

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Хавіна Інна Петрівна

УДК 681.3.07 : 621.9.01

**СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ПРИ КЕРУВАННІ ПРОЦЕСАМИ ВИГОТОВЛЕННЯ
ОПТИЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
ДМИТРИЄНКО ВАЛЕРІЙ ДМИТРОВИЧ,
Національний технічний університет “Харківський
політехнічний інститут”, професор кафедри обчислю-
вальна техніка та програмування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кузнєцов Борис Іванович,
Національний технічний університет “Харківський
політехнічний інститут”, професор кафедри колісних
та гусеничних машин

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Суздаль Віктор Семенович,
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України
ст. науковий співробітник відділу технології вирощу-
вання монокристалів

Захист відбудеться “ 13 ” листопада 2008 року о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “ 26 ” вересня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Гамаюн І. П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За останнє десятиліття значно зросло застосування виробів з оптичних полімерів (ОП), які використовуються в детекторах прискорювачів елементарних частинок та ядерних випромінювань, оптико-волоконному зв'язку, діагностичній медичній апаратурі, сонячних конвекторах, радіаційних дозиметрах. Збільшення потреби в таких виробках вимагає сучасного підходу – автоматизації виробництва на основі гнучких виробничих модулів (ГВМ), у яких реалізовані оптимальні технологічні структури та системи керування, що забезпечують ефективне ведення технологічних процесів (ТП). У ГВМ за допомогою інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР) щодо креслення виробу синтезується оптимальні технологічні процеси виготовлення виробу (визначається необхідний набір операцій та послідовність їх виконання, обладнання гнучких виробничих модулів, мастильно-охоложене технологічне середовище (МОТС), оснащення і інструмент) та здійснюється процес оптимального керування виготовленням виробів, що забезпечує їхні необхідні параметри при дії всіх допустимих дестабілізуючих факторів. Виробництво оптичних полімерних виробів має ряд особливостей, пов'язаних з їхніми властивостями та високими вимогами до експлуатаційних характеристик виробів, та належить до класу серійного виробництва, обсяг якого становить десятки тонн, а номенклатура досягає десятка найменувань і сотень типорозмірів. У галузі виробництва виробів полімерної оптики відсутній який-небудь досвід застосування гнучких виробничих модулів і відповідних систем керування, які враховують особливості технологічних процесів, тому актуальним є створення систем підтримки прийняття рішень при керуванні виготовленням виробів з оптичних полімерів, що становить напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки та програмування НТУ “ХПІ” відповідно до держбюджетних науково-дослідних робіт за планом МОН України “Розробка теорії і методів штучного інтелекту для моделювання й оптимізації динамічних об’єктів” (№ ДР 0104U003016), “Розвиток теоретичних основ нейронних мереж адаптивної резонансної теорії для оптимізації складних процесів” (№ ДР 0107U000598) та “Створення концепції керування і забезпечення якості прецизійних сцинтиляційних виробів на основі системного підходу” (№ ДР 0104U003014), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розробка системи підтримки прийняття рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів виготовлення оптичних полімерних виробів.

Для досягнення мети поставлені такі задачі:

1. Провести огляд методів синтезу структури технологічного процесу та оптимального керування в галузі автоматизованих технологічних систем лезової обробки.
2. Розробити концепцію системи підтримки прийняття рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів, структури гнучких виробничих модулів та маршрутної технології виготовлення виробів полімерної оптики.
3. Розробити систему класифікації й кодування інформації технологічних процесів виготовлення виробів з оптичних полімерів.
4. Створити спеціалізовану базу знань технологічних процесів виготовлення виробів з оптичних полімерів.
5. Формалізувати задачу структурної оптимізації та розробити метод визначення оптимальної структури ТП за заданими характеристиками виробу.
6. Сформулювати та розв'язати задачу оптимального керування операціями лезової обробки оптичних полімерів з урахуванням зносу інструменту при наявності технологічних обмежень і експлуатаційних вимог до якості виробів.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виготовлення виробів полімерної оптики.

Предмет дослідження – система підтримки прийняття рішень для автоматизації технологічних процесів виготовлення виробів з оптичних полімерів.

