

INTELLECTUALIZATION OF THE APPLIED FUNCTIONS OF MANAGEMENT OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX OF THE SUGAR ENTERPRISE

O. Romashchuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Sugar factory
Technological complex
Intellectualization
Management processes
Optimization
Fuzzy regulator*

Article history:

Received 11.07.2023
Received in revised form
28.07.2023
Accepted 14.08.2023

Corresponding author:

O. Romashchuk

E-mail:

alexandr290994@gmail.
com

Citation: O. M. Ромашчук (2023). Інтелектуалізація прикладних функцій керування технологічним комплексом цукрового заводу. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 20—32.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-4

ABSTRACT

The problems that prevent the successful implementation of modern information systems in the processes of management and automation of production were analyzed in the article on the basis of the identified features of the technological complex of the sugar industry as a complex organizational and technical system. It was established that an important factor in the emergence of these problems is the presence of significant uncertainty in the implementation of the entire range of applied control functions. According to the IPDI principle, consideration of multifaceted uncertainties and their compensation to a certain extent is possible through the use of intelligent mechanisms at all hierarchical levels of complex dynamic object management systems. According to the principles of the scenario approach, the technological complex of the sugar enterprise was intellectually decomposed into situationally significant zones, which were determined by the vague values of the mode parameters of sugar production as linguistic variables. In each situationally significant zone, vector optimization was carried out on the basis of a compromise convolution of control criteria according to Pareto, which ensured the achievement of the best product conditions, maximum production productivity, and reduction of resource losses. Intelligent controllers have been developed at all branches of the sugar enterprise based on fuzzy logic methods, which ensure high quality of transient regulation processes in a wide range of operating disturbances in real conditions, which is confirmed by modeling and implementation in production. The obtained intellectual means are implemented in the form of control system software, which are included in the information vertical of the sugar factory. The implementation of the development of the intelligent component of the control systems of the technological complex of the sugar factory, as shown by the pilot operation, allowed to further increase production productivity by 2.3% and reduce sugar losses by 0.08%.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-4

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРИКЛАДНИХ ФУНКЦІЙ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

О. М. Ромащук

Національний університет харчових технологій

У статті на основі визначених ознак технологічного комплексу цукрової промисловості як складної організаційно-технічної системи проаналізовано проблеми, що заважають успішному впровадженню сучасних інформаційних систем у процеси керування та автоматизації виробництва. Встановлено, що важливим чинником у виникненні цих проблем є наявність значної невизначеності при реалізації всього спектра прикладних функцій керування. Згідно з принципом IPDI урахування різнопланових невизначеностей та їх компенсація можлива шляхом застосування інтелектуальних механізмів на всіх ієрархічних рівнях систем керування складними динамічними об'єктами. За принципами сценарного підходу проведена інтелектуальна декомпозиція технологічного комплексу цукрового заводу на ситуаційно-значущі зони, які визначались за нечіткими значеннями режимних параметрів цукрового виробництва як лінгвістичних змінних. У кожній ситуаційно-значущій зоні проведена векторна оптимізація на основі компромісної згортки критеріїв керування за Парето, що забезпечило досягнення найкращих кондицій продукції, максимальної продуктивності виробництва, скорочення втрат ресурсів. Розроблено інтелектуальні регулятори на всіх відділеннях цукрового заводу на основі методів нечіткої логіки, які забезпечують високу якість перехідних процесів регулювання в широкому спектрі діючих збурень у реальних умовах, що підтверджено моделюванням і реалізацією на виробництві. Отримані інтелектуальні засоби реалізовані у вигляді програмного забезпечення систем керування, які включені в інформаційну вертикаль цукрового заводу. Реалізація розробок інтелектуальної компоненти систем керування технологічним комплексом цукрового заводу, як показала дослідна експлуатація, дала змогу додатково підвищити продуктивність виробництва на 2,3%, скоротити втрати цукру на 0,08%.

Ключові слова: цукровий завод, технологічний комплекс, інтелектуалізація, процеси керування, оптимізація, нечіткий регулятор.

