

УДК 681.518.5:303.732.4

СИНТЕЗ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НЕСТАЦІОНАРНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Н. А. Заєць, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: z-n@ukr.net

Анотація. Дифузійна станція цукрового заводу характеризується нестационарними, несприятливими властивостями як об'єкт керування і є визначальним технологічним апаратом, від роботи якого залежить ефективність функціонування комплексу в цілому. Тому як об'єкт дослідження в статті розглянуто станцію дифузії, оснащену колонним апаратом. Для визначення структури математичної моделі об'єкта побудовано та проаналізовано параметричну схему основних теплових процесів в дифузійній станції. На основі реальних даних були розраховані параметри математичної моделі для лінійної та квадратичної структур і показано, що на даному проміжку ідентифікації для роботи адаптивної системи обирається лінійна математична модель. Причому при наступному періоді ідентифікації оптимальна структура математичної моделі може змінюватися.

Розроблено структуру адаптивної системи автоматизованого управління з ідентифікатором для температурного режиму неперервно діючої дифузійної станції цукрового заводу. Визначено, що вхідними даними для пристрою адаптації є значення векторів координат стану, управліннь, збурень, а також даних про структуру математичної моделі та період ідентифікації, критерій та метод оптимізації налаштувань регулятора, що обираються оператором з набору існуючих.

Ключові слова: нестационарний об'єкт, еталонна модель, адаптивна система, оптимальне управління

Актуальність. Більшість технологічних процесів хімічної і харчової промисловості є багатовимірними об'єктами управління зі складними зв'язками між змінними, що характеризуються нестационарністю динамічних характеристик. Це призводить до погіршення якості управління, оскільки в типових системах вона залежить від зміни динаміки об'єкта з часом. Виникає необхідність побудови регуляторів, налаштування яких змінюються (адаптуються) так, щоб при змінюваних параметрах об'єкта точність та якість системи залишались незмінними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Суттєвий вплив на динаміку об'єкта управління може здійснювати нелінійність його математичної моделі [1]. Необхідно врахувати нелінійності, що викликані зростанням точності опису процесів в об'єкті управління, що в свою чергу обумовлене завищеними вимогами до точності системи управління. Перехід до нелінійних моделей об'єкта доцільний в умовах підвищеної маневреності системи, коли середній час зміни режиму роботи можна порівняти з часом перехідних процесів. Дія всіх перелічених факторів призводить до необхідності адаптивного управління [2]. Основною рисою адаптивних систем є наявність в них контурів, за допомогою яких отримується додаткова інформація про умови роботи системи, що використовується для зміни її властивостей в потрібному напрямку з метою досягнення необхідних та оптимальних характеристик управління.

Неперервність оптимального управління може досягатися шляхом синтезу адаптивної системи з еталонною моделлю [3], вихід якої описує бажану ціль управління системою при заданій вхідній дії. Але недоліком такої системи є складність виведення еталонної математичної моделі, що повністю точно і адекватно відповідає об'єкту. Тому, у випадку коли невідома математична модель, застосовують адаптивну систему з ідентифікатором в якій синтез контуру адаптації здійснюється за допомогою спеціального пристрою – ідентифікатора [1]. У процесі функціонування об'єкта можуть уточнюватися як структура математичної моделі, так і її параметри, тобто сама модель є адаптивною, а процес ідентифікації включається в контур зворотного зв'язку.

Мета дослідження – розробити структуру автоматизованої системи управління з використанням адаптивної системи з ідентифікатором.

Матеріали та методи дослідження. Як об'єкт дослідження розглянемо дифузійну станцію цукрового заводу, оснащену колонним дифузійним апаратом, що характеризується нестационарними, несприятливими властивостями як об'єкт керування і є визначальним технологічним апаратом, від роботи якого залежить ефективність функціонування комплексу в цілому.

Неперервно діюча дифузійна станція складається з:

- колонного дифузійного апарату;
- ошпарювача бурякової стружки;
- підігрівників для дифузійного соку та живильної води.