Методи дослідження – теорія лезової обробки оптичних полімерних матеріалів – при створенні структурної схеми процесу виготовлення виробів; теорія прийняття рішень – при розробці системи підтримки прийняття рішень (СППР); методи штучного інтелекту і методи теорії розпізнавання образів – при розробці бази знань; метод міркувань і теорія нейронних мереж – при розв'язанні задач синтезу оптимальних технологічних процесів і апроксимації експериментальних даних; теорія керування – при постановці задачі керування операціями; нелінійне програмування – при розв'язанні задачі оптимального керування технологічними операціями; комп'ютерне моделювання при перевірці працездатності СППР.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1. Вперше для розв'язання задачі визначення оптимальної структури технологічного процесу виготовлення виробів полімерної оптики запропонована концепція СППР, яка оснований на методах штучного інтелекту, які на відміну від відомих аналітичних підходів дозволяють описати процеси, що не мають строгої формалізації.
2. Набула подальшого розвитку система кодування інформації про вироби полімерної оптики, технологічні процеси їх виготовлення та характеристики

обробного обладнання, що дозволяє формалізувати опис процесів лезової обробки та використати опис у СППР для керування технологічними процесами.

3. Вперше розроблені одномодульні дискретні нейронні мережі (НМ) адаптивної резонансної теорії (АРТ), які на відміну від відомих нейронних мереж АРТ, що визначають єдине рішення, дозволяють отримувати не тільки одне, але і множину можливих рішень, якщо вони є, у задачах розпізнавання та класифікації зображень.

4. Вперше розроблена база знань технологічних процесів виготовлення виробів полімерної оптики, що дозволяє автоматизувати процеси виготовлення виробів з оптичних полімерів.

5. Удосконалено ієрархічну нейронну мережу на базі одномодульних дискретних мереж АРТ, що на відміну від відомих, які визначають на кожному рівні ієрархії єдине рішення, дозволяє одержати не тільки одне рішення, а множину можливих рішень, що дає можливість моделювати послідовність міркувань експертів і розробляти на її основі бази знань, у тому числі і щодо вибору обладнання для реалізації ТП лезової обробки виробів з оптичних полімерів.

6. Дістала подальшого розвитку метод обробки інформації в дискретних нейронних мережах АРТ, що на відміну від відомого методу, який використовує тільки одиничні (чорні) елементи, дозволяє враховувати подібність чорнобілих зображень по всіх елементах, що істотно розширює галузь застосування НМ для рішення задач розпізнавання і класифікації.

7. Дістала подальшого розвитку постановка задачі оптимального керування операціями лезової обробки, де на відміну від відомих ураховуються експлуатаційні обмеження щодо якості оптичних полімерних виробів і поточний знос інструменту, а задачі оптимального керування зведені до задачі нелінійного програмування.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено методику побудови СППР у галузі виробництва виробів з оптичних полімерних матеріалів, яка може бути використана при побудові ГВМ. Розроблено СППР, яка реалізована у вигляді програмного комплексу, що може бути використано в системах керування автоматизованим виробництвом виробів з оптичних полімерів. Впровадження результатів роботи здійснене на ДП ХМЗ “ФЕД” (м. Харків) для ТП виготовлення високоточних оптичних виробів і ДП “ІОМЗ ХОЛДІНГ” (м. Ізюм) для вибору структур та режимів оптимального керування технологічними операціями виготовлення виробів з ОП. Результати досліджень дозволили скоротити вартість підготовчих робіт на 20–25 % і зменшити собівартість технологічних операцій з виготовлення оптичних виробів на 15–30 %. Матеріали роботи використовуються в навчальному процесі кафедри обчислювальної тех-

ніки та програмування НТУ “ХП”.

Особистий внесок здобувача. Постановка задачі, вибір методів і аналіз результатів виконані разом з науковим керівником. Усі основні результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: система класифікації і кодування інформації, база знань технологічного процесу, ієрархічна нейронна мережа на одномодульних дискретних нейронних мережах адаптивної резонансної теорії, задача оптимального керування операціями лезової обробки та метод її розв’язання, алгоритми, програмне забезпечення і числові розрахунки маршрутних технологій виробничих модулів для виготовлення виробів “Dedal” і “Tile”, розрахунки режимів оптимального керування операціями.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення дисертаційної роботи повідомлені, обговорені і схвалені: на XIV міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології: тенденції розвитку” (м. Харків – Алушта, 2005 рр.), на 5-й, 6-й і 7-й міжнародних науково-технічних конференціях “Проблеми інформатики і моделювання” (м. Харків, 2005, 2006, 2007 рр.), на XIV і XV міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології, наука, техніка, освіта, здоров'я” (м. Харків, 2006, 2007 рр.), на 11-му міжнародному форумі “Радіoeлектроніка і молодь в XXI ст.” (м. Харків, 2007 р.), на 3-й та 4-й науково-практичних конференціях Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба (м. Харків, 2007, 2008 рр.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 15 наукових праць, з них 10 – у фахових виданнях ВАК України.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків та 8 додатків. Повний обсяг дисертації становить 264 сторінки, включаючи 26 рисунків по тексту, 23 рисунки на 15 окремих сторінках, 10 таблиць по тексту, 20 таблиць на 16 окремих сторінках, 124 найменування використаних джерел на 12 сторінках, додатки на 72 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розглянуто сучасний стан автоматизації процесів виробництва виробів з оптичних полімерів, обґрунтована актуальність проведення досліджень, сформульовані мета і задачі роботи, показані наукова новизна та практична цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** роботи проведено огляд літератури і аналіз досліджень з синтезу структури та оптимального керування автоматизованими технологічними системами в галузі лезової обробки матеріалів, розглянуті особливості ТП

