

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Козьмін Юрій Семенович

УДК 621.3.078.3

СИСТЕМИ БАГАТОМІРНОГО КЕРУВАННЯ
ПРОЦЕСАМИ ВИРОБНИЦТВА ОРГАНІЧНИХ
СЦИНТИЛЯТОРІВ

Спеціальність 05.13.03 – системи та процеси керування

А в т о р е ф е р а т
д и с е р т а ц і ї н а з д о б у т т я н а у к о в о г о с т у -
п е н я
к а н д и д а т а т е х н і ч н и х н а у к

Х а р к і в – 2010

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України

Науковий керівник: доктор технічних наук, с.н.с.

Суздаль Віктор Семенович,

Інститут сцинтиляційних матеріалів
НАН України,
провідний науковий співробітник відділу
вирощування монокристалів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Кулік Анатолій Степанович,

Національний аерокосмічний університет
імені М.Є.Жуковського "ХАІ",
завідуючий кафедри систем керування
літальними апаратами

доктор технічних наук,
професор

Довбиш Анатолій Степанович,

Сумський державний університет,
завідуючий кафедри комп'ютерних наук

Захист відбудеться "27" січня 2011р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті

"Харківський політехнічний інститут" за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

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

Автореферат розісланий "16" грудня 2010р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14

Ліберг І.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми Сцинтиляційний метод детектування іонізуючих випромінювань знайшов широке вживання в промисловості і наукових дослідженнях. Значне зростання потреби в органічних сцинтиляторах (ОСЦ), до яких відносяться органічні монокристали (ОМК) і пластмасові сцинтилятори (ПС), визначає необхідність вдосконалення технології здобуття і високої ефективності керування технологічним процесом (ТП).

Великий вклад до постановки і дослідження проблем виробництва ОСЦ і створення автоматизованих систем керування (СК) процесами виробництва цих матеріалів внесли представники шкіл Б.В.Гриньова, М.З.Галунова, П.О.Стадника, А.А.Бардіна, W. J. Birks, K. Gibbs. Їх ідеї і результати досліджень фізико-технічних особливостей технологічних процесів отримали широке вживання при створенні автоматизованих установок для виробництва органічних сцинтиляторів високої якості.

Необхідність подальшого вдосконалення ТП виробництва ОСЦ на основі використання математичних моделей теплофізичних процесів виробництва ОСЦ; розробка методів синтезу, теоретичних і інженерно-технічних основ проектування оптимальних багато процесорних систем автоматизованого керування (БПСК) виробництва ОСЦ з врахуванням особливостей об'єкту керування (ОК); створення комплексу програмно-технічних засобів, що забезпечують відмовостійкість системи в умовах промислового виробництва ОСЦ є актуаль-

ним напрямком досліджень та визначили тему дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відділі вирощування монокристалів Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт, що фінансуються НАН України по темі: «Створення апаратури, розроблення технології та організація експериментальної ділянки для виготовлення позиційно-чутливих багатоелементних матричних детекторів та збірок на їх основі». (Договір № 13нт/62 від 17 жовтня 2006 р. Договір № А/2.2 – 08 від 31 січня 2008 р.). Державна цільова науково-технічна програма «Розроблення і освоєння мікроелектронних технологій, організація серійного випуску приладів і систем на їх основі», затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 21.11.07 №1355 і розпорядженнями Президії НАН України від 13.12.07 №806 та від 31.01.08 №111., в яких здобувач був виконавцем окремих етапів по розробці процедур оптимального багатомірного керування процесами виробництва сцинтиляторів та математичних моделей теплофізичних процесів.

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу керування виробництвом органічних сцинтиляторів на основі вживання методу узагальненого керування з прогнозуванням, розробки математичних моделей і методів синтезу відмовостійких багатомірних систем керування технологічними процесами і програмно-технічних засобів реалізації багатопроцесорних систем

керування на осно-ві сучасних мікро-контролерів.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- провести аналіз стану і тенденції розвитку систем і процесів керування виробництвом органічних сцинтиляторів і обґрунтувати необхідність розробки перспективного підходу до керування виробництвом ОСЦ в промислових умовах;

- формалізувати і обґрунтувати методи прогнозного керування багатомірними процесами виробництва органічних сцинтиляторів, що перевершують по ефективності ті що існують;

- розробити метод синтезу багатомірного регулятора з врахуванням сучасних вимог до якості керування процесами виробництва органічних сцинтиляторів.

- розробити математичні моделі і провести аналіз теплофізичних процесів в виробництві ОСЦ для визначення вимог до параметрів виробничих установок і систем керування;

- розробити моделі діагностуємих систем і методи проектування відмовостійких БПСК на основі використання вбудованих засобів тестового діагностування і відновлення працездатності систем керування.

Об'єкт дослідження: процеси керування в системах виробництва ОСЦ.

Предмет дослідження: моделі і методи синтезу прогнозних систем керування процесами виробництва ОСЦ.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань використовувалися методи теорії оптимального керування, зокрема, методи прогнозного керування, для вибору, обґрунтування і

проектування ба-гатомірних регуляторів, систем і процедур керування процесами виробництва ОСЦ; чисельні методи вирішення матричних рівнянь і систем диференціальних рівнянь для розробки і дослідження математичних моделей теплофізичних процесів в виробництва ОСЦ; методи апроксимації моделей динамічних систем для розробки зредукованих автоматних діагностичних моделей по геометричних образах і фазових портретах об'єкту діагностування (ОД); методи технічної діагностики для розробки діагностичної інфраструктури з інтелектуальними властивостями відмовостійких БПСК.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблено метод синтезу двомірного узагальненого прогностного регулятора для керування вирощуванням органічних сцинтиляторів, що дозволило збільшити точність стабілізації теплових умов виробництва і поліпшити якість сцинтиляторів.

2. Вперше розроблена і запатентована діагностична інфраструктура з інтелектуальними властивостями для багатопроцесорної системи керування. При цьому використання автоматних моделей геометричних образів і фазових портретів об'єкту діагностування як зредукованих моделей динамічних систем дозволило забезпечити підвищення відмовостійкості функціонуючої системи за рахунок поєднання функціонального і тестового діагностування.

3. Удосконалено метод синтезу оптимальної СК процесом виробництва ОСЦ на основі прогностного керування з врахуванням багатовимірності і стохастич-

ності об'єкту керування, що дозволило підвищити ефективність виробництва.

4. Отримали подальший розвиток математичні моделі теплопровідності, термопружних напруг для органічних сцинтиляторів, які дозволили визначити температурні умови виробництва ОСЦ з малою залишковою напругою, на основі якої формуються вимоги до параметрів виробничих установок і якісних показників в систем керування.

Практичне значення отриманих результатів. Результати, отримані в дисертаційній роботі практично реалізовані при створенні інформаційного і програмно-технічного забезпечення систем керування процесами виробництва сцинтиляційних матеріалів для приладобудування на промислових установках в ІСМА НАН України (акт впровадження від 05.08.2009 р.). Підвищення ефективності роботи установок для здобуття ОСЦ досягнуто завдяки використанню метода оптимального керування стохастичними багатомірними ОК. За результатами вирощування групи ОК відмічено істотне збільшення якості вирощених кристалів за рахунок стабілізації теплового режиму кристалізації та кількості придатних кристалів за рахунок оптимізації режиму відпалу.