Підтримання необхідного температурного режиму в дифузійному апараті є визначальним показником якості процесу екстракції. З точки зору автоматизації основними регульованими змінними є температура верху колони та температура в шпарювачі, підтримання яких на заданому рівні відбувається за допомогою регулювання витрат пари на підігрівники дифузійного соку та живильної води [2].

Розробка адаптивної системи автоматизованого управління з ідентифікатором включає такі етапи:

1. Визначення структури математичної моделі об'єкта.
2. Розрахунок параметрів математичної моделі об'єкта.
3. Підбір алгоритму регулювання, що забезпечить необхідну якість роботи системи.
4. Вибір алгоритму розрахунку оптимальних настройок регулятора з урахуванням математичної моделі об'єкта.
5. Розробка структури адаптивної системи автоматизованого управління станцією дифузії та її реалізація.

Результати досліджень. Для визначення структури математичної моделі об'єкта було побудовано та проаналізовано параметричну схему основних теплових процесів в дифузійній станції (рис.1). В об'єкті виділено три ємності: ємність ошпарювача, ємність низу колони, ємність верху колони.

Вектор координат стану

$$x(t) = \begin{bmatrix} T_{ou} \\ T_n \\ T_v \end{bmatrix},$$

причому перша і третя координати є керованими змінними.



Рис.1. Параметрична схема основних теплових процесів в дифузійній станції:

$G_{пцс}$ – витрата пари на підігрівник циркуляційного соку;

$T_{сс}$ – температура сокостружкової суміші;

$G_{см}$ – витрата соку в мішалку ошпарювача;

$G_{сш}$ – витрата соку в шахту ошпарювача;

$G_{ст}$ – витрата стружки;

$T_{ош}$ – температура сокостружкової суміші в ошпарювачі;

$G_{сс}$ – витрата сокостружкової суміші в колону;

$T_{н}$ – температура сокостружкової суміші низу колони;

$T_{жв}$ – температура живильної води;

$G_{пжв}$ – витрата пари на підігрівник живильної води;

$G_{жв}$ – витрата живильної води;

$T_{в}$ – температура сокостружкової суміші верху колони.

Вектор управління

$$u(t) = \begin{bmatrix} G_{пцс} \\ G_{пжв} \end{bmatrix}.$$

Вектор збурень

$$z(t) = \begin{bmatrix} T_{cc} \\ G_{cm} \\ G_{cu} \\ G_{ct} \\ G_{cc} \\ T_{жв} \\ G_{жв} \end{bmatrix},$$

Математична модель об'єкта будується за допомогою статистичних рівнянь:

$$\begin{aligned} x_1 &= f_1(u_1, z_1, z_2, z_3, z_4) \\ x_2 &= f_2(x_1, z_5) \\ x_3 &= f_3(x_2, u_2, z_6, z_7) \end{aligned} \quad (1)$$

де f_1, f_2, f_3 обираються з ряду елементарних функцій відповідно заданому критерію ідентифікації

$$I_{id} = \sum_{i=0}^{t_{id}} (x_p(t_i) - x_m(t_i))^T (x_p(t_i) - x_m(t_i)) \rightarrow \min \quad (2)$$

де t_{id} – період ідентифікації, за який перераховуються структура та параметри математичної моделі; $x_p(t_i)$, $x_m(t_i)$ – вектори координати стану об'єкта реальні та розраховані за моделлю в дискретні моменти часу t_i . Мінімізація цього критерію відбувається як шляхом зміни структури математичної моделі та її параметрів.

Оскільки параметри та структура математичної моделі суттєво залежать від коефіцієнтів теплопередачі, об'єму робочого середовища, теплоємностей, режиму роботи об'єкта, що змінюються в досить широкому діапазоні, то виникає задача визначення такого періоду ідентифікації, за який визначена математична модель адекватно описує об'єкт. За експериментальними даними визначено, що період перерахунку математичної моделі становить 25 хвилин.

