітрогенератору. Показаний принцип дії та результати експериментів.

Іл. 9. Бібліогр: 8 назв.

УДК 621.314.69

Гусев А., Bisenieks L., Винников Д. Входной активный выпрямитель для преобразователей ветрогенераторов на основе СМПМ // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 132-138.

Предложен алгоритм управления ККМ для входного активного выпрямителя в составе преобразователей для ветрогенераторов на основе СМПМ. Представлена новая топология преобразователя для ветротурбин на основе СМПМ. Приведенная топология (управляемый выпрямитель с квазиимпедансным повышающим преобразователем с гальванической изоляцией) эффективна в обеспечении постоянного (400 В постоянного напряжения для преобразования в сеть 230 В) напряжения и потреблением только активной мощности при изменяемом напряжении с выхода ветронгенератора. Показан принцип действия и результаты экспериментов.

Ил. 9, Библ. 8 назв.

UDK 621.314.69

Husev A., Bisenieks L., Vinnikov D. Front-End Active Rectifier for Grid-Connected PMSG Based Wind Turbines // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 132-138.

PFC control algorithm for front-end active rectifier is proposed in grid connected PMSG based wind turbines application. The new converter topology for a PMSG based on VSWT is presented in this paper. This topology (controlled rectifier coupled with a quasi-Z-source based galvanically isolated step-up DC/DC converter) is essential to generate a regulated DC voltage (400 V DC typical for 230 V AC output) despite wide variations in the output voltage of a wind generator and consuming only active power. The operation principles of the proposed topology are given and experimental results are analyzed.

Fig. 9. Ref: 8 items.

УДК 662.63.002.8

Здановський В.Г., Шомін О.В., Денисова Н.М. Оцінка можливості використання біомаси для забезпечення енергетичної самодостатності регіонів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 139-143.

Проведено оцінювання та аналіз можливості використання біомаси в масштабах регіонів. Встановлено алгоритм впровадження альтернативних економічних енергоресурсів у вигляді біопалива (солома, відходи деревини, торф тощо).

Іл. 1. Бібліогр: 5 назв.

УДК 662.63.002.8

Здановский В.Г., Шомин А.В., Денисова Н.Н. Оценка возможности использования биомассы для обеспечения энергетической самодостаточности регионов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 139-143.

Проведена оценка и анализ возможности использования биомассы в масштабах регионов. Установлен алгоритм внедрения альтернативных экономичных энергоресурсов в виде биотоплива (солома, древесные отходы, торф и т.п.).

Ил. 1, Библ. 5 назв.

UDK 662.63.002.8

V. Zdanovski, O. Shomin, N. Denissova Estimation of the Possibility of the Use of Biomass for Energy Self-sufficiency of Regions // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 139-143.

Assessment and analysis of possible use of biomass in scale regions are made algorithm of introduction of alternative cost-effective energy in the form of biofuels (straw, wood waste, peat, etc.) is set.

Fig. 1. Ref: 5 items.

УДК 004.94; 004.75

Казимир В.В., Мушкетик І.І., Сіра Г.А. Розподілена система імітаційного моделювання EMS // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 144-153.

Сформовані основні вимоги до сучасної системи імітаційного моделювання. Пропонується та обґрунтовується нова розподілена система імітаційного моделювання, що відрізняється від інших підтримкою можливості взаємодії учасників моделювання різних типів під час проведення експерименту завдяки використанню архітектури HLA, потужним формальним апаратом управляючих Е-мереж з підтримкою стандарту PNML та зручним web-інтерфейсом користувача.

Іл. 4. Бібліогр: 10 назв.

УДК 004.94; 004.75

Казимир В.В., Мушкетик И.И., Серая А.А. Распределенная система имитационного моделирования EMS // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 144-153.

Сформированы требования к современным системам имитационного моделирования. Предлагается и обосновывается новая распределенная система имитационного моделирования, которая отличается от других возможностью взаимодействия участников моделирования разных типов во время проведения эксперимента благодаря использованию архитектуры HLA, мощным формальным аппаратом управляющих Е-сетей с поддержкой стандарта PNML и удобным web-интерфейсом пользователя.

Ил. 4, Библ. 10 назв.

UDC 004.94; 004.75

Kazymyr V.V., Mushketyk I.I., Sira G.A. Distributed Simulation System EMS // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 144-153.