Особистий внесок здобувача. Постановка завдання, вибір методів і аналіз результатів виконані спільно з науковим керівником. Всі основні результати дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самотійно. Серед них: ідентифікація параметрів об'єкту керування, синтез багатомірного прогностичного регулятора, математичні моделі теплофізичних процесів полімеризації сцинтиляторів, аналітичні і

чисельні дослідження цих моделей, формування технічних вимог до параметрів виробничих установок і систем керування, розробка і організація діагностичної інфраструктури з інтелектуальними властивостями БПСК.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і результати роботи докладалися і обговорювалися на: Міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, (Харків, 2002, 2003 р.р.); XIII Национальной конференции по росту кристаллов (Москва, 2008); 22-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы ж/д транспорта Украины» (Алушта, 2009); 2-й Міжнародній науковій конференції «Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития» (Харьков-Кацивели, 2009). Матеріали дисертаційної роботи доповідались на наукових семінарах в ІСМА НАН України 2008–2010 р.р

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 10 наукових праць, з яких - 8 статей у фахових виданнях ВАК України та 1 патент України на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, додатка і списку використаних джерел. Повний обсяг роботи складає 224 сторінок, у якому 63 рисунка по тексту, 7 рисунків на 6 окремих сторінках, 9 таблиць по тексту, 4 таблиці на 18 окремих сторінках, 8 додатків на 56 сторінках, список джерел з 167 найменувань на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито стан проблеми, обґрунтовано актуальність досліджень, визначені об'єкт і предмет дослідження, формулюється мета роботи і перелік вирішуваних завдань, наводиться короткий зміст роботи, визначена новизна і практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ містить аналіз стану і тенденцій розвитку системі процесів керування сучасними технологічними установками виробництва ОСЦ, обґрунтування нових принципів проектування СК такими установками. Систематизовані процеси виробництва ОМК і ПС і проведено аналіз їх особливостей як ОК. Підкреслено, що до особливості ТП виробництва ОСЦ відносяться високий рівень збурень, багатомірність і стохастичність ТП як ОК, який здатний втратити стійкість, складність характеру протікання теплофізичних процесів при виробництві продукції.

На основі аналізу тенденцій розвитку систем і процесів керування, обґрунтована необхідність підвищення ефективності виробництва ОСЦ за рахунок оптимізації процесу керування, визначення і реалізації оптимальних режимів ввідпалу.

Необхідною умовою оптимізації процесів виробництва ОСЦ є математичні моделі теплофізичних процесів в сцинтиляторах. Найбільш істотним джерелом напруги при виробництві ОСЦ є неоднорідне поле розподілу температури, що викликає термопружні напруги. Основні

рівняння теорії пружності у зв'язку з умовами зростання монокристалів дозволяють знайти компоненти тензора деформації і тензора напруги при заданому температурному полі і відповідних початкових і граничних умовах в процесі вирощування монокристалів. Проте, ці дослідження необхідно розширити на пластмасові сцинтилятори і вирішити завдання верифікації математичних моделей.

Традиційна доктрина керування процесами виробництва ОСЦ заснована на використанні детермінованих моделей і методів керування технологічними установками. У розділі обґрунтована доцільність переходу до нової концепції керування, заснованої на стохастичному підході з врахуванням особливостей ОК і використанні оптимальних прогностичних методів керування.

Зростання складності СК процесами виробництва ОСЦ спричиняє за собою необхідність забезпечення необхідного рівня відмовостійкості і надійності цих систем у виробничих умовах. Аналіз робіт в області технічної діагностики безперервних і дискретних ОД показує, що найбільш відповідальним і трудомістким етапом в розробках систем технічної діагностики є вибір і синтез математичних моделей ОД.

Таким чином обґрунтована необхідність досліджень і розробок методів структурного синтезу автоматних моделей динамічних систем по їх геометричних образах. Вживання моделей апроксимацій в діагностичних експериментах для перевірки справності і працездатності складних систем в режимах тестового і функціонального діагностування є актуальною науково-технічною

проблемою при розробці БПСК виробництвом ОСЦ.

Другий розділ присвячений моделюванню та дослідженню теплофізичних процесів в полімеризації, які визначають якісні характеристики ПС і вимоги до СК полімеризаторами.

Розглядається пружне тіло у формі довгого суцільного циліндра, що моделює сцинтилятор, із зовнішньої поверхні якого поширюється температура. Деформація циліндра аналізується в циліндровій системі координат (r, θ, z) в умовах плоскої деформації і симетрії докола осі z . Тут r - радіальна координата, θ - відповідає окружному напрямку, а z - осьова координата. Температура в циліндрі $T(r, t)$ - функція, залежна лише від радіальної координати r і часу t .

Рівняння теплопровідності для даного завдання дослідження теплофізичних властивостей ПС:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (1)$$

де λ - питома теплопровідність, ρ - щільність матеріалу, c - теплоємність.

Отримані моделі для температуронаведених напруг в ОСЦ, пов'язаних з різними початковими і граничними умовами і різними виразами для температуропровідності при двох варіантах граничних умов для суцільного циліндра $0 \leq r \leq b$:

1. На зовнішній поверхні циліндра $r=b$ температура постійна і дорівнює температурі довкілля T_1 , тобто $T=T_1, r=b, t \geq 0$ і початкові умови

$$T=T_0, \quad r \in (0, b), \quad t=0.$$

Вирази для температуронаведених напруг мають вигляд

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{EA}{2(1-\nu)} \left[\frac{\varepsilon_T}{A} - T_1 + T_0 + \frac{4(1-\nu)T_0}{br} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_n^2} \frac{J_1(\alpha_n)}{J_1(\alpha_n)} \exp\left(-\frac{\lambda}{\rho C} \alpha_n^2 t\right) \right]; \\ \sigma_z &= \frac{EA}{1-\nu} \left[\frac{\varepsilon_T}{A} - T_1 + T_0 + \frac{2(1-\nu)T_0}{b} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_n} \frac{J_0(\alpha_n)}{J_1(\alpha_n)} \exp\left(-\frac{\lambda}{\rho C} \alpha_n^2 t\right) \right] - p, \quad (2)\end{aligned}$$

де J_0 і J_1 — функції Беселя першого роду нульового і першого порядку, відповідно, $\alpha_n, n=1,2,\dots,\infty$ — позитивне коріння рівняння $J_0(\alpha_n) = 0$.

2. На зовнішній поверхні циліндра $r=b$ температура змінюється з часом від 0 до T_1 відповідно до умов теплообміну між докільям і сцинтилятором:

$$-\lambda \partial T / \rho C \partial r = \beta(T - T_1), \quad r=b, t \geq 0. \quad (3)$$

Вирази для температуронаведених напруг мають вигляд:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{E}{2(1-\nu)} \left[\varepsilon_T - A(T_1 - T_0) + \frac{4AC_0 b}{r} \sum_{n=1}^{\infty} K_n \frac{J_1(\alpha_n/b)}{\alpha_n} \right], \\ \sigma_\theta &= \frac{E}{2(1-\nu)} \left\{ \varepsilon_s - A(T_1 - T_0) - 4A(T_1 - T_0) \sum_{n=1}^{\infty} K_n \left[\frac{b J_1(\alpha_n/b)}{\alpha_n r} - J_0(\alpha_n/b) \right] \right\}, \\ \sigma_z &= \frac{E}{1-\nu} \left[\varepsilon_s - A(T_1 - T_0) + 2A(T_1 - T_0) \sum_{n=1}^{\infty} K_n J_0(\alpha_n/b) \right] - p, \quad (4)\end{aligned}$$

де $L = b\beta\rho C/\lambda$, $\alpha_n, n=1,2,\dots,\infty$ — позитивне коріння рівняння $\alpha_n J_1(\alpha_n/b) - L J_0(\alpha_n/b) = 0$.