Оцінювання параметрів моделі та об'єкта виконується на основі алгоритму ідентифікації, що визначає правила пошуку оцінок. Для того, щоб перевірити, наскільки точно побудована модель імітує чи передбачає дані спостережень, необхідно порівняти їх при однакових діях. На основі реальних даних були

розраховані параметри математичної моделі для лінійної та квадратичної структур. На рис. 2 показано відповідність виходів реального об'єкта $x_p(t)$ та лінійної $x_{мл}(t)$ і квадратичної $x_{млл}(t)$ моделі при однакових вхідних діях для температури в ошпарювача Тош. Також було розраховано критерій ідентифікації для обраних моделей:

$$I_{ід_мл}=13,38 \text{ } ^\circ\text{C}^2, I_{ід_млл}=36,11 \text{ } ^\circ\text{C}^2$$

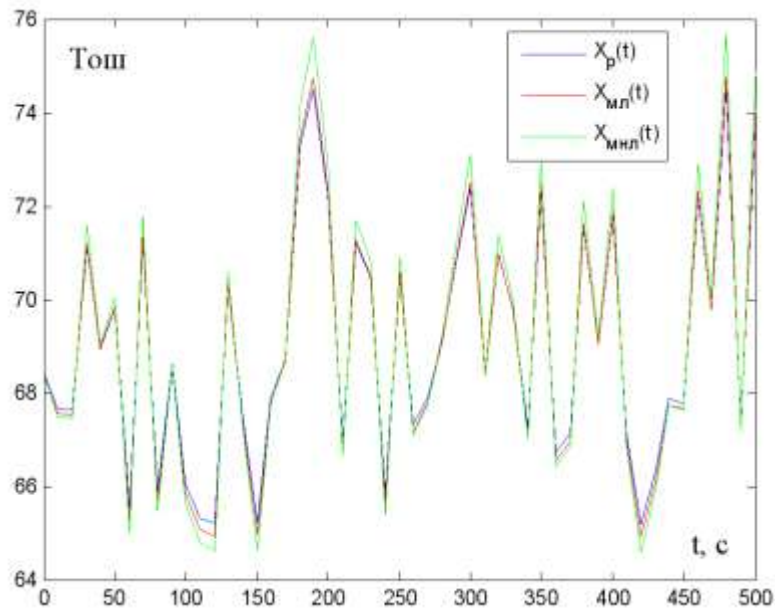


Рис.2. Температура сокостружки в ошпарювачі на об'єкті та моделях

За результатами досліджень, можна зробити висновок, що на даному проміжку ідентифікації для роботи адаптивної системи обирається лінійна математична модель. Причому при наступному періоді ідентифікації оптимальна структура математичної моделі може змінюватися.

Для підтримання заданого температурного режиму роботи об'єкту доцільним є застосування типових лінійних законів регулювання [3], зокрема пропорційно-інтегрального алгоритму. Причому в адаптивній системі автоматизованого управління блок ідентифікації розраховує оптимальні значення коефіцієнтів передачі настройок регуляторів, залишаючи постійним час інтегрування.

Алгоритм розрахунку оптимальних настройок регуляторів може обиратися з ряду пошукових методів, зокрема градієнтних, без градієнтних, методів випадкового

пошуку. При цьому як критерій пошуку використовується інтегральний квадратичний критерій суми відхилень заданих та дійсних значень регульованих змінних на всьому проміжку регулювання. Оскільки параметри об'єкта змінюються, то ці задачі повинні вирішуватись під час роботи КДУ автоматично, в темпі проходження процесу дифузії. Тобто, коефіцієнти передачі настройок регуляторів повинні змінюватись в процесі роботи системи пристосовуючись за час T до змінюваних параметрів роботи об'єкта так, щоб якість роботи системи залишалась незмінною.

Виберемо в якості шуканих параметрів настройки регуляторів T_i, k_p , що формують управляючу дію $u(t)$ і перейдемо до синтезу алгоритму адаптації, в класі алгоритмів швидкісного градієнта. Запишемо інтегральний квадратичний функціонал

$$I = \int_{t_0}^y e^T H e dt, \quad (3)$$

де $e = e(t) = x(t) - x_e(t)$ - вектор помилки, H - додатньо визначена $n \times n$ матриця, що вибирається за заданою гурвицьовою матрицею A_M з рівняння Ляпунова $HA_M + A_M^T H = -R$, де як R береться будь-яка симетрична додатньо визначена матриця.