Постановка проблеми. Встановлено, що технологічні комплекси харчових виробництв, зокрема й цукрової промисловості, мають усі характерні ознаки складних організаційно-технічних систем (Ладанюк, Решетюк, Кишенько, & Смітюх, 2014). Серед них можна виділити: багатофакторність; ієрархічна структура систем керування; складний характер поведінки, що характеризується наявністю режимів як детермінованого, так і стохастичного й хаотичного характеру; високий рівень шумів і перешкод; наявність цілей керування конфліктного характеру, значна невизначеність при реалізації прикладних функцій керування (Мірошник, Гачковська, Кишенько, & Грабовська, 2019).

Фактори невизначеності в значній мірі визначають складність прийняття рішень щодо керування складними технологічними комплексами. До основних факторів звичайно відносять (Abdulsalam, Ali, AlYatama, & AlRoumi, 2014):

- неповноту інформації про характеристики та властивості, а також про умови функціонування складних об'єктів керування;
- неточність математичних моделей об'єктів керування, похибки вимірювально-інформаційних систем, а також алгоритмів керування та методик розрахунку;
- нечіткість опису ряду процесів, які мають різnorідну природу, що характерно для технологічних процесів харчових виробництв.

Одна з головних причин зазначених особливостей має методологічний характер і полягає в тому, що при розробці систем керування такими об'єктами найчастіше ігноруються вимоги системного підходу до проектування складних організаційно-технічних комплексів. Це, зокрема, проявляється у здійсненні автоматизації лише окремих етапів процесу збирання й обробки інформації або у вирішенні на ЕОМ деяких розрахункових завдань без розгляду проблеми автоматизації процесів управління в цілому. Іншими словами, не здійснюється комплексна автоматизація відповідних процесів. Практика показує, що автоматизації повинні піддаватися тільки добре вивчені і досить стабільні процеси й технології, для яких розроблено конструктивні формальні засоби опису (моделі), методи, алгоритми та методики вирішення відповідних прикладних завдань.

На сучасному етапі розвитку науки й техніки досягнуто досить високого рівня розвитку апаратно-програмних засобів збору, передачі й обробки інформації, які входять до складу будь-якої системи керування, постійно відбувається їх модифікація, покращуються техніко-економічні характеристики (Burstein, & Holsapple, 2008). Водночас усе більше фахівців починають розуміти всю важливість комплексного інтегрованого підходу до автоматизації функціонування підприємств та організацій, заснованого на фундаментальних і прикладних результатах, отриманих у сучасній математиці, інформатиці, теорії управління.

У сучасних умовах проблема проектування систем автоматизованого керування складними організаційно-технічними об'єктами характеризується переходом від парадигми адаптивного й оптимального керування до парадигми інтелектуального керування (Demir, Bektaş, & Laporte, 2012). Це викликано неперервним ускладненням промислових об'єктів керування та умов їх функціонування, появою нових класів комп'ютерної техніки, а також різким підвищенням вимог до надійності й ефективності процесів керування в умовах суттєвої апріорної та апостеріорної невизначеності.

На етапі проектування систем керування технологічним комплексом цукрового заводу при розробці математичного та алгоритмічного апарату аналізу й синтезу управління виникають значні труднощі внаслідок погано формалізованих технологічних процесів. Це призводить до необхідності використання методів штучного інтелекту. Як недостатня теоретична підготовка користувачів, так і недостатнє використання знань і досвіду експертів у предметній галузі, що розглядається, вимагають інтелектуалізації системи, що розробляється, при реальній її експлуатації. Тому розвиток методології проектування систем керування технологічним комплексом цукрового заводу, інваріантної різним об'єктам управ-

ління, що дає змогу з урахуванням особливостей цих об'єктів оперативно синтезувати та реалізовувати в реальному масштабі часу оптимальне управління режимами технологічного комплексу цукрового заводу є актуальним завданням. Застосування таких систем у промисловості скоротить енерго- та ресурсоспоживання на 10—30%, продовжить термін експлуатації технологічного обладнання та забезпечить заданий рівень якості продукції, що випускається, без зниження продуктивності технологічного процесу (Tapio, & Mirjami, 2009).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із перспективних напрямів розвитку систем керування складними технологічними об'єктами ієрархічної структури, до яких без сумніву відносяться технологічні комплекси харчових виробництв, є використання теоретично-інформаційного підходу *IPDI (Increasing Precision with Decreasing Intelligence)*, який був запропонований американським вченим Дж. Сарідісом (Saridis, 2001). Зміст цієї концепції полягає в здійсненні декомпозиції цілей і задач керування складними динамічними об'єктами залежно від необхідної точності та інтелектуального вибору і прийняття рішень щодо керування. При цьому, чим більша необхідна точність керування на відповідному ієрархічному рівні, тим нижчим є рівень його інтелектуальності, і, навпаки, чим вищий необхідний рівень інтелектуальності, тим нижчі вимоги до точності виробітку рішень.