Вирішено завдання верифікації отриманих математичних моделей теплофізичних процесів в ОСЦ. Порівняльна характеристика аналітичного і чисельного рішення, отриманого на основі

методу кінцевого елемента, для завдання про нестационарне плоске осесиметричне температурне поле довгого циліндра, між поверхнею якого і довкіллям відбувається конвективний теплообмін, вказує на збіжність результатів. Для вирішення методом кінцевих елементів побудована плоска осесиметрична модель, яка була розбита чотирикутними кінцевими елементами.

Досліджено завдання визначення значення коефіцієнта β , для граничної умови, відповідної конвективному теплообміну між поверхнею і довкіллям (3). Для визначення максимального значення даного коефіцієнта скористаємося методом ідентифікації з умови найкращого збігу теоретичної кривої для температурного розширення, яка була порівняна по аналітичній моделі з використанням граничної умови (3).

Чисельними розрахунками виявлені кількісні і якісні особливості перерозподілу в часі напружено-деформованого стану в сцинтиляторі, що знаходиться під впливом термічних дій при різних залежностях температури від часу (Рис.1). При цьому процес перерозподілу напруги в сцинтиляторі можна розділити на два температурні періоди. Протягом першого періоду в усіх точках циліндра, за винятком граничних контурів, радіальна напруга зростає з часом. Другий період зміни температури починається, коли завершується процес релаксації температурної напруги.

Умова міцності сцинтилятора визначалася максимальним значенням інтен-

сивності темпера-турної напруги

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2}$$

і має вигляд $\sigma_i \leq \sigma_{\text{доп}}$, де $\sigma_{\text{доп}}$ – допускаєма напруга в матеріалі.

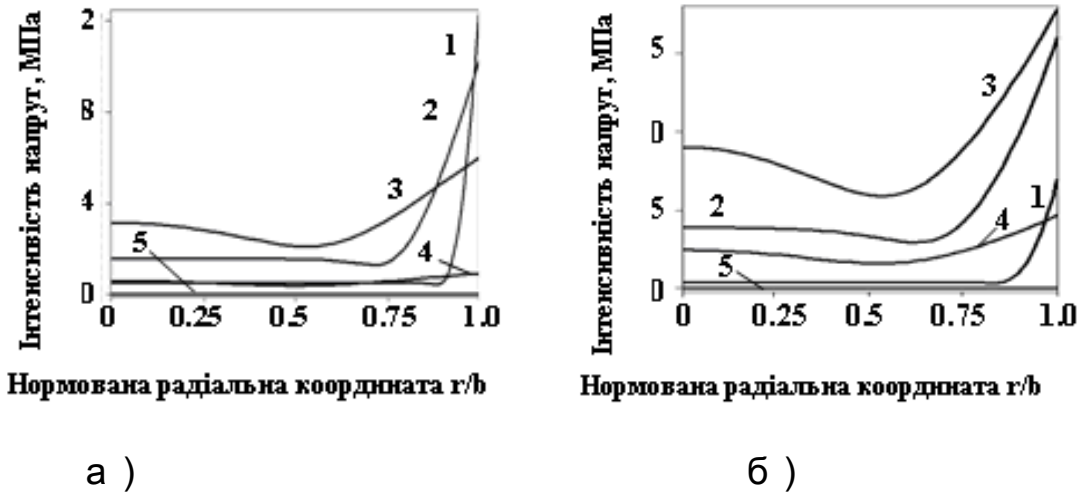


Рис. 1. Розподіл інтенсивності напруги в сцинтиляторі згідно рівняння (2) і (4) (а і б, відповідно) для різних моментів в часу.

Визначені такі швидкості зміни температури відпалу, при яких термічна напруга в критичних областях сцинтилятора не перевищує межі міцності, що дозволило уточнити температурні умови виробництва ОСЦ, які фактично задають вимоги до параметрів в виробничих установках і якісних показників в систем керування.

Отримані результати дозволили вирішити завдання вибору параметрів відпалу ОСЦ і сформулювати вимоги до параметрів системи керування при заданні конкретних початкових і граничних умов в ТП на основі необхідної якості ОСЦ і дослідження кінетики цього процесу.

Третій розділ присвячений синтезу багатомірного керування виробництвом органічних скінтиляторів.

Аналіз існуючих підходів до синтезу оптимальних багатомірних систем показав, що для керування стохастичними об'єктами, що втрачають стійкість, успішно застосовують метод адаптивного керування з прогнозуючими моделями (*model predictive control*).

У методі прогнозного керування використовується модель ОК, яка дозволяє прогнозувати майбутню поведінку системи на горизонті передбачення (ГП). Передбачаються також залежності майбутніх керуючих сигналів в $\tilde{u}(t+k|t)$ в межах горизонту керування (ГК). В результаті формується послідовність оптимальних керувань, і перше з них ($\tilde{u}(t|t)$) подають на реальний ОК. У наступний момент часу $t+1$ процес повторюється, але з ГП, зрушеним на 1 крок. Керування реалізовані на основі критерію, який включає квадратичні форми передбачених помилок керування і керуючих дій.

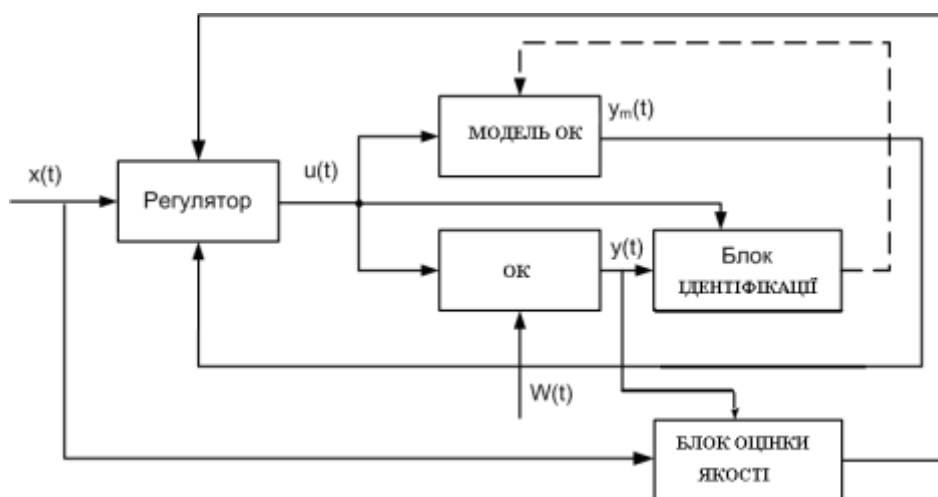


Рис. 2. Структурна схема системи керування процесами виробництва ОСЦ з прогнозним регулятором.

Взаємозв'язане керування виходами проводиться по моделі ОК, параметри якої визначаються блоком ідентифікації. Блок оцінки якості в режимі реального часу контролює якісні показники системи керування і при незадовільній якості ініціює підстроювання параметрів моделі ОК (рис.2).

