

3. Юров, С. И. Лечение содружественного косоглазия электростимуляциями наружных прямых мышц глаза [Текст] / С. И. Юров // Офтальмологический журнал. – 1968. – №8. – С. 598-600.
4. Рухлова, С. А. Основы офтальмологии [Текст] / С. А. Рухлова. – М.: Медицинская книга. – Н. Новгород: Изд-во НГМА, 2001. – 252 с.
5. Ремезов, А. Н. Медицинская и биологическая физика [Текст] / А. Н. Ремезов. – М.: Высшая школа, 1999. – 616 с.
6. Швец, Е. Я. Электростимулятор глазных мышц экспоненциальными модулированными импульсами [Текст] / Е. Я. Швец, Л. Л. Веревкин, А. П. Посулько и др. // Радиоэлектроника Информатика Управление. – 2003. – №1. – С. 24–26.
7. Запобігання сліпоті у дітей в Україні в рамках виконання програми ВООЗ «Зір-2020» з практичним семінаром «Жива хірургія» [Текст] : тези та лекції Міжнародної науково-практичної конференції лікарів-офтальмологів України, 11-12 березня 2005 р. / М-во охорони здоров'я України. – Київ: КВІЦ. – 2005. – 380 с.
8. Елисеєва, Н. М. Чрескожная электростимуляция зрительных нервов у нейрохирургических больных со зрительными нарушениями [Текст] / Н. М. Елисеєва, Н. К. Серова, В. В. Гнездицкий и др. // Вестник офтальмологии. – 1997. – Т.113. – №1. – С. 19-22.
9. Швец, Е. Я. Миниатюрный электростимулятор глазных мышц [Текст] / Е. Я. Швец, Л. Л. Веревкин, О. Н. Поправка и др. // Электроника и связь. – 2003. – №18. – С. 102–103.
10. Пономарчук, В. С. Электростимуляционные методы лечения в офтальмологии [Текст] / В. С. Пономарчук, С. Б. Слободяник, В. С. Дроженко // Офтальмол. журн. – 1998. – №4. – С. 318-324.
11. Шигина, Н. А. Применение электрического тока в диагностике и лечении патологии зрительного нерва и сетчатки. Том 2. №2 [Текст] / Н. А. Шигина, И. Г. Куман, Т. С. Хейло и др. – М.: КОФ, 2001. – С. 243 – 256.

*Розглянуто питання можливості та доцільності використання робастних регуляторів для технологічних об'єктів в харчовій промисловості. Описані принципи робастного регулювання, що можуть бути використані у будь-якій галузі харчової промисловості, якій притаманні складні масо- та теплообмінні процеси. Робастні регулятори забезпечують необхідну стійкість та якість множини об'єктів з можливою компенсацією зовнішніх збурень*

*Ключові слова: принципи робастного управління, умови невизначеностей, робастний регулятор*

*Рассматривается вопрос возможности и целесообразности использования робастных регуляторов для технологических объектов в пищевой промышленности. Описаны принципы робастного регулирования, которые могут быть использованы в различных отраслях пищевой промышленности, для которых характерны сложные массо- и теплообменные процессы. Робастные регуляторы обеспечивают необходимую устойчивость и качество множества объектов с возможной компенсацией внешних воздействий*

*Ключевые слова: принципы робастного управления, условия неопределенностей, робастный регулятор*

УДК 681.513:5.664.12

## МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБАСТНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Н. Г. Гриценко**

Аспірант

Кафедра інтегрованих автоматизованих систем управління\*\*

E-mail: gricenko.ng@gmail.com

**Я. В. Смітюх**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: smityuh@yandex.ru

**А. П. Ладанюк**

Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: ladanyuk@ukr.net

\*Кафедра автоматизації процесів управління\*\*

\*\*Національний університет харчових технологій  
вул. Володимирська, 68, Київ, Україна 01601