Так, у працях (Dyniewicz, Konowtowski, & Bajer, 2017; Groumpos, 2010) виділяються такі кардинальні ознаки інтелектуального керування:

- неперервне уточнення можливості досягнення попередньо вибраних термінальних умов, які задані у визначених цілях керування;
- корекція критеріального базису для забезпечення необхідної якості керування;
- змінювання траєкторії руху системи в критеріальному просторі відповідно із змінюваннями умов функціонування, викликаними, в основному, лабільністю показників якості сировини;
- необхідність корегування виробничих планів через виникнення нештатних ситуацій, а також унаслідок проблем, спричинених поточними завданнями маркетингового характеру.

При цьому в складі алгоритмічного забезпечення інтелектуальних систем керування повинні використовуватись методи, основані на використанні знань, методів навчання, м'яких обчислень (нейронні мережі, нечітка логіка) (Edwards, & Kok, 2021).

У статтях (Luca, Barlacchi, Lepri, & Pappalardo, 2021; Breiman, 2001) визначені умови ефективної реалізації прикладних функцій інтелектуальної системи керування технологічними процесами:

- 1) потрібно обробити та провести аналіз великого масиву інформації;
- 2) інформація обмежена;
- 3) потрібно працювати за умов невизначеності;
- 4) простір багатовимірний;
- 5) потрібно розпізнати ситуації;
- 6) на розв'язання задачі впливають нестационарні фактори;
- 7) завдання формалізоване з використанням моделей подання знань;

8) потрібні самоорганізація, самонавчання, адаптація системи.

Інтелектуальна система керування має включати відповідні математичне, методологічне, інформаційне, програмне, апаратне й технічне забезпечення для адекватного рішення завдань із переліченими вище умовами.

Розроблена концепція структури інтелектуальних систем, яка лягла в основу цілого напрямку наукових досліджень та практичної розробки інтелектуальних систем (Kumaran, Hassabis, & McClelland, 2016). Оскільки інтелектуальна система розглядається як сукупність математичного, методологічного, програмного, апаратного, технічного забезпечення, яка об'єднується інформаційним процесом, то різні складові системи повинні мати можливість обробки одержуваної інформації про проблемну область так, як це відбувається у мозку людини (Shi, 2019). Рядом авторів (Lake, Salakhutdinov, & Tenenbaum, 2015); Hassabi, Kumaran, Summerfield, & Botvinick, 2017) пропонується використовувати системний і міждисциплінарний підходи у створенні методології інтелектуальних систем, застосування яких дає додаткову можливість розробки ефективних методів теорії складних процесів, що характеризуються великим обсягом оброблюваної інформації, що важко формалізуються, прийняттям рішень в умовах невизначеності, різними проблемами використання традиційних методів багатокритеріальної оптимізації.

Розглянуті вимоги до розробки та результати використання інтелектуальних систем вимагають їх удосконалення, зважаючи на специфіку технологічних процесів цукрової промисловості.

Мета дослідження: забезпечення ресурсо- та енергозбереження, мінімізація втрат якості виробленої продукції та продуктивності технологічних процесів цукрової промисловості шляхом розробки та впровадження методології побудови інтелектуальних систем керування, що дає змогу оперативно синтезувати керуючий вплив за енергетичними та якісними критеріями.

Матеріали і методи. Як правило, інтелектуальні системи використовуються при знаходженні шляху вирішення завдань, у яких більшою мірою застосовується не обчислювальна, а логічна обробка інформації, що відповідає отриманим знанням від експертів. І ці знання, зазвичай, слабоформалізовані. Характерною особливістю інтелектуальних систем є наявність знань, що адекватно описують досліджувану предметну область конкретної галузі (Chu, Strand, & Fjelland, 2003). Основні складнощі розробки інформаційних інтелектуальних систем полягають у повноцінному поданні знань та їх обробці.