На основі аналізу існуючих алгоритмів в прогнозного керування запропоновано для керування процесом виробництва ОСЦ використовувати алгоритм узагальненого керування з прогнозуванням (ОКП) з включенням в нього AR-моделі шуму

Побудову адекватної математичної моделі процесу виробництва ОСЦ запропоновано здійснити в класі моделей, що описуються стохастичним різницеvim рівнянням з дискретним часом.

Модель для k -го кроку в кінцевих різницях з матрицею розмірності $r \times 1$ для входу $U(k)$, 1×1 -для шуму в $W(k)$ и $m \times 1$ -для виходу $Y(k)$ у вигляді :

$$A(B) \cdot Y(k) = G(B) \cdot U(k) + D(B) \cdot W(k), \quad (5)$$

де $A(B)$, $G(B)$, $D(B)$ – матричні поліноми степені n_a , n_g , n_d ,

$$A(B) = 1 - \sum_{j=1}^{n_a} A_j B^j, \quad G(B) = \sum_{j=0}^{n_g} G_j B^j,$$

$$D(B) = 1 - \sum_{j=1}^{n_d} D_j B^j.$$

Поточне значення виходу визначене по його попередніх значеннях у вигляді авторегресійної (AR) моделі з ковзним середнім та із зовнішніми шумами.

Значення виходу для наступного кроку ($k+1$):

$$\mathbf{Y}(k+1) = \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{Y}(k) + \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{Y}(k-1) + \dots + \mathbf{A}_p \cdot \mathbf{Y}(k-p+1) + \\ + \mathbf{G}_0 \cdot \mathbf{U}(k+1) + \dots + \mathbf{G}_p \cdot \mathbf{U}(k-p+1) + \mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{W}(k+1) + \dots + \mathbf{D}_p \cdot \mathbf{W}(k-p+1).$$

Коефіцієнти матриць :

$$\mathbf{A}_j [m \times m] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \ddots & \vdots \\ a_{1m} & a_{2m} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G}_j [m \times r] = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1r} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2r} \\ \dots & \dots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & g_{m2} & \dots & g_{mr} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{D}_j [m \times m] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \dots & \dots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mm} \end{bmatrix}, (j = 0, 1, \dots, p),$$

Порядок поліномів в \mathbf{A}_j , \mathbf{G}_j и \mathbf{D}_j вирівнюємо по максимальному порядку p одного з них.

Для передбачення майбутніх виходів об'єкту, робляться деякі припущення відносно майбутніх входних керуючих сигналів і майбутніх сигналів шуму. У визначенні майбутніх входних керуючих сигналів приймається, що керування здійснюється лише над кінцевим ГК. Поза горизонтом керування, входний керуючий сигнал приймається нульовим. Вводиться також штраф керування для обмеження керуючої дії і для стабілізації замкнутої системи.

Функція якості, яка мінімізується в алгоритмі ОКП включає квадратичні форми передбачених помилок керування і керуючих дій:

$$\mathbf{J}(k) = \sum_{j=N_1}^{N_2} \mathbf{Y}_s(k+j)^T \mathbf{Y}_s(k+j) + \sum_{j=M_1}^{M_2} \mathbf{U}_s(k+j)^T \lambda \mathbf{U}_s(k+j). \quad (6)$$

Тут: $Y_s(k+j)$ – $[m \times 1]$ – вихідний вектор, $U_s(k+j)$ – $[r \times 1]$ вектор вхідного сигналу керування і λ – штрафна матриця. Горизонт передбачення змінюється від N_1 до N_2 , а горизонт керування – від M_1 до M_2 , де $M_2 \leq N_2$. Як правило, N_1 і M_1 дорівнюють нулю.

Мінімізуючи (6) відносно $U_s(k+j)$, ($j=M_1, K, M_2$), отримаємо керуючу послідовність, яка буде застосована до об'єкту. Використовується перший елемент $r \times 1$ керуючого вектора, залишок відкидається, і нова керуюча послідовність розраховується для наступного кроку. Для виконання такого процесу майбутні виходи об'єкту $Y_s(k), Y_s(k+1), K, Y_s(k+N_2)$ мають бути передбачені, ґрунтуючись лише на попередніх і поточних вхідних і вихідних даних.

Завдання регулювання полягає в приведенні виходу об'єкту до нуля за допомогою керування

$$U_{p+q}(k) = -T_u^T \cdot T_u + \lambda \cdot I^{-1} \cdot T_u^T \cdot \left[G \cdot U_p^{(k-p)} + A \cdot Y_p^{(k-p)} + T_w \cdot W_{p+q}(k) + D \cdot W_p^{(k-p)} \right] \quad (7)$$

У залежності (7): I – одинична матриця розмірності $m(p+q) \times r(p+q)$, T_u – діагональна матриця з елементами в матриць A і G , T_w – діагональна матриця з елементами в матриць A і D . ГП у рівняння (2) рівний $p+q-1$. Значення q вибирається для виконання вимог функціонування і стійкості. Якщо значення

q вибрано нульовим, те керування буде передбачено вперед на p кроків, які є порядком системи. Штраф керування λ у рівнянні (6) є критичним параметром до функціонування ОКП. Великі значення λ зменшують регулювання і збільшують стійкість, тоді як малі значення λ збільшують регулювання при втраті робастності. Формулювання, дане в залежності (7), передбачає, що ГК рівний ГП. ГК має бути вибраний меншим, ніж ГП, що наводить до стійкішого і повільнішого регулятора.

Результуючий регулятор

$$U_{M_2}(k) = -\tilde{T}_u^T \cdot \tilde{T}_u + \lambda \cdot I^{-1} \cdot \tilde{T}_u^T \cdot \left[G \cdot U_p^{(k-p)} + A \cdot Y_p^{(k-p)} + T_w \cdot W_{p+q}(k) + D \cdot W_p(k-p) \right] \quad (8)$$

Регулюванням горизонту керування M_2 , горизонту передбачення $N_2 = p+q-1$ і λ залежність (8) може бути налагоджене для здобуття кращих результатів в рішення даної задачі регулювання. У рівнянні (6), можливо встановити λ рівним нулю навіть для немінімальнофазових систем. Це може бути отримано зменшенням горизонту керування до тих пір, поки не досягнуте стійке рішення. Аби отримувати вищу стійкість значення λ збільшують. Оскільки значення горизонту керування встановлюється меншим,

ні ж горизонт передбачення, виходять стійкіші результати керування.

Вимірні сигнали шуму поміщаються у вектор $\mathbf{w}_{p(k-p)}$. Цей вектор містить останні p вимірних значень шуму. Наявність кореляції у вимірних величинах перешкод використовувалася для оцінки майбутніх значень перешкод $\mathbf{w}_{p+q(k)}$, на основі авторегресійної (AR) моделі:

$$\mathbf{w}(k) + \mathbf{N}_1 \cdot \mathbf{w}(k-1) + \mathbf{N}_2 \cdot \mathbf{w}(k-2) + \dots + \mathbf{N}_v \cdot \mathbf{w}(k-v) = \mathbf{0} \quad (9)$$

У рівнянні (9): v – порядок моделі шуму і

$$\mathbf{N}_j = \begin{bmatrix} \eta_{j1} & \eta_{j2} & \dots & \eta_{jv} \\ \eta_{21} & \eta_{22} & \dots & \eta_{2v} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \eta_{m1} & \eta_{m2} & \dots & \eta_{mv} \end{bmatrix} \quad (j=1,2,\dots,v) - \text{коєфіцієнти AR моделі шуму.}$$

Передбачені сигнали шуму оцінені рекурсивно, з використанням попередніх вимірів шуму (9).