### 1. Вступ

Більшість технологічних об'єктів (ТО), які використовуються за різним призначенням у будь-яких галу-

зях промисловості, є нестационарними, багатокритеріальними, нелінійними з високим рівнем виробничих шумів та перешкод. Нестационарність ТО викликана змінюваними умовами роботи процесів тепло-, ма-

сообміну, гідродинаміки, хімічними та біохімічними перетвореннями. Параметри математичних моделей таких об'єктів змінюються в значних межах, наприклад, коефіцієнти тепло- та масообміну в 1,5 – 6 разів. Крім того математичні моделі є наближеними і отримані на їх основі настройки автоматичних регуляторів не забезпечують необхідних показників якості перехідних процесів в режимах стабілізації та під час зміни режимів роботи. Для таких ТО характерно також розподіленість координат та наявність запізнювання сигналів в каналах передачі інформації.

## 2. Аналіз літературних даних. Постановка проблеми

Синтез систем високої точності в умовах такого роду невизначеностей є значною проблемою сучасної теорії управління. Початок рішення даної проблеми покладений ще на початку 1930-х років в зв'язку з аналізом чутливості системи зі зворотнім зв'язком. Синтез та реалізація робастного управління свого розвитку набули у 70-80-х роках [1]. З того часу і до сьогодні проблема робастного управління є актуальною і не даремно їй присвячено безліч наукових праць, але, на жаль, робастні методи управління недостатньо широко досліджувалися для технологічних об'єктів.

Сучасна теорія управління використовує достатньо велику кількість підходів до побудови ефективних систем автоматизації для ТО. Загальним для них є значна складність теорії та методів проектування систем.

Саме це є основною причиною малої затребуваності за достатній строк існування сучасної теорії оптимального робастного управління практичних рішень конкретних реальних задач автоматизації технологічних процесів на інженерному рівні.

Існує два основні підходи, які найбільш широко застосовуються в оптимальному управлінні для об'єктів харчової промисловості:

- адаптивне управління [2];
- робастне управління [2, 3].

Використання робастного управління ТО є одним з перспективних напрямків, пов'язаних з тим, що в останні роки активно розробляються сучасні методи побудови робастних регуляторів: H2-, H $\infty$ -, оптимальні методи [2, 4].

В статті наведено можливість використання робастних регуляторів в умовах різноманітних видів невизначеностей та перешкод, які досить часто зустрічаються в ТО, зокрема, в спиртовій промисловості. Розглянуто можливість застосування робастних регуляторів для складного технологічного об'єкта такого як брагоректифікаційна установка. Також наведено приклад комбінування робастних та адаптивних регуляторів, що дозволяє застосовувати переваги обох методів сучасної теорії управління.

## 3. Мета і задачі дослідження

Виділено клас об'єктів, які характеризуються складними нестационарними, багатовимірними та багатозв'язними процесами, що працюють в умовах різного роду невизначеностей. До даного класу об'єктів

належать ректифікаційні установки, зокрема брагоректифікаційні установки (БРУ) спиртової промисловості.

БРУ - це складний об'єкт управління, процеси брагоректифікації є багатовимірними, оскільки їх стан характеризується за трьома полями: полем концентрації, температури і тиску. Властивість багатозв'язності БРУ проявляється в складному взаємозв'язку керувальних впливів та вихідних змінних стану. Підтримка необхідних режимів роботи БРУ потребує врахування узгодженості управління регульовальними змінними, так як зміна однієї вхідної змінної, як правило, приводить до зміни всіх або хоча б декількох вихідних змінних. Дана особливість відносить БРУ до класу багатозв'язних об'єктів управління.

Враховуючи властивості багатовимірності та багатозв'язності, а також наявність неконтрольованих збурень, складність процесів масо- та теплообміну, процесів гідродинаміки цих установок, відносимо БРУ до складних нестационарних систем, що є яскравим представником обраного класу об'єктів.