виготовлення виробів з оптичних полімерів як об'єктів керування. Проаналізовано методи моделювання, оптимізації та керування ТП лезової обробки методами штучного інтелекту та методи нелінійного програмування. Показано, що сучасним напрямком удосконалювання виробництва обробки матеріалів є застосування автоматизованих ГВМ із верстатів, оснащених комп'ютерними системами організаційно-технологічного забезпечення. Незважаючи на початкові витрати, застосування ГВМ є економічно ефективним і дозволяє зменшити собівартість обробки.

При синтезі оптимального ТП лезової обробки ОП необхідно вирішувати задачі оптимального вибору виготовлення заготовки, маршруту обробки, структури операцій, обладнання та ін. Задача синтезу оптимальної структури ТП, у тому числі і для ГВМ, характеризується низькою формалізацією при багатоваріантності рішень, багатомірністю, наявністю емпіричної інформації та схованих об'єктивних законів. Існує ряд підходів до розв'язання задач синтезу оптимальних структур ТП, але можливості прогресуючої галузі наукового знання – штучного інтелекту використовуються не повною мірою. Проведений огляд показав високу ефективність методів штучного інтелекту при розв'язанні задач ідентифікації та моделювання технологічних процесів обробки матеріалів, тому перспективним вбачається розвиток даного напрямку для пошуку оптимальних технологічних структур. Автоматизований процес обробки різанням оптичних полімерних матеріалів є об'єктом керування, де входними величинами є параметри заготовки та інструменту, керуваннями – подача, швидкість і глибина різання, вихідними змінними – фізичні і технологічні показники, що характеризують процес обробки та якість виробу. Практично не вирішені задачі оптимального керування операціями лезової обробки оптичних полімерів з урахуванням експлуатаційних вимог до виробів і зносу інструменту в процесі експлуатації. Обґрунтовуються напрямки досліджень, мета та завдання роботи.

Другий розділ присвячений розробці структурної моделі ТП обробки оптичних полімерів і формуванню бази знань, що є основою СППР для синтезу ТП виготовлення виробів з ОП. Для забезпечення концептуальних і методологічних основ запропонованої в роботі СППР була розроблена загальна структурна схема ТП лезової обробки, яка відбиває процес міркувань технолога щодо організації виробництва виробів полімерної оптики та складається з двох етапів: перший – визначення структури технологічного процесу, другий – визначення оптимальних керувань для кожної операції процесу з урахуванням технологічних і експлуатаційних обмежень (рис. 1). На основі структурної схеми розроблено алгоритм оптимізації ТП виготовлення виробів з ОП, запропоновано метод кодування інформації, створено базу знань ТП, що включає опис ви-

робів, способи одержання заготовки, визначення стадій та типів технологічних операцій, завдання допусків та припусків на обробку, дані обробного обладнання, інструменту, пристосувань і МОТС та дані для визначення станів процесів різання.

Одна частина бази знань визначена продукційними правилами та реалізована мовою Visual Prolog, друга частина бази, що зберігає знання про параметри ТП (кодування виробів, обладнання), створена за допомогою нових НМ АРТ-1s та АРТ-1h, що базуються на НМ АРТ-1, яка має властивість пластичності до нових даних та стабільності отриманої інформації.

Ще однією складовою бази знань є інформація про стан процесів обробки ОП і якість виробу, що з'єднує керування – подачу, швидкість і глибину різання зі зносом інструменту, шорсткістю обробленої поверхні, температурою у зоні різання, коефіцієнтом внутрішнього відбиття, величиною деструкції поверхневого шару, величиною пружного відновлення поверхні, і коефіцієнтами, що враховують вплив зносу інструменту на процес обробки. Для процесів різання ОП такі залежності в явному вигляді в даний момент відсутні і у роботі для створення бази знань щодо оцінки стану процесів різання ОП використані експериментальні залежності. Для апроксимації експериментальних даних та зберігання інформації застосовувалася НМ перцептрон з двома схованими шарами.