Requirements to modern simulation systems are formulated. New distributed simulation system is proposed and justified. Ways it differs from other simulation systems are that modeling participants of different types can interact between each other during the experiment with help of HLA architecutre, powerful formal apparatus of control E-networks with support of PNML standard and convenient web-interface.

Fig. 4. Ref: 10 items.

УДК: 005.311.2:004.94

П.М. Павленко, Ю.В. Задонцев Інформаційна технологія управління професійним навчанням ІТ-фахівців промислових підприємств // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 154-160.

Представлено розробку нової інформаційної технології з підтримки процесів професійного навчання ІТ-фахівців в умовах діючих підприємств.

Іл. 6.

УДК: 005.311.2:004.94

П. Н. Павленко, Ю.В. Задонцев Информационная технология управления профессиональной учебой IT - специалистов промышленных предприятий // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 154-160.

Представлена разработка новой информационной технологии поддержки процессов профессионального обучения ИТ-специалистов в условиях действующих предприятий.

Ил. 6.

UDC: 005.311.2:004.94

P. N. Pavlenko, Y.V. Zadoncev. Information Technology of Management by the Professional Studies of IT - Specialists of Industrial Enterprises // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 154-160.

The development of new information technology to support processes of vocational training of IT professionals working in enterprises is presented.

Ill. 6.

УДК 681.3.082.5

Нестеренко С.О. Деталізація полігональних сіток послідовним виключенням вузлів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 161-168.

Запропоновано алгоритм ітеративного ущільнення полігональних сіток, що складаються з трикутників та чотирикутників. Алгоритм виключає вузли похідної сітки, заміняючи їх полігонами. Така ж заміна відбувається з ребрами, які заміняються чотирикутниками. Використання алгоритму призводить до побудови як граничної поверхні раціонального квадратичного В-сплайну.

Іл. 6. Бібліогр. :7 назв.

УДК 681.3.082.5

Нестеренко С.А. Детализация полигональных сеток последовательным исключением узлов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 161-168.

Предложен алгоритм итеративного уплотнения полигональных сеток, построенных из треугольников и четырехугольников. Алгоритм удаляет узлы исходной сетки, заменяя их полигонами. Такая же замена происходит с ребрами, которые заменяются четырехугольниками. Использование алгоритма приводит к построению предельной поверхности в виде рационального В-сплайна.

Илл. 6. Библиогр. :7 назв.

UDC 681.3.082.5

Nesterenko S.A. The Polygonal Mesh Refinement with Sequential Vertex Removing // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 161-168.

The iterative algorithm is proposed for refinement the polygonal meshes which consist of a triangles and quadrilaterals. During refinement each vertex will be replaced with the polygon and each edge – with quadrylateral. The limit surface for this algorithm is rational quadratic B-spline.

Ill. 6. Ref. :7.

УДК 004.93

Нікітенко Є.В., Силіченко О.І. Структура системи ідентифікації людини за зображенням обличчя // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 167-172.

Розроблена структура системи ідентифікації людини за зображенням обличчя, яка на відміну від існуючих, здійснює розпізнавання облич, виділення антропометричних точок та безпосередньо ідентифікацію на основі відгуку від різних алгоритмів, поєднання яких дозволяє підвищити достовірність результату ідентифікації

Іл. 3. Бібліогр.: 9 назв.

УДК 004.93

Никитенко Е.В., Силиченко А.И. Структура системы идентификации человека по изображению лица // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 167-172.

Разработана структура системы идентификации человека по изображению лица, которая в отличие от существующих, осуществляет распознавание лиц, выделение антропометрических точек и непосредственно идентификацию на основе отклика от различных алгоритмов, сочетание которых позволяет повысить достоверность результата идентификации.

Ил. 3. Библиогр.: 9 назв.

UDC 004.93

Nikitenko E.V., Silichenko A.I. Structure of Human Identification Face Image // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 167-172.

Developed structure of a person's face identification system, which is in contrast to existing, implements face recognition, searching anthropometric points and identification proper based on the response of different algorithms, a combination of which improves the reliability of identification results.

Ill. 3. Ref.: 9.

УДК 531

Єрошенко А.М., Міхнєва Г.П. Застосування штучних нейронних мереж в задачах багатопараметричної апроксимації // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 173-176.

Розглядаються алгоритми навчання штучної нейронної мережі, що дозволяють забезпечити високу збіжність та швидкодію навчання багатошарового персептрона в задачах багатопараметричної апроксимації при контролі процесу вимірювання поверхонь деталей на координатно-вимірювальної машині.

Бібліогр.: 8 назв.