Для ефективного управління виділений класом об'єктів визначено робастний підхід, так як метою синтезу робастного управління є гарантія необхідної якості системи незалежно від можливих похибок та змін параметрів системи. Основна задача робастного управління полягає в гарантованому управлінні при неповній апріорній інформації про об'єкт, в забезпеченні стійкості системи в умовах наявності всіх типів невизначеностей тощо.

Найбільш відомим підходом до автоматизації БРУ є робота [5], в якій викладені методи і передаточні функції даного об'єкта, проте ця робота відноситься до класу систем, в яких не розглядалися проблеми та можливості робастного управління.

В зв'язку з цим виникла об'єктивна необхідність розробки методів, способів та відповідного математичного і технічного забезпечення для робастних та адаптивних систем з метою підвищення ефективності управління обраним класом об'єктів.

## 4. Методика дослідження робастної системи керування БРУ

Систему, яка має допустимі зміни якості при зміні або нечіткості її моделі, вважають **робастною**. Однією з головних задач при синтезі робастних систем є визначення та завдання особливостей об'єкта. При цьому приймається до уваги, що в робастному управлінні, на відміну від адаптивного, використовується лише початкова інформація, яка не поповнюється в процесі роботи системи.

Від робастної системи під час її практичного застосування потребується, щоб вона володіла низькою чутливістю, зберігала стійкість, мала належну якість, в достатньо широкому діапазоні зміни її параметрів. Крім того від проектувальника очікують, щоб створювана ним система функціонувала відповідним чином у широкому діапазоні невизначеностей.

Для даного класу об'єктів, зокрема для БРУ, виділено різні типи невизначеностей [6].

По перше, це структурні невизначеності, так як модель процесу структурно не відповідає об'єкту управ-

ління. Наприклад, коли порядок інерційної частини моделі менше, ніж у реального об'єкта, що практично завжди має місце бути, так як при моделюванні завжди нехтують малими сталими часу.

По друге, це функціональні невизначеності. Наприклад, при моделюванні кінетики процесу можуть бути використані рівняння, порядок яких не відповідатиме реальному порядку рівнянь.

По третє, це параметричні невизначеності. Наприклад, величини транспортних запізнювань і коефіцієнтів моделей можуть бути відомі нечітко або неповністю, і більш того, вони можуть змінюватися в часі.

Досліджуючи брагоректифікаційні установки в спиртовій промисловості, визначено, що складні умови експлуатації БРУ приводять до необхідності враховувати в процесі контролю та управління наступні види невизначеностей [2, 6]:

- низька точність оперативної інформації, отримувана з об'єктів управління, що виникає в результаті отриманої похибки з датчиків вимірювання технологічних параметрів (витрати, тиску, температури і т.д.), наявність шумів, недостатня надійність засобів вимірювання, відмови каналів зв'язку, наявність великого запізнення при передачі інформації по рівням управління, відсутність можливості вимірювання в усіх точках технологічного процесу, необхідних для створення математичних моделей. Наявність такого виду невизначеності викликає неточність при завданні змінних величин в моделях, початкових і граничних умовах.

- неточність математичних моделей може виникати із-за невірно проведеної декомпозиції загальної задачі управління, зайвої ідеалізації складного технологічного процесу, втрата зв'язку між складовими технологічного комплексу, лінеаризації, дискретизації, заміни фактичних характеристик обладнання паспортними та будь-яких інших непередбачених обставин, що, як правило, трапляються на виробництві, тощо.

Робастне управління БРУ фактично характеризується чутливістю системи до наведених вище видів невизначеностей, які в загальному виді описуються таким чином:

$$W(p) = W_{ном}(p) + \Delta \cdot W(p), \quad (1)$$

$$W(p) = W_{ном}(p) + \Delta_A \quad (2)$$

$$W(p) = (I + \Delta_M) \times W_{ном}(p),$$

де  $\Delta$  - невизначеність,  $\Delta_A$  - адитивна невизначеність,  $\Delta_M$  - мультиплікативна невизначеність,  $I$  - одинична матриця,  $W(p)$  - передаточна функція об'єкта з невизначеністю,  $W_{ном}(p)$  - передаточна функція номінального об'єкта.