Третій розділ присвячено формалізації та розв'язанню задачі оптимізації структури процесів виготовлення оптичних полімерних виробів. Формалізація ТП виготовлення виробів полімерної оптики базується на загальних закономірностях процесів механообробки та описується сукупністю трьох взаємозв'язаних моделей: часовою, функціональною і просторовою. До початкових даних процесу механообробки належать: відомості про виріб та часова структура принципової схеми процесу $S_B = E_1, E_2, \dots, E_K$, що є впорядкованою послідовністю етапів обробки заготовки E_1, E_2, \dots, E_K . Опис множини функцій кожного i -го етапу ($i = \overline{1, K}$) подається у вигляді послідовності операцій O_{ij} ($j = \overline{1, J_i}$, J_i – кількість послідовних операцій на i -му етапі), що перетворюють проміжний C_{i-1} стан заготовки в подальший C_i . Перебування заготовки на i -му етапі C_i розглядається як множина поверхонь, що обробляються $\Pi_{il}, l = \overline{1, L_i}$ (L_i – число поверхонь, що обробляються на i -му етапі) та їх параметрів $\varepsilon_{il}^{k_l}, k_l = \overline{1, d_{il}}$, (d_{il} – число параметрів l -тої поверхні на i -му етапі) $C_i = \{\Pi_{i1}(\varepsilon_{i1}^{k_1}), \Pi_{i2}(\varepsilon_{i2}^{k_2}), \dots, \Pi_{ir}(\varepsilon_{ir}^{k_r})\}, r = d_i$. Технічними обмеженнями, що визначають можливі варіанти технологічного маршруту є: набір обладнання та його технічні і економічні характеристики; наявний набір інструменту та його

характеристики; оснащення та його технічні характеристики; МОТС та їх характеристики. Часова модель S_{BE} визначає склад і послідовність операцій O_{ij} в часі при реалізації кожного з етапів обробки заготовки $S_{BE} = \{O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{in_i}\}$, де O_{ij} – j -та послідовна операція на E_i -му етапі. Функціональна модель S_Φ визначає порядок перетворення з початкового стану (заготовка) C_0 в кінцевий стан (виріб) C_K за допомогою послідовності набору операцій O_i , $S_\Phi = C_0 O_1 C_1 O_2 C_2, \dots, O_K C_K$, де $O_i = \{O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{in_i}\}$. Просторова модель технологічного маршруту, що визначає схему установки деталі на столі верстата, задається графом $S_\Pi(B, P)$, вершини якого B відповідають базовим поверхням, а дуги P – розмірним зв'язкам, та зв'язкам за точністю між базовими поверхнями і іншими поверхнями, що обробляються. Задача синтезу процесу полягає в тому, щоб на кожному i -му етапі визначити найбільш раціональну часову структуру маршруту обробки заготовки $S_{BE}^{pac} = O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{in_i}$, (n_i – раціональна кількість операцій на i -му етапі), яка включає встановлення послідовності операцій, повну функціональну структуру маршруту $S_\Phi(C, O)$, набір обладнання, інструмент, оснастку та МОТС. У роботі для розв'язання задачі вибору оптимальної структури ТП виготовлення виробів запропоновано підхід, що використовує позитивний досвід організації ТП, накопичений в галузі обробки різанням, – “механізм міркувань на основі досвіду”, реалізований методами штучного інтелекту – нейронними мережами та продукційними правилами.

У роботі за базу знань обрана НМ АРТ-1 та розроблені у дисертації НМ АРТ-1s і АРТ-1h. Для визначення ступеня правдоподібного випадку використано метод аналогії як найбільш гнучкий спосіб використання знань. Як критерій аналогії прийнято спеціальний заданий параметр схожості вхідного вектора даних з прототипом, що зберігається у коефіцієнтах вагових зв'язків НМ, таким чином здійснюється пошук рішення з задалегідь заданим ступенем схожості. Як критерій оптимальності технологічного ланцюжка застосованого обладнання була обрана вартість роботи кожної одиниці обробного обладнання за одну годину, а спосіб одержання заготовки, послідовність операцій, допуски й припуски, послідовність обробки поверхонь, кількість проходів визначаються, виходячи з досвіду механообробки у даній галузі.

Набір поверхонь і кількість стадій обробки цих поверхонь, схема та кількість встановлень заготовки на верстаті, вибір встановлених баз та порядок обробки поверхонь заготовки визначається на основі досвіду із застосуванням продукційних правил. Інструмент та пристосування визначаються залежно від конфігурації виробу, виду операції та типу верстата і також із застосуванням

продукційних правил. Для розв'язання завдання оптимального вибору верстатного обладнання застосовувалася розроблена ієрархічна НМ, що моделює послідовність міркувань технолога та ґрунтується на нових нейронних мережах АРТ-1s (рис. 3) та АРТ-1h. Вона складається з трьох модулів та визначає підмножину всіх верстатів, на яких можливо виконати задану операцію. Із цієї підмножини вибирається верстат з мінімальною вартістю одиниці робочого часу, що забезпечує мінімальну собівартість операції. Залежно від виду операції за продукційними правилами визначається МОТС.