УДК 531

Ерошенко А.М., Михнева Г.П. Применение искусственных нейронных сетей в задачах многопараметрической аппроксимации // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 173-176.

Рассматриваются алгоритмы обучения искусственной нейронной сети, позволяющие обеспечить высокую сходимость и быстродействие обучения многослойного персептрона в задачах многопараметрической аппроксимации при контроле процесса измерения поверхностей деталей на координатно-измерительной машине.

Библиогр.: 8 назв.

UDC 531

Eroshenko A.M., Mikhneva G.P. Application of Artificial Neural Networks in Problems Multi-parameter Approximation // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 173-176.

Learning algorithms of artificial neural networks to provide high convergence speed and training of multilayer perceptron in the problems of multi-parameter approximation for the control of the process of measuring surfaces of the parts on a coordinate-measuring machine are considered.

Ref.: 8.

УДК 62.523.2

Р.В. Заровський, Р.О. Бисько. Система керування трикоптером. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 177-184.

Розглянуто модель мультироторної системи на прикладі трикоптера, для якого запропоновано два варіанти системи керування. Проведено порівняння точності визначення кутів нахилу трикоптера за двома алгоритмами. Отримані результати можуть бути використані в подальшому для побудови систем керування мультироторними апаратами з використанням датчиків інерціальної навігації.

Іл. 9. Бібліогр. 5.

УДК 62.523.2

Р.В. Заровский, Р.А. Бысько. Система управления трикоптером. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 177-184.

Рассмотрена модель мультироторной системы на примере трикоптера, для которого предложено два варианта системы управления. Проведено сравнение точности определения углов наклона трикоптера по двум алгоритмам. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем для построения систем управления мультироторными аппаратами с использованием датчиков инерциальной навигации.

Илл. 9. Библиогр. 5

UDC 62.523.2

R.V. Zarovsky, R.A. Bysko. Tricopter Control System. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 177-184.

The model of multyrotor system as an example tricopter is considered for which two control system is given. Comparison of tilt angles of tricopter found by two different algorithms is given. The results can be used later for building control systems of multyrotor devices by using inertial navigation sensors.

Ill. 9. Ref. 5.

УДК 004.02

Поляков А. Ю. Криптографічний захист даних від реконструкції аналізом динаміки споживаної потужності // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 185-191.

Докладно розглянута операція дискретного піднесення до степеня, що має важливе значення у криптографічних механізмах асиметричної криптографії. Запропонована методика захисту від реконструкції даних методом аналізу споживаної потужності.

Іл. 5. Бібліогр.: 7 назв.

УДК 004.02

Поляков А. Ю. Криптографическая защита данных от реконструкции анализом динамики потребляемой мощности // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 185-191.

Подробно рассмотрена операция дискретного возведения в степень, имеющая важное значение в криптографических механизмах асимметричной криптографии. Предложена методика защиты от реконструкции данных методом анализа динамики потребляемой мощности.

Ил. 5. Библиогр.: 7 назв.

UDC 004.02

Polyakov A. J. Cryptographical Data Protection from Restoring Using Power Analysis Technology // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 185-191.

In the paper the operation of discrete exponentiation, that is very important at cryptographical mechanisms of asymmetric cryptography have been considered indeed. The method of cryptographical data protection from restoring using power analysis technology have been offered.

Ill. 4. Ref.: 7.

УДК 681.3.07

Гумен М.Б., Гумен Г.Ф., Концепція побудови систем радіочастотної ідентифікації об'єктів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 192-195.

Розглянуто концепцію побудови та описано систему спостереження за навколишнім середовищем і взаємодії з довкіллям на базі УВЧ РЧІД – технології. Система забезпечена РЧІД зчитувачем, який створює сферичне поле, що відстежує РЧІД мітки з інтегрованими сенсорами навколо користувача, не обмежена лише пошуком та ідентифікацією, а здатна також повідомляти користувача про стан відповідного об'єкта. Запропонована система разом з передовою технологією vOICe, а також програмним забезпеченням "штучного зору" буде особливо корисною для людей з вадами зору.

Іл. 2. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 681.3.07

Гумен М. Б., Гумен Г.Ф., Концепция построения систем радиочастотной идентификации объектов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 192-195.