## 5. Результати дослідження

Враховуючи багатомірний, багатозв'язний та нелінійний характер технологічних процесів трьохколонної БРУ непрямої дії, що нами досліджується, вперше розглянуто можливість глобальної та локальної робастності.

Застосовано інтервальний підхід, який передбачає, що кожен технологічний параметр об'єкта знаходиться в межах нижньої і верхньої границі, тобто відомий інтервал його можливих значень.

$$0_i^{\min} \leq a_i \leq a_i^{\max}. \quad (3)$$

При побудові автоматичної системи регулювання (АСР) БРУ виникає необхідність створення системи управління, яка буде стійкою для всіх можливих значень з визначеного інтервалу (3).

Для робастної стійкості АСР БРУ тоді достатньою умовою є створення чотирьох поліномів Харитонова, що матимуть наступний вигляд:

$$Q_1(p) = 0_i^{\max} + 0_{i-1}^{\min} p + a_{i-2}^{\min} p^2 + a_{i-3}^{\max} p^3 + a_{i-4}^{\max} p^4 + a_{i-5}^{\min} p^5 + \dots$$

$$Q_2(p) = 0_i^{\max} + 0_{i-1}^{\max} p + a_{i-2}^{\min} p^2 + a_{i-3}^{\min} p^3 + a_{i-4}^{\max} p^4 + a_{i-5}^{\max} p^5 + \dots \quad (4)$$

$$Q_3(p) = 0_i^{\min} + 0_{i-1}^{\max} p + a_{i-2}^{\max} p^2 + a_{i-3}^{\min} p^3 + a_{i-4}^{\min} p^4 + a_{i-5}^{\max} p^5 + \dots$$

$$Q_4(p) = 0_i^{\min} + 0_{i-1}^{\min} p + a_{i-2}^{\max} p^2 + a_{i-3}^{\max} p^3 + a_{i-4}^{\min} p^4 + a_{i-5}^{\min} p^5 + \dots$$

Система з характеристичним поліномом виду  $Q(p) = 0_0 p^n + 0_1 p^{n-1} + \dots + a_n$  буде робастно стійкою на множині значень коефіцієнтів (3), тоді коли всі поліноми Харитонова (4) будуть стійкими.

Крім цього необхідно виділити діапазон зміни технологічних параметрів заданого технологічного режиму трьохколонної БРУ непрямої дії, який відповідає стандартним виробничим ситуаціям. Встановити можливі відхилення вектору технологічного режиму та вектору зовнішнього середовища.

Привести стандартні ситуації роботи трьохколонної БРУ непрямої дії, прийнявши їх за еталонні, порівняти їх з систематично виникаючими нештатними ситуаціями, пов'язаними з якістю вхідної сировини, зі збоями технологічного обладнання, з непередбачуваними помилками мікропроцесорної техніки та засобів автоматизації.

На основі отриманих даних розробити алгоритм та програмне забезпечення для порівняння еталонної ситуації з нештатною, паралельно виводячи показник їхнього відхилення на основі функції належності

$$S_{ншт} = \mu^{ншт}(S), \quad (5)$$

де  $S$  - множина можливих ситуацій, а  $\mu^{ншт}$  знаходиться в межах (0 - 1).

Розглядаючи та досліджуючи робастні та адаптивні системи управління визначено, що між ними існує однозначна залежність - вони обидві орієнтовані на змінювані умови роботи. Поєднання двох ефективних методів сучасної теорії управління дозволяє доцільно використовувати переваги як адаптивних так і робастних систем [1, 2].