Для забезпечення одержання множини можливих рішень у задачах розпізнавання в роботі запропоновані дві нові дискретні нейронні мережі АРТ-1s і АРТ-1h та режими їх функціонування. Мережа АРТ-1h складається з двох модулів АРТ-1, що дозволяє здійснювати ідентифікацію за всіма компонентами вектора. Одиничні (чорні) компоненти зберігають нейрони модуля M_1 , а нульові (білі) – нейрони модуля M_2 .

Мережа АРТ-1s складається з двох модулів АРТ-1, що дозволяє здійснювати ідентифікацію за всіма компонентами вектора. Одиничні (чорні) компоненти зберігають нейрони модуля M_1 , а нульові (білі) – нейрони модуля M_2 .

Ефективність СППР із застосуванням НМ залежить від якості режимів навчання. Для підвищення якості навчання були запропоновані нові методи навчання дискретних нейронних мереж АРТ-1 із вчителем без адаптації ваги зв'язків розподілених нейронів і на їхній основі – нові режими функціонування мереж АРТ-1.

Як приклад для розв'язання задачі визначення оптимальної структури ТП проведено визначення оптимальних структур ТП виготовлення виробів “Dedal” и “Tile”. Результати наведено у додатках дисертаційної роботи у вигляді маршрутних карт технологічних процесів.

Четвертий розділ присвячений постановці та розв'язанню задачі оптимального керування операціями лезової обробки ОП при керуваннях, що змінюються за період стійкості інструменту, – подачі, швидкості і глибини різання. Розглянуто математичну модель керування операціями обробки різанням ОП. Вхідними величинами моделі є матеріал заготівки, інструмент та МОТС. Шукані параметри керування – швидкість $v(\tau)$, подача $s(\tau)$ та глибина різання $t(\tau)$, що змінюються в часі τ . Шукані вихідні змінні подані величинами, що входять у рівняння процесу: обсяг матеріалу, що зрізується, величина зносу інструменту, шорсткість обробленої поверхні, температура різання, глибина зміненого шару обробленої поверхні, пружне відновлення матеріалу і змінними, які явно не входять у рівняння: коефіцієнт внутрішнього відбиття виробу, дотична і нормальна – складові сил різання та максимальні напруження, що ви-

никають в інструменті. ТП обробки описується системою диференціальних рівнянь з відомими початковими й кінцевими умовами.

Слід відзначити, що в теорії різання оптичних полімерів відсутні якінебудь відомості про вид функцій відповідно функції швидкості зносу інструменту, зміни шорсткості, температури, деструкції та пружного відновлення, внаслідок цього визначення вихідних змінних здійснюється непрямим способом, за допомогою розробленої бази знань, що забезпечує коректне визначення змінних стану з урахуванням впливу зносу інструменту.

У якості критерію оптимальності технологічної операції обрано критерій мінімальної наведеної собівартості, що обчислюється як відношення вартості операції за період стійкості інструменту до обсягу матеріалу, який знімається за цей період часу. Величина наведеної собівартості W має вигляд $W = (E(T + \tau_{\text{см}}) + I)/V_0$, де E – наведені витрати на експлуатацію верстата і зарплату робітника; T – період стійкості інструменту; $\tau_{\text{см}}$ – тривалість простою верстата, зв'язана зі зміною інструменту; I – наведені витрати, обумовлені експлуатацією інструменту за період його стійкості; $V_0 = \int_0^T v(\tau)s(\tau)t(\tau)d\tau$ – об-

сяг матеріалу, що знімається за період стійкості інструменту. Для обліку впливу зносу інструменту використовуються коригувальні коефіцієнти, що визначені експериментально. При виконанні операції повинні бути виконані обмеження на керування, які обумовлені можливостями верстата, інструменту та досвідом обробки матеріалу. Відповідно до технологічних і експлуатаційних вимог до процесу виготовлення і якості ОП виробів враховувались обмеження: граничні значення для шорсткості, внутрішнього відбиття, глибини ушкодженого шару і пружного відновлення для обробленої поверхні, а також температури різання і максимальних напружень в інструменті.

У роботі запропоновано підхід, що дозволяє звести задачу оптимального керування до задачі нелінійного програмування. Для розв'язання задачі нелінійного програмування використовується метод штрафних функцій, який дозволяє звести задачу до послідовності задач безумовної мінімізації, котрі розв'язувались методом координатного спуску в комбінації з методом золотого перетину, а також методом Пауелла.