Передбачення i -го сигналу перешкоди має вигляд

$$\mathbf{w}(k+i) = \mathbf{N}_1^{(i)} \cdot \mathbf{w}(k-1) + \mathbf{N}_2^{(i)} \cdot \mathbf{w}(k-2) + \dots + \mathbf{N}_v^{(i)} \cdot \mathbf{w}(k-v).$$

Тут i змінюється від 0 до горизонту передбачення $p+q-1$. Таким чином, майбутні сигнали шуму будуть оцінені і передостанній доданок рівняння (9) може бути використаний для підвищення ефективності керування ТП по критерію (7).

Четвертий розділ присвячений розробці методів проектування програмно-технічних засобів забезпечення відмовостійкої БПСК виробництвом ОСЦ. Запропонований і обґрунтований підхід, що пропонує інтегрувати систему вбу-

дованого тестово-го діагностування БПСК виробництвом ОСЦ в процес онлайнового функціонування системи. Сучасна елементна база визначає парадигму діагностичної інфраструктури з інтелектуальними властивостями (ДІ-ІВ), що забезпечує діагностування мультипроцесорних систем і відновлення їх працездатності шляхом реконфігурації структури. Визначені завдання ДІ-ІВ, вирішення яких дозволяє поєднати процеси функціонального і тестового діагностування БПСК в процесі її функціонування, керувати процесами оптимізації продуктивності системи і її реконфігурацією.

Запропоновано використовувати зредуковані моделі апроксимації динамічної системи на основі синтезу кінцево-автоматних відображень геометричних образів поведінки справної БПСК. На рівні структурної організації моделі геометричних образів можна ефективно використовувати клас розпізнаючих автоматів з магазинною пам'яттю (МП-автомати).

МП-автомат - це впорядкована сімка $M=(X, Z, A, \delta, F, z_0, a_0)$, де X - множина символів вхідного алфавіту; Z - кінцева множина станів; A - кінцева множина символів магазинного автомата; δ - система команд МП-автомату; $F \subseteq Z$ - підмножина завершальних станів; $z_0 \in Z$ - початковий стан МП-автомату; $a_0 \in A$ - початковий символ магазинного алфавіту.

Представлена процедура синтезу МП-автомату з мінімальною ємкістю пам'яті, в якій записаний геометричний образ МПСК, з врахуванням точності апроксимації і частотно-часових характеристик системи.

Оцінка складності геометричних

кривих, що пред-ставляються сигналами системи керування в процесі її діагностування визначаються мірою загасання K спектральної щільності потужності еталонних діагностичних сигналів, яку називають порядком оброблюваної інформації. У таблиці 1 приведені значення нормованої частоти введення даних в МП-розпізнавач в процесі діагностичного експерименту залежно від порядку K оброблюваних діагностичних сигналів, погрішності розпізнавання і методу інтерполяції еталонних геометричних образів, що визначає швидкість обробки сигналів і ємність пам'яті МП-розпізнавача. З аналізу таблиці 1 виявляються порівняльні переваги лінійної інтерполяції, яка у багатьох випадках дає кращі результати, порівнянні з інтерполяцією за допомогою фільтру. Крім того, як показують проведені дослідження, кусочно-лінійна апроксимація дозволяє розпізнавати з досить високою точністю геометричні криві складної форми.

Таблиця 1. Значення нормованої частоти введення даних в МП-розпізнавач.

	Ступінь частота інтерполяція		Лінійна інтерполяція		Квадратична інтерполяція	
	5%	0,2%	5%	0,2%	5%	0,2%
ε^{-2}	5%	0,2%	5%	0,2%	5%	0,2%
$K=1$	910	$6 \cdot 10^5$	640	$4 \cdot 10^5$	640	$4 \cdot 10^5$
$K=2$	37	890	13	120	12	105

K =3	26	630	8,3	42	6,2	2,5
K =4	21	520	5,9	29	5,2	17
K = ∞	21	510	5,9	29	4,0	12

Для розрахунку ємкості пам'яті МП-розпізнавача, потрібної для представлення множини геометричних образів МПСК, проведено аналіз інформаційної ємності компактного двомірного метричного простору на основі використання міри ε -ентропії. Отримані оцінки коефіцієнта надмірності двомірного метричного простору $F(x, y)$, представлені для випадків ступінчастої і лінійної апроксимації безперервних геометричних образів у вигляді рівностей:

для ступінчастої інтерполяції

$$D_c = 1 - \frac{1}{N_x \log_2 N_y} \left[\frac{\tau \omega_\varepsilon}{\varepsilon} + \log_2 \frac{A}{\varepsilon} + 2 \right] \quad (10)$$

для лінійної інтерполяції

$$D_l = 1 - \frac{1}{N_x \log_2 N_y} \left[\frac{\tau \omega_\varepsilon}{\sqrt{8\varepsilon}} \cdot \log_2 \frac{1}{\varepsilon} (1 - e^{-\sqrt{8\varepsilon}}) + \log_2 \frac{A}{\varepsilon} + 2 \right], \quad (11)$$

де N_x і N_y - число дискретних відліків по осях x, y , відповідно, τ - інтервал діагностичного циклу, ω_v - верхня гранична частота, ε - точність апроксимації.

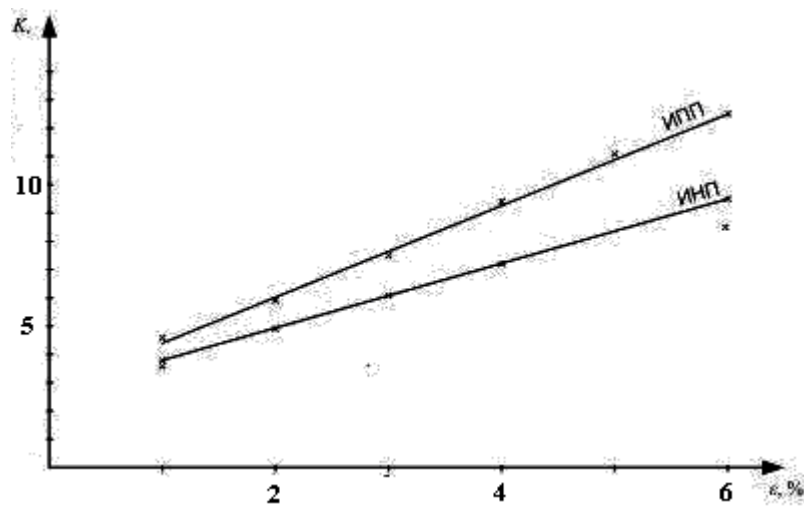


Рис. 3. Залежність коефіцієнта в редукації K_r геометричних образів в ДС від погрішності апроксимації; ИПП - інтерполяція першого порядку; ИНП - інтерполяція нульового порядку.