Задамо градієнт $\omega(x, u, t)$ за вхідними змінними, що в цьому випадку визначається як

$$\nabla_U \omega(x, u, t) = B^T H e. \quad (4)$$

Алгоритм зміни $u(t)$ задамо диференціальним рівнянням

$$\frac{du}{dt} = -\Gamma \nabla_U \omega(x, u, t), \quad (5)$$

де $\Gamma = \Gamma^T > 0$ - симетрична додатньо визначена матриця, наприклад, $\Gamma = \text{diag}\{\gamma_1, \dots, \gamma_m\}, \gamma_i > 0$

Алгоритм (5) називається алгоритмом швидкісного градієнта для інтегрального цільового функціоналу, оскільки в ньому зміна $u(t)$ відбувається пропорційно градієнту швидкості зміни I .

Алгоритм швидкісного градієнта в кінцевій формі має вигляд:

$$u(t) = u_0 - \Gamma \nabla_{\Gamma} \omega(x(t), u(t), t), \quad (6)$$

де u_0 - початкові настройки регулятора,

$$\text{або } u(t) = -\Gamma B^T N e. \quad (7)$$

На основі проведених досліджень було розроблено адаптивну систему управління з ідентифікатором, структура якої зображена на рис.3. Пристрій адаптації складається з двох блоків : блоку ідентифікації математичної моделі об'єкта та блоку перерахунку оптимальних настройок регулятора K_{p1} та K_{p2} .

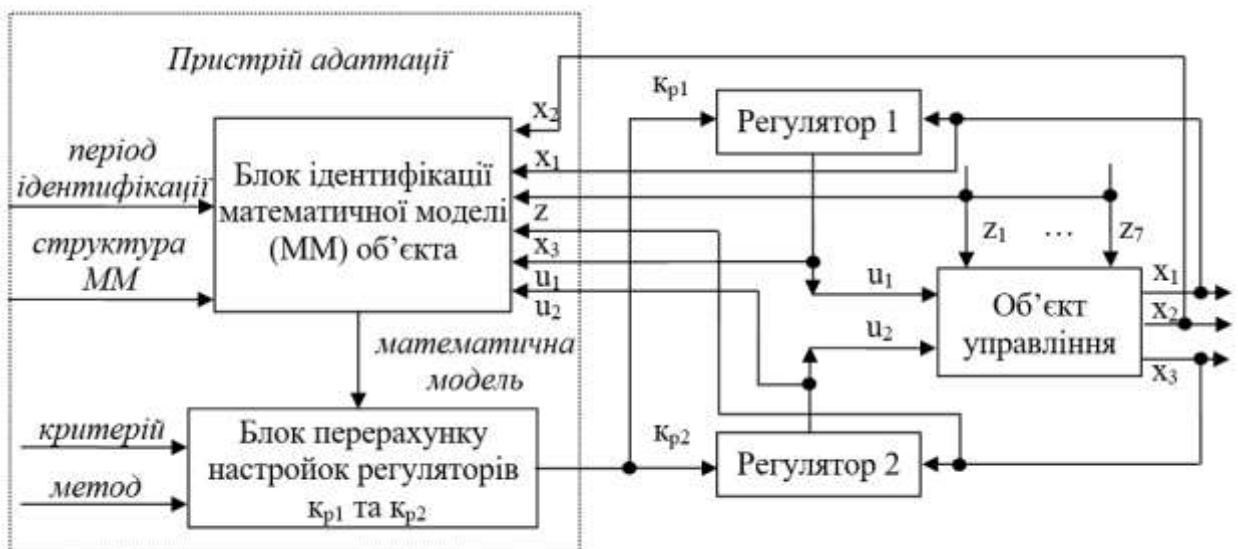


Рис. 3. Структура адаптивної системи автоматизованого управління

Вхідними даними для пристрою адаптації є значення векторів координат стану, управлінь, збурень, а також даних про структуру математичної моделі та період ідентифікації, критерій та метод оптимізації настройок регулятора, що обираються оператором з набору існуючих.