Для гарантованого забезпечення шорсткості поверхні в режимі оптимального керування розглянуто можливість періодичного контролю зносу інструменту і шорсткості поверхні та корекцію керування в реальному часі.

У розробленій СППР розрахунки оптимальних керувань процесами обробки ОП реалізовано за допомогою розробленого програмного комплексу

Optic_optim. Подано розрахунки оптимального керування операціями фрезерування при $t = const$, за допомогою яких, відповідно до синтезованого у роботі технологічного маршруту виготовляється виріб "Tile" – пластина з полістиролу з канавкою під світловод.

Оптимальні керування для операцій фрезерування канавки під світловод надано в додатках та мають подібний вигляд.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що застосування оптимального керування операційними параметрами процесу може знизити сумарну операційну собівартість, наприклад, виробів "Tile", на 40–45 %.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана науково-практична задача в галузі автоматизації керування – розробка системи підтримки прийняття рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів виготовлення оптичних полімерних виробів. Основні результати роботи полягають у наступному.

1. Аналіз сучасного стану виробництва виробів полімерної оптики показав відсутність прогресивних методів виробництва на основі гнучких виробничих модулів і актуальність створення автоматизованих систем керування процесами виготовлення оптичних полімерних виробів.

2. На основі системного підходу розроблено концепцію системи підтримки прийняття рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів, гнучких виробничих модулів і оптимального керування операціями виготовлення оптичних полімерних виробів, яка базується на досвіді лезової обробки оптичних полімерів та дозволяє автоматизувати процес виготовлення виробів.

3. Розроблено структурну схему ТП лезової обробки виробів з оптичних полімерів, у якій ураховуються властивості виробу, формується область рішень, що допускаються, обирається спосіб одержання заготівки, визначається структура ТП в цілому та режими керування кожною технологічною операцією, що дозволило створити алгоритм оптимізації ТП і структуру бази знань ТП виготовлення оптичних полімерних виробів.

4. Розроблено систему класифікації та кодування інформації про вироби полімерної оптики, характеристики обробного обладнання та про ТП виготовлення виробів полімерної оптики, що дозволило формалізувати опис процесів лезової обробки та використати його в СППР для визначення оптимальної структури процесу.

5. На основі структурної схеми та запропонованої системи кодування інформації створена база знань ТП, що включає опис виробів, способи одержання заготівки, визначення стадій і типів технологічних операцій, задання допусків і припусків на обробку, знання про обробне обладнання, інструменти, пристосу-

вання та мастильно-охолодні технологічні середовища, знання про процеси різання ОП, що дозволило розробити СППР для синтезу оптимальних ТП обробки оптичних полімерів.

6. Розроблено метод визначення оптимальної структури ТП виготовлення виробів полімерної оптики із заданими характеристиками, що реалізує механізм міркувань на основі досвіду організації ТП в галузі обробки різанням. Метод здійснений за допомогою вдосконалених дискретних НМ адаптивної резонансної теорії, у яких дістали подальшого розвитку способи обробки інформації в нейронних мережах АРТ, які враховують подібність чорно-білих зображень по всіх елементах, на відміну від відомих мереж АРТ-1, що розширює галузь застосування НМ для розв'язання задач розпізнавання і класифікації та дозволило автоматизувати структурний синтез ТП обробки ОП.

7. Розроблено ієрархічну НМ на базі вперше запропонованих одномодульних дискретних мереж АРТ-1, які дозволяють одержати одне або множину можливих рішень у задачах розпізнавання та класифікації даних, що дало можливість моделювати послідовність міркувань експертів і розробити на її основі базу знань обладнання виробничого процесу.

8. Поставлена і вирішена задача оптимального керування операціями лезової обробки, у якій на відміну від відомих враховуються експлуатаційні вимоги до якості оптичних полімерних виробів та поточний знос інструменту, а цільовий функціонал і обмеження задані в неявному вигляді, що разом забезпечило зниження сумарної операційної собівартості виробу “Tile” на 40–45 %.