Поліноміальні методи апроксимації геометричних образів в системі, що діагностується (ДС), досліджувалися в процесі комп'ютерних експериментів. Ці методи порівнювалися між собою по ефективності ущільнення сигнальних інваріантів справного діагностичного об'єкту, що дозволяє редукувати його МП-автоматну модель. На рис. 3. представлені результати моделювання коефіцієнтів стискування даних $K_r = N_x / N$, де N - число поточних відліків в ординат, N_x - число еталонних ординат, записаних в магазинній пам'яті автоматної моделі для різних методів апроксимації і залежно

від максимально припустимих погрішностей апроксимації ε_0 .

На прикладі геометричного образу динамічної системи четвертого порядку, представленої її перехідною характеристикою, показано, що автоматна модель представляє програмно-технічну реалізацію еталонної перехідної характеристики ДС з високою швидкістю і досить низькими апаратно-часовими витратами.

П'ятий розділ присвячений моделюванню завдань багатомірного керування установками для виробництва ОСЦ на прикладі установки для вирощування ОМК.

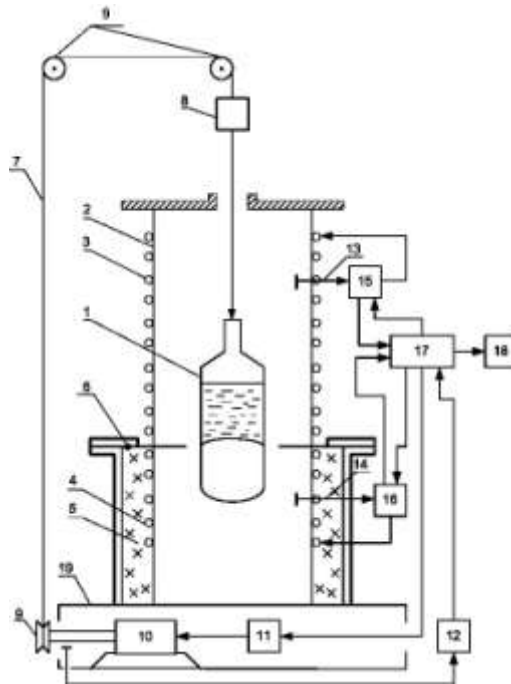


Рис. 4. Схеми установки для вирощування ОМК

Установка для вирощування ОМК є вертикальною шахтною піччю, розділена діафрагмовою перегородкою на верхню, «гарячу» камеру з робочою температурою до 140 °С і нижню, «холодну», з температурою до 90 °С, у якій проводять відпал вирощеного монокристала (рис.4). Установка містить ампулу 1 з речовиною, що кристалізується, розташовану у вертикальній площині двозонної печі (скляна труба 2, верхній 3 і нижній 4 нагрівачі), розділову діафрагму 6 «гарячої» та «холодної» камер, трос 7 з вантажем 8, систему 9 шківів, двигун 10 переміщення ампули 1 з блоком керування 11, блок 17 програмно-логічного керування, пристрій 18 відображення інформації. Термопари 13,14 розташовані, відповідно, в зоні кристалізації і зоні відпалу. Блоки 15, 16 реалізовані у вигляді незв'язаних одновимірних ПІД-регуляторів з керуваннями u_1 і u_2 процесом кристалізації.

Проведений синтез двовимірного прогнозного регулятора для етапів кристалізації і відпалу. При цьому використувувалися дані, отримані в режимі нормальної експлуатації ОК.

У якості моделі ОК обрана векторна модель ARMAX(2, 2, 2), для оцінювання параметрів якої використаний багатоетапний метод. Отримані наступні матриці ОК:

$$\mathbf{A}_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \mathbf{A}_1 = \begin{pmatrix} -1,56918734 & 0,00288697 \\ -0,00839532 & -0,50578297 \end{pmatrix}; \mathbf{A}_2 = \begin{pmatrix} 0,67655459 & -0,00691484 \\ 0,00354838 & -0,26806794 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{G}_0 = \begin{pmatrix} 0,01087619 & -0,02457297 \\ 0,03947803 & 0,01036265 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{G}_1 = \begin{pmatrix} -0,01568400 & 0,01175457 \\ -0,00716007 & -0,03034002 \end{pmatrix}; \mathbf{G}_2 = \begin{pmatrix} 0,01153328 & 0,00901317 \\ -0,02040112 & 0,05811442 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{D}_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{D}_1 = \begin{pmatrix} 0,05534430 & -0,01291131 \\ -0,00826039 & -0,02466825 \end{pmatrix}; \mathbf{D}_2 = \begin{pmatrix} -0,03448046 & 0,03096059 \\ 0,00059756 & -0,05952862 \end{pmatrix};$$

Визначені майбутні керування для моделі ARMAX(2, 2, 2) (при $p=2$). Для визначення горизонту передбачення вибрано $q=30$.

Для етапу кристалізації заміна одно-канальних ПІД-регуляторів на двомірний прогностичний регулятор дозволила істотно, більш ніж в два рази, зменшити дисперсію зміни температури верхньої і нижньої камерах. Це дозволило значно збільшити точність стабілізації теплових умов вирощування, стабілізувати положення фронту кристалізації, швидкість росту кристалу а, отже, і якість вирощеного кристалу. Стабілізовані виходи t_1 і t_2 для етапу кристалізації приведені на рис. 5-6.

град С

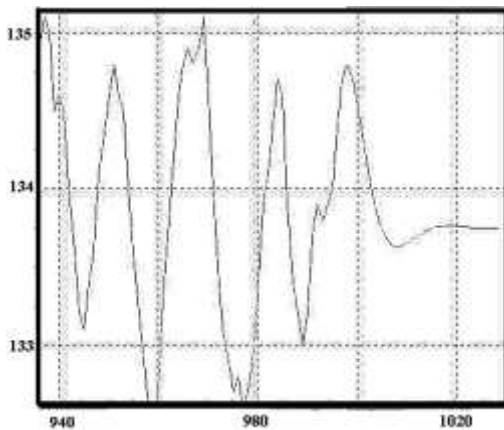


Рис .5. Температура t_1

град С

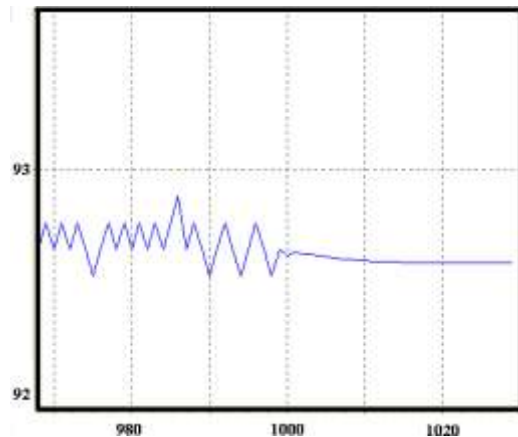


Рис .6.

Температура t_2

Для етапу відпалу ОМК синтезований прогностичний регулятор дозволив мінімізувати осьові і радіальні градієнти температур, що є необхідними умовами зниження ризику виникнення температурної напруги вище критичної норми і

зменшення залишкової напруги.

За результатами вирощування групи ОМК відмічено істотне поліпшення кількості придатних кристалів за рахунок оптимізації режиму відпалу. У результаті, вихід придатних сцинтиляторів збільшився на 30% в порівнянні з прототипом. Відмічено і збільшення якості вирощених кристалів за рахунок стабілізації теплового режиму кристалізації. Унаслідок поліпшення структурної досконалості і однорідності складу відмічено підвищення світлового виходу на 10-12% в порівнянні з прототипом, при цьому розкид світлового виходу зменшився на 10%.