Рассмотрена концепция построения и описана система наблюдения за окружающей средой и взаимодействия с ней на базе УВЧ РЧІД - технологии. Система обеспечена РЧІД датчиком, который создает сферическое поле, которое отслеживает РЧІД метки с интегрированными сенсорами вокруг пользователя, не ограничена лишь поиском и идентификацией, а способна также сообщать пользователю о состоянии соответствующего объекта. Предложенная система вместе с передовой технологией vOICe, а также программным обеспечением "искусственного зрения" будет особенно полезной для людей с проблемами зрения.

Ил. 2. Библиогр.: 8 наим.

UDC 681.3.07

Gumen M. B.,Gumen G. F., Conception of Construction of the Systems of Radio Frequency Authentication of Objects // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 192-195.

The concept of construction and describes the system environmental monitoring and interaction with the environment based on UHF RF – technology is considered. The system is provided by RFID reader that creates a spherical field that tracks the RFID tags with integrated sensors around the user, not only restricted the search and identification, and can also inform the user about the state of related objects. The proposed system together with advanced technology vOICe, as well as software "artificial vision" will be particularly useful for visually impaired people.

Ill. 2. Ref.: 8.

УДК 681.31

Бойченко О.В. Застосування експертних систем для автоматизації прийняття управлінських рішень // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 196-200.

Розглянуті проблеми застосування експертних систем у складі сучасних інформаційних систем прийняття рішень. Запропоновано застосування фрагменту нейтронної мережі для оптимізації функціонування експертної системи у складі автоматизованої управлінської інформаційно-телекомунікаційної структури підприємства.

Іл. 1. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 681.31

Бойченко О.В. Применение экспертных систем для автоматизации принятия управленческих решений // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 196-200.

Рассмотрены проблемы применения экспертных систем в составе современных информационных систем принятия решений. Предложено применение фрагмента нейтронной сети для оптимизации функционирования экспертной системы в составе автоматизированной управленческой информационно-телекоммуникационной структуры предприятия.

Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

UDC 681.31

Boychenko O.V. Application Of Consulting Models Is For Automation Of Acceptance Of Administrative Decisions // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 196-200.

The considered problems of Application of consulting models in composition the modern informative systems of making decision are considered. Application to the fragment of neutron network is offered for optimization of functioning of consulting model in composition automated administrative informatively telecommunication structures of enterprise.

Ill. 1. Ref.: 8.

УДК 005.8:519.95

Двоєглазова М.В.. Управління процесами взаємодії двох інформаційних систем. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 201-207.

Досліджено процес взаємодії двох інформаційних систем. Побудовано синергетичну модель інформаційних систем проекту та підприємства. Розглянуто механістичну схему процесу об'єднання двох економіко-інформаційних систем у вигляді тривимірної моделі.

Іл. 3. Бібліогр.8.

УДК 005.8:519.95

Двоеглазова М.В.. Управление процессами взаимодействия двух информационных систем. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 201-207.

Исследовано процесс взаимодействия двух информационных систем. Построена синергическая модель информационных систем проекта и предприятия. Рассмотрена механистическая схема процесса объединения двух экономико-информационных систем в виде трехмерной модели.

Илл.3. Библиогр.8

UDC 005.8:519.95

Dvoieglazova M.V.. Management by the processes of co-operation of two informative systems. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 201-207.

The process of co-operation of two informative systems is investigational. The sinergistical model of the informative systems of project and enterprise is built. The mechanical chart of process of association of two economic informative systems is considered as a three-dimensional model.

Ill.3. Ref. 8.

УДК 551.243

Іванішин В.А., Менайлов О.М., Шевченко А.Ф., Прибитько І.О. Про деякі загальні особливості морфології (у зв'язку з їх флюїдною провідністю) // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 208-214.

За результатами досліджень зроблені висновки про характер розкриття і закриття розривних порожнин і впливу на них різноманітних факторів.

Іл. 2. Бібліогр.: 7 назв.

УДК 551.243

Иванишин В.А., Менайлов А.Н., Шевченко А.Ф., Прибытько И.А. О некоторых общих особенностях морфологиии (в связи с их флюидной проводимостью) // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 208-214.

В работе устнаовлен характер раскрытия и закрытия разрывных полостей и установлено влияние на них различных факторов.

Ил. 2. Библиогр.: 7 назв.

UDC 551.243

Iwanischin V.A., Menailov O.M., Shevchenko A.F., Prybytko I.O. About Some Morphological Fracture (in connection with their fluid conductivity) // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 208-214.

The results of the investigations has given ground to draw the conclusion as for the character of uncovering and shutting of the explosive cavities and the influence of diverse factors on them.

Ill. 2. Ref.: 7.