9. Створено програмне забезпечення, що реалізує СППР для синтезу структури ГВМ і оптимальних ТП виготовлення виробів полімерної оптики. Здійснено розв'язання практичних завдань з визначення оптимальних маршрутних технологій і структур ГВМ, а також режимів керування операціями ТП виготовлення виробів “Dedal” і “Tile”, що використовуються у детекторах випромінювань. Створена СППР використана на ДП ХМЗ “ФЕД” при розробці ТП виготовлення високоточних оптичних виробів та на ДП “ІОМЗ ХОЛДІНГ” для вибору структур та режимів оптимальних керувань технологічними операціями виготовлення виробів з ОП. Матеріали роботи використовуються в навчальному процесі кафедри обчислювальної техніки та програмування НТУ “ХПІ”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Хавина И.П. Применение методов искусственного интеллекта для выбора структуры технологического процесса лезвийной обработки / И.П. Хавина, А.А. Чернышов., Н.В. Везуб // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – 2005. – № 24. – С. 219–226.

Здобувачем застосовано метод міркувань на основі досвіду для вибору структури процесу лезової обробки оптичних полімерів.

2. Хавина И.П. Применение методов искусственного интеллекта для создания базы данных ТП обработки оптических полимерных изделий / И.П. Хавина, А.А. Чернышов // Резание и инструмент в технологических системах. – 2005. – Вып. 69. – С. 353–364.

Здобувачем запропоновано та реалізовано нейронну мережу як базу знань про режими обробки ОП.

3. Хавина И.П. Применение методов искусственного интеллекта для расчета оптимальных процессов лезвийной обработки оптических полимерных изделий / И.П. Хавина // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – 2005. – № 46. – С. 176 – 185.

4. Нейросетевые методы решения задачи рационального выбора заготовки изделий полимерной оптики / Н.В. Верезуб, В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина, Ю.С. Клемешова, К.В. Семененко, В.В.Ивкин // Високі технології в машинобудуванні. – 2006. – Вип. 1 (12). – С. 85 – 92 .

Розроблено систему класифікації та кодування інформації про ОП виробу.

5. Дмитриенко В.Д. Алгоритмы обучения дискретных сетей АРТ без адаптации весов связей распределенных распознающих нейронов / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, И.П. Хавина // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – 2006. – № 23. – С. 35 – 48.

Здобувачем проведено тестування нових алгоритмів навчання мереж АРТ.

6. Верезуб Н.В. Особенности представления аналитико-экспериментальных данных для моделирования технологических процессов / Н.В. Верезуб, А.А. Чернышов, И.П. Хавина // Високі технології в машинобудуванні. – 2007. – Вип. 1(14). – С. 132 – 141.

Здобувачем для опису технологічних процесів запропоновано підхід, заснований на нейронних мережах.

7. Дмитриенко В.Д. Постановка задачи оптимального управления операцией лезвийной обработки оптических полимеров / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 2 (60). – С. 20 – 22.

Здобувачем сформульовано задачу оптимального керування операціями лезової обробки ОП.

8. Дмитриенко В.Д. Вычислительная сеть для решения задач распознавания с несколькими решениями / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – 2007. – № 19. – С. 58 – 63.

Здобувачем розроблено архітектуру НМ АРТ для розв’язання завдань розпізнавання образів з декількома можливими рішеннями.

9. Хавина И.П. Оптимизация технологических операций лезвийной обработки оптических полимеров / И.П. Хавина // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 8 (66). – С. 100 – 104.

10. Дмитриенко В.Д. Специализированное вычислительное устройство

для розпознавання зображень / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” – 2007. – № 39. – С. 63 – 70.

Здобувачем розроблено дискретну НМ АРТ для визначення подібності чорно-білих зображень за всіма їхніми елементах.

11. Дмитриенко В.Д. Применение иерархических ассоциативных нейронных сетей при лезвийной обработке оптических полимерных материалов / В.Д. Дмитриенко, Н.В. Верезуб, И.П. Хавина // Проблемы информатики и моделирования: 5-я междунар. науч.-техн. конф., 24-26 ноября 2005 г. : тезисы докл. – Х., 2005. – С. 25.

Здобувачем запропоновано ієрархічну нейронну мережу на базі АРТ модулів для моделювання послідовності рішень з вибору обладнання.

12. Дмитриенко В.Д. Новые алгоритмы обучения дискретных нейронных сетей адаптивной резонансной теории / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, И.П. Хавина // Проблемы информатики и моделирования: 6-я междунар. науч.-техн. конф., 23-25 ноября 2006 г. : тезисы докл. – Х., 2006. – С. 3.

Здобувачем запропоновано алгоритми навчання нейронної мережі АРТ.

13. Хавина И.П. Определение оптимальных операционных параметров технологического процесса лезвийной обработки оптических полимеров / И.П. Хавина // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: – 11-й междунар. Молодежн. форум, 10-12 апреля 2007 г. : тезисы докл. – Х., 2007. – Ч. 2. – С. 92.