У додатку наводяться додаткові математичні розрахунки, тексти програмних модулів, результати експериментів, документи про практичне впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу підвищення ефективності систем керування процесами виробництва органічних сцинтиляторів на основі синтезу відмовостійких багатозв'язних систем керування процесами виробництва з врахуванням багатомірності і стохастичності ОК.

Дисертаційна робота є результатом теоретичного узагальнення система-

тизованих модель-них та експериментальних досліджень процесів в виробництва органічних сцинтиляторів.

Основні результати досліджень:

1. На основі аналізу стану систем та процесів в керування виробництвом органічних сцинтиляторів обґрунтована необхідність розробки перспективного підходу до керування виробництвом ОСЦ в промислових умовах - синтезу оптимальних багатозв'язних відмовостійких систем керування.

2. Запропоновано керування класом багатозв'язних стохастичних процесів в виробництва органічних сцинтиляторів проводити на основі методу узагальненого оптимального керування з прогнозуванням.

3. Модельні дослідження полі в температурної напруги в пластмасових сцинтиляторах дозволили сформулювати вимоги до якісних показників в систем керування. Отримані параметри швидкостей зміни температури, при яких термічна напруга в критичних областях сцинтилятора не перевищує межі міцності.

4. Проведений синтез двомірного прогнозного регулятора для керування вирощуванням органічних монокристалів. Стійкість системи керування з синтезованим регулятором досягнута за рахунок усікання теплицевої матриці керування, в якій горизонт керування

вибраний меншим, ніж горизонт прогнозування.

5. Мінімізацією функціонала якості, який включає квадратичні форми передбачених помилок керування і керуючих дій, отримано вираз в матричній формі для керуючої послідовності, яка забезпечує приведення помилки керування до нуля на горизонті керування.

6. Для підвищення ефективності керування, зроблені припущення відносно майбутніх сигналів шуму в об'єктах керування виробництвом ОСЦ. У вираз для керуючого вектора увійшли як останні виміряні значення шуму, так і оцінені майбутні значення перешкод.

7. Чисельне моделювання і практична експлуатація регулятора показали, що використання синтезованого багатомірного регулятора дозволило поліпшити якість продукції за рахунок стабілізації швидкості росту ОМК і зменшення температурної напруги.

8. Запропоновано, для підвищення відмовостійкості, систему і засоби тестового і функціонального діагностування інтегрувати до структури системи керування і здійснювати керування режимами нормального функціонування, онлайн-діагностування і відновлення працездатності БПСК за допомогою діагностичної інфраструктури з інтелектуальними властивостями. Визначені концепція, організація і структура ДІ-ІВ, в основі побудови якої запропоновано використовувати цифрові моделі апроксимацій динамічних систем.

9. Результати моделювання і дослідної експлуатації свідчать про працездатність і ефективність створених БПСК, що дозволяє рекомендувати розро-

блені концепції, моделі, методи, процедури і програмно-апаратні засоби для проектування систем керування процесами виробництва.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Козьмин Ю.С. Математическое моделирование разносопротивляемости материалов растяжению-сжатию вследствие малоциклового усталости и ползучести / Золочевский А.А., Козьмин А.Ю., Козьмин Ю.С., Северин В.П. // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків: НТУ „ХПІ”, 2002. - №9. - С.89-96.

Здобувач запропонував процедури знаходження параметрів в матеріалі на основі методу глобальної оптимізації

2. Козьмин Ю.С. Система управления выращиванием сцинтилляционных монокристаллов / Л.В. Дербунович, В.С. Суздаль, Л.И. Герасимчук, Ю.М. Епифанов, Ю.С. Козьмин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків: НТУ „ХПІ”, 2008. - №31. - С.58-65.

Здобувач запропонував процедуру синтезу багатомірного регулятора для системи керування вирощуванням сцинтиляційних монокристалів.

3. Козьмин Ю.С. Функциональное диагностирование систем управления производством органических сцинтилляторов / Л.В. Дербунович, В.С. Суздаль, Ю.М. Епифанов, Ю.С. Козьмин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків: НТУ „ХПІ”, 2008. - №56. - С.96-101.

Здобувач розробив метод функціонального діагностування, заснований на

використанні тес- тового контролю в онлайн-овому режимі БПСК.

4. Козьмин Ю. С. Моделирование деградации сцинтилляционных детекторов / А. А. Золочевский, Г. В. Гончарова, Ю. А. Борошенко, Ю. С. Козьмин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків : НТУ „ХПІ”, 2008.-№9– С. 78– 89.

Здобувач запропонував модель залишкової напруги в застосуванні до органічних сцинтиляторів.

5. Козьмин Ю. С. Температурные напряжения в пластмассовых сцинтилляторах / Л. В. Дербунович, В. С. Суздаль, Ю. М. Епифанов, Ю. С. Козьмин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №2 (75). – С. 60– 67.

Здобувач провів аналітичне і чисельне моделювання температурної напруги в пластмасових сцинтиляторах.

6. Козьмин Ю. С. Редукция диагностических автоматных моделей динамических систем / Л. В. Дербунович, В. С. Суздаль, Ю. М. Епифанов, Ю. С. Козьмин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків : НТУ „ХПІ”, 2009. -№23– С. 71– 76.

Здобувач розробив методи поліноміальної апроксимації для скорочення об'єму пам'яті розпізнавача з магазинною пам'яттю для геометричних образів діагностичних систем.

7. Козьмин Ю. С. Синтез автоматных моделей по геометрическим образам динамических систем / Л. В. Дербунович, В. С. Суздаль, Ю. М. Епифанов, Ю. С. Козьмин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №4. – С.38.

Здобувач розробив процедури поліноміальної апроксимації для синтезу розпізнавача з магазинною пам'яттю

для геометричних образів діагностичних систем.

8. Козьмин Ю. С. Об одном методе синтеза многосвязных регуляторов / А. Д. Тевяшев, В. Н. Щелкалин, Ю. М. Епифанов, Ю. С. Козьмин // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2009. – № 5/3(20). – С. 56-64.

Здобувач обгрунтував вибір метод синтезу багатозв'язкових регуляторів узагальненого прогнозного керування з врахуванням особливостей виробництва органічних сцинтиляторів.

9. Пат. на винахід 90606 Україна, С2 МПК (2009) G06F 11/28 G06F 11/26 G06F 11/00 G01R 35/00. Устройство функциональной диагностики устройства регулирования роста монокристаллов // Суздаль В.С., Дербунович Л.В., Епифанов Ю.М., Тавровский И.И., Козьмин Ю.С. – Заявл. 29. 12. 2008. – Опубл. 11. 05. 2010. – Бюл. №9.)

10. Козьмин Ю. С. Д. Синтез системы оптимального стохастического управления технологическим процессом выращивания органических монокристаллов / А. Д. Тевяшев, В. Н. Щелкалин, В. С. Суздаль, Ю. С. Козьмин // Зб. наук праць 2-ї Міжнародної наукової конференції «Електронна компонентна база. Состояние и перспективы развития». – 2009. – С. 198– 201 (Харьков-Кацивели, 30 сент. – 3 окт. 2009).