Інформаційні інтелектуальні системи оперують даними та знаннями. Дані — це фактична інформація про об'єкти, процеси, явища предметної області та їхні властивості. Знання — це сукупність даних, структура їх взаємозв'язків і способи обробки даних. Знання є більш складна категорія інформації порівняно з даними, їх зазвичай називають структурованими даними (Nicolis, G., & Nicolis, C., 2009). Щоб інтелектуальна система могла оперувати знаннями, їх слід подати у заданій формі як базу знань, яка запрограмована відповідним чином і базується на відповідних моделях знань (Gacto, Alcalá, & Herrera, 2010). Найбільш популярними серед них є мережеві, продукційні, фреймові, логічні моделі. Логічні моделі характеризуються єдністю теоретичного уявлення та можливістю реалізації формальних визначень, закономірностей, висновків. Логічна модель задається таким

упорядкованим кортежем множин (Karavas, Kyriakarakos, Arvanitis, & Papadakis, 2015):

$$M = \langle T, P, A, B \rangle,$$

де T — множина базових елементів моделі, що мають різну природу; P — сукупність синтаксичних правил, за допомогою яких з елементів T можуть бути утворені синтаксично правильні підмножини; A — фіксована підмножина у множині синтаксично правильних підмножин, елементи яких називають аксіомами; B — множина правил виведення.

Для мережевих моделей застосовують конструкцію так званої семантичної мережі. Ці моделі задають таким кортежем:

$$H = \langle I, C_1, C_2, \dots, C_n, G \rangle,$$

де I — множина одиниць інформації; $C_1, C_2, \dots, C_n$ — множина різних типів зв'язків між елементами із I ; G — відображення, яке характеризує вигляд залежностей між одиницями інформації множини I .

Семантична мережа може включати пов'язані між собою об'єкти, їх властивості, операції над ними, події тощо (Karavas, Kyriakarakos, Arvanitis, & Papadakis, 2015). Пошук шляхів вирішення в базі знань семантичної мережі полягає у знаходженні фрагмента мережі, що відповідає поставленій меті. Недоліком мережевої моделі є складність пошуку шляхів вирішення на базі знань.

Продукційні моделі включають ряд елементів як логічних, так і мережевих моделей. У методиці створення логічних моделей було взято метод побудови правил виведення, які називаються продукціями в цій моделі. У продукційних моделях здійснюється висновок, що ґрунтується на знаннях.

Продукцію описують таким чином:

$$(i); Q; P; A \Rightarrow B; N,$$

де (i) — ім'я продукції, що виділяє її з множини продукцій; Q — область використання продукції; P — умова, за якої продукція можлива; $A \Rightarrow B$ — ядро (основний елемент) продукції; N — дія, яку необхідно виконати після виконання продукції.

Фрейм може бути заданий такою структурою (Karavas, Kyriakarakos, Arvanitis, & Papadakis, 2015):

<f name name>:

[<p art 1>] (<slot name 1> : <slot value 1>);

[<p art 2>] (<slot name 2> : <slot value 2>);

[<p art N>] (<slot name N> : <slot value N>).

Структурними одиницями фрейма є слоти, які представляють у вигляді:

<slot name>: $\{(A_i, v^i)\}, \{r^i\}$,

де A_i — ім'я ознаки; v^i — її значення; r^i — зв'язок слоту з іншими.

Як значення слоту можуть виступати числа, символи, математичні формули, звичайні тексти й тексти програм, продукційні правила, посилання на інші слоти, що належать як конкретному фрейму, так і іншим фреймам, набір слотів нижчого рівня (ієрархічна реалізація) тощо

У галузі створення баз знань інформаційних інтелектуальних систем зараз вже є серйозний прогрес, достатня кількість теоретичних розробок, широкий спектр

методів і технологій, що підтримуються відповідними програмними комплексами. У той же час подальший розвиток теорії інтелектуальних систем керування, створення нових методів і технологій роботи зі знаннями залишаються, як і раніше, актуальними проблемами.