14. Дмитриенко В.Д. Постановка задачи оптимального управления операциями лезвийной обработки оптических полимеров / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина // 3-я наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. І.Кожедуба: 28-29 березня 2007 р. : тези доп. – Х., 2007. – С. 99

Здобувачем сформульовано технологічні та експлуатаційні обмеження та кусково-стала апроксимація керувань.

15. Дмитриенко В.Д. Система поддержки принятия решений на основе иерархической нейронной сети / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина // Проблемы информатики и моделирования: 7-я междунар. науч.-техн. конф., 29 ноября – 1 декабря 2007 г. : тези. доп. – Х., 2007. – С. 18.

Здобувачем реалізовано СППР для автоматизованого керування процесами виготовлення оптичних полімерних виробів.

АНОТАЦІЇ

Хавіна І. П. Система підтримки прийняття рішень при керуванні процесами виготовлення оптичних полімерних виробів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. Харків. – 2008.

Робота присвячена розв'язанню актуальної проблеми автоматизації керування в технологічних системах – розробці системи підтримки прийняття рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів виготовлення оптичних полімерних виробів, структури гнучких виробничих модулів та оптимального керування технологічними операціями. Для одержання рішень з визначення структури технологічного процесу застосовані методи штучного інтелекту – продукційні правила та нейронні мережі. Дано рішення щодо визначення оптимальних маршрутних технологій та режимів оптимального керування операціями технологічних процесів виготовлення виробів з урахуванням технологічних обмежень, експлуатаційних вимог та поточного зносу інструменту.

Ключові слова: автоматизація керування, виготовлення оптичних полімерних виробів, технологічний процес, гнучкий виробничий модуль, система підтримки прийняття рішень, штучний інтелект, нейронні мережі, оптимальне керування операціями.

Хавина И.П. Система поддержки принятия решений при управлении процессами изготовления оптических полимерных изделий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”. Харьков. – 2008.

В работе решена актуальная научно-практическая задача в области автоматизации управления – разработана система поддержки принятия решений для синтеза оптимальных технологических процессов изготовления оптических полимерных изделий, структуры гибкого производственного модуля и оптимального управления технологическими операциями. Применены методы искусственного интеллекта – метод рассуждений на основе опыта с применением продукционных правил и нейронных сетей, реализующих базу знаний технологического процесса с помощью разработанной системы кодирования информации. Для получения множеств равноценных решений в задачах распознавания и классификации разработаны одномодульные дискретные нейронные сети адаптивной резонансной теории и новые алгоритмы их обучения, что существенно расширяет область применения этих нейронных сетей. На базе новых сетей предложена структура иерархической нейронной сети, моделирующая последовательность рассуждений эксперта по выбору технологического оборудования. Поставлена и решена задача оптимального управления операциями лезвийной обработки оптических полимеров с учетом технологических ограничений, эксплуатационных требований к качеству изделий и текущего износа инструмента на примере изготовления изделия полимерной оптики “Tile”. Предложена адаптация режимов управления процессами изготовления оптических полимерных изделий, обеспечивающая коррекцию режимов обработки на основе контроля

текущего износа инструмента и шероховатости обработанной поверхности. Система поддержки принятия решений реализована в виде программного комплекса и может быть использована в системах управления автоматизированным производством для изготовления изделий полимерной оптики. В частности, созданная система использована на ГП ХМЗ “ФЕД” и на ГП “ИОМЗ ХОЛДИНГ” для определения структур и режимов оптимального управления технологическими операциями.

Ключевые слова: автоматизация управления, изготовление оптических полимерных изделий, технологический процесс, гибкий производственный модуль, система поддержки принятия решений, искусственный интеллект, нейронные сети, оптимальное управление операциями.

Khavina I. P. System support of decision-making at control of processes of making of optical polymeric wares. – The manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering’s sciences on specialty 05.13.07 – automation of management processes. – National Technical University is the “Kharkov Polytechnic Institute”. Kharkov. – 2008.

Work is devoted the decision of the issue of the day of automation of management in the technological systems – development of the system of support of decision-making for the synthesis of optimum technological processes of making of optical polymeric wares, structure of the flexible modules of productions and optimum management technological operations. For the receipt of decisions on determination of structure of technological process the methods of artificial intelligence – rules of products and networks of neurons are applied. A decision is presented on determination of optimum technologies of routs and modes of optimum management of technological processes of making of wares operations taking into account technological limitations, operating requirements and current tearing down of instrument.

Keywords: automation of management, optical polymeric wares, technological process, flexible production module, system of support of decision-making, artificial intelligence, networks of neurons, optimum management operations.

Підписано до друку 23.09.2008 р. Формат 60х90/16.
Папір офсетний. Друк – ризографія. Умовн. друк. арк.0,9.
Наклад 100 прим. Зам. № 26294

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16