Здобувач провів параметричне оцінювання об'єкту керування і чисельне моделювання системи керування процесом вирощування

АНОТАЦІЇ

Козьмін Ю.С. Системи багатомірного керування процесами виробництва ор-

ганічних сцинтиляторів. - Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи і процеси керування. Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків, 2010.

Дисертація присвячена розробці і обґрунтуванню методів проектування відмовостійких адаптивних багатовимірних систем керування в області виробництва органічних сцинтиляторів. Запропоновано оптимізацію управління класом багатозв'язкових стохастичних процесів в виробництві органічних сцинтиляторів проводити на основі методу узагальненого керування з прогнозуванням. Отримано вираження для модифікованого узагальненого прогнозного регулятора.

Моделі дослідження полівтемпературної напруги в сцинтиляторах дозволили уточнити вимоги до параметрів виробничих установок і якісних показників в систем керування.

Проведений синтез двовимірного прогнозного регулятора для керування вирощуванням органічних монокристалів. Для підвищення ефективності керування, у вираз для керуючого вектора входять як останні виміряні значення шуму, так і оцінені майбутні значення перешкод.

Розроблені і обґрунтовані методи проектування діагностичного забезпечення систем керування на основі діагностичної інфраструктури з інтелектуальними властивостями, в основі побудови якої запропоновано використовувати цифрові моделі апроксимацій динамічних систем.

Практична реалізація розроблених процедур і методів керування в промис-

ловому виробництві органічних сцинтиляторів дозволило підвищити якість готової продукції підприємства-виробника.

Ключові слова: синтез систем керування, моделювання систем керування, прогнозне керування, відмовостійкість систем, діагностичне забезпечення, моделі теплофізичних процесів, органічні сцинтилятори.

Козьмин Ю.С. Системы многомерного управления процессами производства органических сцинтилляторов. - Рукопись. Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.03 – системы и процессы управления. Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, Харьков, 2010.

Диссертация посвящена разработке и обоснованию методов проектирования отказоустойчивых адаптивных многомерных систем управления в области производства органических сцинтилляторов.

Процессы получения органических сцинтилляторов относятся к стохастическим динамическим системам, поэтому эффективным путем повышения их качества и производительности является использование развитых систем управления. С другой стороны, такие особенности этих процессов как существенная продолжительность и непрерывность

рабочего цикла, желательное ограничение вмешательства человека в технологический процесс в условиях промышленного производства, определяют необходимость создания высоконадежных и отказоустойчивых систем управления на основе встроенных средств диагностики и восстановления работоспособности микропроцессорных средств этих систем.

Предложено оптимизацию управления классом многосвязных стохастических процессов производства органических сцинтилляторов проводить на основе метода обобщенного управления с прогнозированием.

Проведен синтез двухмерного прогнозного регулятора для управления выращиванием органических монокристаллов. Устойчивость системы управления с синтезированным регулятором достигнута за счет усечения теплицевой матрицы управления. Минимизацией функционала качества, который включает в себя квадратичные формы предсказанных ошибок управления и управляющих воздействий, получено выражение в матричной форме для управляющей последовательности, которая обеспечивает приведение выхода объекта к нулю на горизонте управления. Для повышения эффективности управления, в выражение для управляющего вектора входят как последние измеренные значения шума, так и оцененные будущие значения по-

мех. Оценка будущих значений помех, проводилась на основе авторегрессионной модели.

Взаимосвязанное управление температурами в камерах проводится по модели объекта управления, параметры которой определяются блоком идентификации. Блок оценки качества в режиме реального времени контролирует качественные показатели системы управления и при неудовлетворительном качестве инициирует подстройку параметров модели объекта управления.

Численное моделирование и практическая эксплуатация регулятора показали, что использование многомерного регулятора позволило улучшить качество продукции за счет стабилизации скорости роста органических монокристаллов и уменьшения температурных напряжений.

Модельные исследования теплофизических процессов полимеризации и полей температурных напряжений в пластмассовых сцинтилляторах позволили уточнить требования к параметрам производственных установок и качественным показателям систем управления. Получены параметры скоростей изменения температуры отжига, при которых термические напряжения в критических областях сцинтиллятора не превышают предела прочности.

Разработаны и обоснованы методы проектирования диагностического обеспечения систем управления на основе диагностической инфраструктуры с интеллектуальными свойствами, в основе построения которой предложено использовать цифровые аппроксимационные модели динамических систем, представленные геометрическими об-

разами объекта диагностики. Геометрические образы диагностических систем отображены конечно-автоматными моделями, представленными классом автоматов с магазинной памятью.

Это позволило совместить процессы функционального и тестового диагностирования многопроцессорной системы управления в процессе ее функционирования, а также управлять процессами оптимизации производительности системы и ее реконфигурацией.

Результаты моделирования и опытной эксплуатации свидетельствуют о работоспособности и эффективности разработанных систем управления, что позволяет рекомендовать разработанные концепции, модели, методы, процедуры и программно-аппаратные средства для проектирования систем управления установками для производства органическими сцинтилляторами.

Ключевые слова: синтез систем управления, моделирование систем управления, прогнозное управление, отказоустойчивость систем, диагностическое обеспечение, модели теплофизических процессов, органические сцинтилляторы.

ANOTATION

Kozmin Y.S. Multidimensional Control Systems for Organic Scintillation Manufacturing Processes. - Script. Candidate's thesis. Specialization 05.13.03 - Control Systems and Process. Institute for Single Crystals of NAS of Ukraine, Kharkiv, 2010.

The dissertation is devoted to the development and proof of fault-tolerant adaptive multidimensional system design methods in organic scintillator manufacturing. It has been suggested to carry out the control optimization

of the multiply connected stochastic processes of organic scintillator manufacturing on the basis of the generalized feedforward control. The expression for the modified generalized predictive controller has been derived.

The model research of the heat stress fields in scintillators allowed defining more exactly the specifications for production unit parameters and qualitative characteristics of the control systems.

The synthesis of the two-dimensional predictive controller for the control of organic single crystal growing has been carried out. For efficiency increasing the expression for the control vector includes as the latest measured noise values as the estimated future noise values.

The diagnostic software method designing for the control systems on the basis of the diagnostic infrastructure with the intelligent features has been developed and proved. The digital approximate models of dynamic systems have been proposed to be used as the construction base of the diagnostic infrastructure. These systems are represented with geometric images of the diagnosing object.

The practical realization of the developed procedures and control methods in industrial manufacturing of organic scintillators has resulted in the improving of finished product quality for the manufacturer.

Key words: organic scintillators, adaptive control systems, thermalphysic process models, predictive control, system fault-tolerance, diagnostic software

Формат 60x 90 /16 У м . д р у к . а р к . Т и р . 100 п р и м . З а м . № 471-10.
П і д п и с а н о д о д р у к у 14.12.10. П а п і р о ф с е т н и й . .

Н а д р у к о в а н о з м а к е т у з а м о в н и к а у С П Д Ф О Б р о -
в і н О . В .

61022, м . Х а р к і в , м а й д а н С в о б о д и , 7, к о р п . 1, к . 19. Т . 758-01-
08, (066) 822-71-30

С в і д о ц т в о п р о в н е с е н н я с у б ' є к т а д о Д е р ж а в н о -
г о р е є с т р у

в и д а в ц і в т а в и г о т о в н и к і в в и д а в н и ч о ї п р о д у к -
ц і ї с е р і я Д К № 3587 в і д 23.09.09 р .