УДК 519.6

Зацерковний В. І. Методика створення еталонних моделей просторових об'єктів ГІС за допомогою ортогональних багаточленів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 215-220.

Розглянута можливість застосування геоінформаційних систем та геоінформаційних технологій для діагностування стану природного середовища. Розроблена математична модель на базі ортогональних багаточленів, що дозволяє ефективно діагностувати стан навколишнього середовища в умовах поганої обумовленості задачі.

Іл. 1. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 519.6

Зацерковный В.И. Методика создания эталонных моделей пространственных объектов ГИС с помощью ортогональных многочленов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 215-220.

Рассмотрена возможность применения геоинформационных систем, геоинформационных технологий для диагностирования состояния природной среды. Разработана математическая модель на базе ортогональных многочленов, что позволяет эффективно диагностировать состояние окружающей среды в условиях плохой обусловленности задачи.

Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

UDC 519.6

Zatcerkovnyi V.I. Method of Creation of Standard Models of Spatial Objects of GIS by an Orthogonal Polynomial // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 215-220.

Possibility of application of the geoinformation systems and GIS technologies for the diagnosis of the state of natural environment is considered. The mathematical model is developed on the base of orthogonal polynomial to effectively diagnose the state of the environment in poor conditionality problem.

Ill. 1. Ref.: 8.

УДК 62.799:628.87

Мережаний Ю.Г. Підігрів повітря в чистих виробничих боксах для прецизійного складання гіроскопічних приладів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 221-225.

У роботі пропонується вентиляційно-опалювальна система підігріву приточного повітря, призначена для забезпечення гігієнічних і технологічних вимог щодо температурного режиму складальних виробничих приміщень прецизійного гіроскопічного приладобудування. Запропоновано спосіб підігріву приточного повітря, наведено необхідні теплоенергетичні розрахунки.

Бібліогр.: 4 назв.

УДК 62.799:628.87

Мережаный Ю.Г. Подогрев воздуха в чистых производственных боксах для прецизионной сборки гироскопических приборов // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 221-225.

В работе предлагается вентиляционно-отопительная система подогрева приточного воздуха, предназначенная для обеспечения гигиеничных и технологических требований относительно температурного режима сборочных производственных помещений прецизионного гироскопического приборостроения. Предложен способ подогрева приточного воздуха, приведено необходимые теплоэнергетические расчеты.

Библиогр.: 4 назв.

UDC 62.799:628.87

Merezhany Y.G. Warming Up Air in Clean Production Boxings for High-fidelity Assembling of Gyroscopic Devices // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 221-225.

In work the ventilating heating system of warming up of a stream of air, intended for maintenance hygienic and technology requirements concerning a temperature mode of assembly industrial rooms of precision gyroscopic instrument making is offered. The way of warming up of a stream of air is offered, is resulted necessary heat power calculations.

Ref.: 4.

УДК 632.953:635.21

Демчук І.В., Замай Ж.В. , Пустовойт А.М., Волкова І.В.. Використання біопрепаратів для адаптації рослин картоплі in vitro до умов in vivo // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 226-230.

Досліджено можливість підвищення адаптивної здатності рослин картоплі *in vitro* до умов ґрунту за допомогою біопрепаратів «Фітодоктор», «Мікосан», «Оптім-гумус» та «Кладостим». Визначено ауксинову, цитокінінову, гібберелінову активність їх розчинів та вивчено вплив біопрепаратів на ріст та продуктивність мікророслин картоплі при переведенні в умови *in vivo*. З'ясовано, що серед досліджуваних розчинів найбільшу активність за біотестами виявляє біопрепарат «Оптім-гумус», а на продуктивність рослин найкраще впливають препарати «Фітодоктор», «Кладостим», «Мікосан».

Табл.4 Бібліогр. 8 назв.

УДК 632.953:635.21

Демчук И.В., Замай Ж.В. , Пустовойт А.М. , Волкова И.В.. Использование биопрепаратов для адаптации растений картофеля in vitro к условиям in vivo // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 226-230.

Исследована возможность повышения адаптивной способности растений картофеля *in vitro* к условиям грунта с помощью биопрепаратов «Фитодоктор», «Микосан», «Оптим-гумус» и «Кладостим». Определены ауксиновая, цитокининовая, гиббереллиновая активность их растворов, изучено влияние биопрепаратов на рост и продуктивность микрорастений картофеля при переводе в условия *in vivo*. Установлено, что среди исследованных растворов наибольшую активность по биотестам проявляет биопрепарат «Оптим-гумус», а на продуктивность растений лучше всего влияют препараты «Фитодоктор», «Кладостим», «Микосан».