Прикладом такого ефективного поєднання є інтелектуальна система, яка, в свою чергу, не потребує значних матеріальних затрат та може бути використана в підприємствах харчової промисловості, зокрема в спиртовій.

Варіант такої системи зображений на структурній схемі рис. 1 [2].

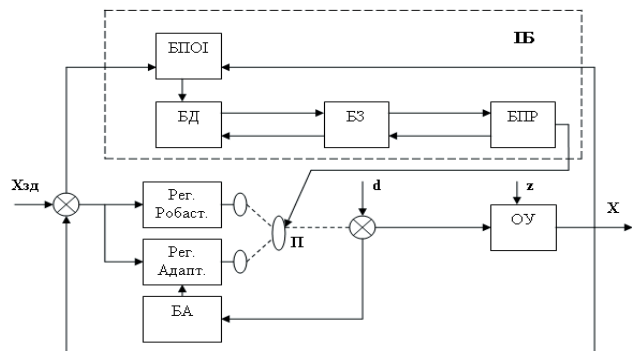


Рис. 1. Структурна схема інтелектуальної системи управління: БПОІ – блок попередньої оцінки інформації; БД – база даних; БЗ – база знань; БПР – блок прийняття рішень; БА – блок адаптації; П – перемикач; d – додаткова перешкода; z – зовнішнє збурення

На першому етапі роботи системи включається адаптивний регулятор. Він на основі зміни чи появи

нового типу додаткових перешкод за допомогою БА знаходить певні рішення, змінює початкові параметри системи, пристосовується до нових умов режиму роботи системи. ІБ обробляє початкову інформацію за допомогою БД та БЗ приймає відповідне ключове рішення, на основі якого П переключає з адаптивного регулятора на робастний.

### 6. Висновок

Використання робастних регуляторів та методів робастного управління для виділеного класу нестаціонарних, багатозв'язних об'єктів, таких як БРУ, є достатньо актуальним питанням на сьогоднішній час.

Для систем управління брагоректифікаційними установками доцільно використовувати індивідуальні методи, в яких реалізована умова робастності та принципи адаптивного управління, що, в свою чергу, дає можливість забезпечити високу якість системи управління в змінюваних умовах роботи.

### Література

1. Пупков, К.А. Методы классической и современной теории автоматического управления [Текст]: в 5-и т. / К. А. Пупков, Н.Д. Егупов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 656 с.
2. Пупков, К. А. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного Управления [Текст] / К. А. Пупков; ред. Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с.
3. Поляк, Б.Т. Робастная устойчивость и управление [Текст] / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
4. Джарагян, М.А. Робастная стабилизация в локальных системах управления процессом подготовки товарной нефти: [Текст] дис. канд. техн. наук : 05.13.06 : защищена 08.11.05 : утв. 20.05.06 / Джарагян Максим Александрович. – С-П., 2005. – 149 с.
5. Мандельштейн, М.Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации [Текст] / М. Л. Мандельштейн. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 240 с.
6. Смітюх, Я.В. Автоматизоване управління брагоректифікаційною установкою на основі сценарного підходу [Текст]: дис. кан. техн. наук : 05.13.07 : захищена 12.12.07 : затв. 12.03.08 / Смітюх Ярослав Володимирович. – К., 2007. – 282 с.
7. Dorf, R. Modern Control Systems [Текст] / R. Dorf, R. Bishop // Addison-Wesley. – 1998. – 832 с.
8. Zhou K., Doyle J.C., Glover K. Robust and optimal control [Текст] / K. Zhou, J. Doyle, K. Glover // Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. – 1996. – 586 с.
9. Tsyypkin Ya.Z., Polyak B.T. High-gain robust control [Текст] / Ya. Tsyypkin, B. Polyak // Eur. J. Control. – 1999, V.5, No.1, C.3-9.
10. Morari M., Zafiriou M. Robust process control [Текст] / M. Morari, M. Zafiriou // Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. – 1989. – 147 с.