Висновки і перспективи

Розроблено адаптивну систему автоматизованого управління з ідентифікатором для температурного режиму неперервно діючої дифузійної станції цукрового заводу. Проведено дослідження виділених етапів синтезу адаптивної системи, кінцевим результатом яких є розробка структури автоматизованої системи управління з використанням алгоритмів адаптації. Розроблена система може бути реалізована на базі типової існуючої мікропроцесорної системи шляхом введення пристрою адаптації.

Список літератури

1. Кунцевич, В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации [Текст] / В.М.Кунцевич. – К.: Наукова думка, 2006. – 261
2. Ладанюк А.П. Застосування адаптивних систем керування для нестационарних об'єктів технологічних комплексів неперервного типу [Текст] / А.П. Ладанюк, Н.А. Заєць, Н.М. Луцька // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2005. -№ 1 (15). –С. 158-162.
3. Заєць Н.А. Адаптивна система керування температурним режимом роботи колонної дифузійної установки [Текст] / Н.А. Заєць // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2010. – Вип. 148. – С. 196 – 203.

References

1. Kuncевич, V.M. (2006). Upravlenie v usloviyah neopredelionnosti: garantirovane rezultati v zadachah upravleniya i identifikacii [Management in terms uncertainty: harantirovannye results in problems of management and authentication]. Naukova dumka, 261.
2. Ladanyuk, A. P, Zaiets, N.A., Lutska, N.M. (2005) Zastosuvannya adaptivnih system keruvannya dlya nestacionarnih obektiv tehnologichnih kompleksiv neperervnogo tipu [The use of adaptive control systems for non-stationary objects such continuous technological complexes]. Automation. Automation. Electrotechnical complexes and systems, 1(15), 158-162.
3. Zaiets, N.A. (2010). Adaptivna sistema keruvannya temperaturnim rejimom roboti kolonnoi difuziynoi ustanovki [Adaptive control temperature regime of diffusion column installation]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 148, 196-203.

СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Н. А. Заец

Аннотация. Диффузная станция сахарного завода характеризуется нестационарными, неблагоприятными свойствами как объект управления и является определяющим технологическим аппаратом, от работы которого зависит эффективность функционирования комплекса в целом, то в качестве объекта исследования в статье рассмотрена станция диффузии, оснащенная колонным аппаратом. Для определения структуры математической модели объекта построены и проанализированы параметрическую схему основных тепловых процессов в диффузионной станции. На основе реальных данных были рассчитаны параметры математической модели для линейной и квадратичной структур и показано, что на данном промежутке идентификации для работы адаптивной системы избирается линейная математическая модель. Причем при следующем периоде идентификации оптимальная структура математической модели может меняться.

Разработана структура адаптивной системы автоматизированного управления с идентификатором для температурного режима непрерывно действующей диффузионной станции сахарного завода. Определено, что входными данными для устройства адаптации является значение векторов координат состояния, управлений, возмущений, а также данных о структуре математической модели и период идентификации, критерий и метод оптимизации настроек регулятора, избираемых оператором из набора существующих.

Ключевые слова: нестационарный объект, эталонная модель, адаптивная система, оптимальное управление

SYNTHESIS ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF NON-STATIONARY TECHNOLOGICAL OBJECTS FOOD PRODUCTION

N. A. Zaiets

Abstract. Diffusion plant sugar plant characterized by non-stationary, unfavorable properties of an object and control is decisive technological apparatus of which depends on the efficiency of the complex as a whole, as an object of study in the article the station, tower diffusion equipped device. To determine the structure of a mathematical model of the object is constructed and analyzed parametric diagram of the major thermal diffusion processes in the plant. Based on real data were calculated parameters of mathematical model for linear and quadratic structures and show that at this period of identification for Adaptive elected linear mathematical model. And the next time period identifying the optimal structure of a mathematical model may vary.

The structure of adaptive automated control system ID for temperature control continuously active diffusion plant sugar factory. Determined that the input device adaptation are important vectors of coordinates state offices disturbances, as well as data on the structure of the mathematical model and the period of identification criteria and method for optimizing the settings of the regulator, the operator elected a set of existing ones.

Key words: non-stationary object reference model, adaptive system, optimum control