Табл.4 Библиогр. 8 назв.

UDC 632.953:635.21

Demchuk I., Zamay Zh., Pustovoyt A., Volkova I.. Using of Biological Preparations for Adaptation of in vitro Potato Plants to Conditions in vivo // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 226-230.

The possibility of improving the adaptive capacity of potato plants *in vitro* to conditions of soil by using biological preparations such as «Phytodoctor», «Mikosan», «Optim-humus» and «Kladostim» is investigated. Determination of auxin, cytokinin, gibberellic activity is learned the effect of biological preparations on growth and productivity of potato microplants upon transfer to conditions *in vivo* is studied. It was established that among the investigated solutions the most bioassay activity had biological preparation «Optim-humus», and plant productivity was increased after using of «Phytodoctor», «Kladostim», «Mikosan».

Tabl. 4. Ref. 8.

УДК 658.56

Іванова Ю.В., Менайлов О.М., Гавриленко О.І., Кириченко Т.М.. Розробка рекомендацій для вдосконалення нормативної документації ВАТ «Облтеплокомуненерго» за допомогою контрольних карт Шухарта. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2011. – № 3(51). С. 231-239.

Проведено аналітичні і експериментальні дослідження і розроблено рекомендації для вдосконалення нормативної документації ВАТ «Облтеплокомуненерго».

Іл. 6. Бібліогр.: 12.

УДК 658.56

Иванова Ю.В., Менайлов А.Н., Гавриленко А.И., Кириченко Т.М.. Разработка рекомендаций для усовершенствования нормативной документации ОАО «Облтеплокомунэнерго» с использованием контрольных карт Шухарта. // Вестн. Черниг. Гос. Технолог. ун-та, 2011. - №3(51). С. 231-239.

Проведены аналитические и экспериментальные исследования и разработаны рекомендации для усовершенствования нормативной документации ОАО «Облтеплокомунэнерго».

Илл. 6. Библиогр.: 12.

UDC 658.56

Ivanova Yu., Menaylov O., Gavrilenko O., Kirichenko T.. Development of Recommendations for Regulatory Document Improvement of OJSC «Oblteplocomunenergo» with the Assistance of Shukhart Control Cards. // Journal of Chernihiv State Technological University, 2011. № 3(51). P. 231-239.

Analytical and experimental studies were carried out and recommendations for regulatory document improvement of OJSC «Oblteplocomunenergo» were developed.

Ill. 6. Ref.: 12.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, ЯКІ НАДАЮТЬСЯ 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 в текстовому редакторі Word for Windows 98/2000/XP шрифтом Times New Roman (кегель 12) у режимі 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, кегель 12, 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 центру без абзацу, відступ зверху 6 пт, кегель 10). Кількість співавторів не повинна перевищувати трьох. В сбірнику 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 літературних джерел** (вирівнювання по ширині без абзацу, кегель 12). В списку літературних джерел, який формується в порядку посилання згідно вимог до 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 лівому краю. 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), напрям наукової діяльності, службова й електронна адреси, службовий і домашній номери телефонів; анотації українською, російською, англійською мовами; дискета 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: м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, кімн. 242, 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) в режиме 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 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 виборе 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 литературных источников** (выравнивание по ширине без абзаца, кегель 12). В списке литературных 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 левому краю. 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), направление научной деятельности, 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: Україна, 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, кімн. 242.
E-mail: cstu@stu.cn.ua. **Телефон для справок:** (04622)3-42-44

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. 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 left edge. 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: Ukraine, 14027, Chtrnigov, Shevchenko str., 95, build. 1, r. 242.
E-mail: cstu@stu.cn.ua. **Phone for inquiries:** +38(04622)3-42-44

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

№ 3(51)

Головний редактор: В.В. Казимир
Відповідальний за випуск: О.І. Пилипенко
Комп'ютерний макет: С.В. Бойко

Підписано до друку 25.08.2011 р. Формат 60х90/8. Папір типовий. Друк офсетний.
Гарнітура Tames New Roman. Умов. друк. арк. – 30,34. Обл. – вид. арк. – 26,0.
Тираж 300 прим. Замовлення № 935.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського державного технологічного університету 14027,
Україна м. Чернігів, вул. Шевченка, 95. Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
України суб'єктів видавничої справи ДК №840 від 04.03.2002 р.