Викладення основних результатів дослідження. Основними показниками ефективності функціонування систем керування складними технологічними комплексами цукрової промисловості є ресурсо- та енергозбереження, якість одержуваного продукту та продуктивність технологічного процесу. Одним із підходів підвищення ефективності функціонування систем керування складними технологічними комплексами є розробка та впровадження в рамках модернізації автоматизованих виробничих процесів інтелектуальної інформаційно-керуючої системи, що дає змогу оперативно виробляти керуючі впливи, що мінімізують енерго- або ресурсоспоживання в динамічних режимах та мінімізуючи втрати якості та продуктивності технологічних процесів. Інтелектуалізація розробленої системи полягає в алгоритмізації синтезу керуючих впливів у різних режимах роботи.

Багатокритеріальне оптимальне керування в умовах невизначеності реалізоване для дифузійного, сокоочисного та випарного відділення.

На прикладі бурякопереробного відділення якість роботи дифузійної станції визначається якісними показниками дифузійного соку та втратами цукру в процесі екстракції.

Розглядаємо модель, яка відповідає області зміни параметра нечіткого поняття «якість дифузійного соку» «висока». При цьому, витрата бурякової стружки «норма», витрата дифузійного соку «висока», дигестія «висока», температурний режим «норма». Отримали поліном такого вигляду:

$$R(F_{cm}, F_{\delta c}, B, T) = 1,046703F_{cm} + 2,137018F_{\delta c} - 0,195289B - 7,301263T - 0,020915F_{cm}F_{\delta c} + 0,007624F_{cm}B + 0,206117F_{\delta c}T + 0,004411F_{cm}B + 0,2534F_{\delta c}T - 0,00074B^2 - 0,05881T^2 - 0,00348BT + 62,26, \quad (1)$$

де R — доброякісність, %; F_{cm} — витрата бурякової стружки, м³/год; $F_{\delta c}$ — витрата дифузійного соку, м³/год; B — дигестія, %; T — температура, °C.

Втрати цукру складаються з втрат цукру з жомом і неврахованих втрат. Втрати цукру залежать від розміру стружки, витрати дифузійного соку, температури та часу екстрагування. Модель відповідає області зміни параметра нечіткого поняття «втрати цукру з жомом» «низькі». При цьому витрата бурякової стружки «норма», витрата дифузійного соку «висока», дигестія «норма», температурний режим «норма». Отримали поліном такого вигляду:

$$D(F_{cm}, F_{\delta c}, B, T) = 0,869409F_{cm} + 0,145229F_{\delta c} - 0,228583B + 4,554316T + 0,00507F_{cm}F_{\delta c} + 0,122528F_{cm}T - 0,180694F_{cm}B + 0,003302F_{\delta c}B - 0,00097F_{\delta c}^2 + 0,14949F_{\delta c}T - 0,095811T^2 - 0,4821BT + 6,695, \quad (2)$$

де D — втрати цукру з жомом, %; F_{cm} — витрата бурякової стружки, м³/год; B — дигестія, %; $F_{\delta c}$ — витрата дифузійного соку, м³/год; T — температура, °C.

Продуктивність дифузійного відділення визначається витратою бурякової стружки, яка перероблюється за годину і характеризується часом знаходження

буракової стружки в дифузійному апараті. Представлена модель відповідає області зміни параметра нечіткого поняття «продуктивність дифузійного апарата» «висока». При цьому витрата буракової стружки «висока», дигестія «норма», температурний режим «норма». Отримали поліном такого вигляду:

$$L(F_{cm}, B, T) = 3,989F_{cm} + 0,7624B + 0,458T - 3,46F_{cm}^2 + 0,292355F_{cm}B + 0,096F_{cm}T - 0,0779B - 0,0091T - 0,0054B^2 - 0,0574T^2 - 40,1, \quad (3)$$

де L — продуктивність, %; F_{cm} — витрата буракової стружки, м³/год; B — дигестія, %; T — температура, °C.

У результаті обробки експериментальних даних розроблені сценарії керування технологічним процесом одержання дифузійного соку, при яких досягається вихід продукції вищої якості, більша продуктивність станції та найменші втрати цукру.

Постановка задачі оптимального керування дифузійним апаратом у загальному вигляді трактується як багатокритеріальна задача:

$$F = \max F, A_{I(MIN)}^J \leq A_I^J \leq A_{I(MAX)}^J, \quad Q_i^j \in R^n \quad (4)$$

де R^n — простір параметрів стану; $A_{I(MIN)}^J \leq A_I^J \leq A_{I(MAX)}^J$ — область допустимих змін параметрів у нечітких значеннях, причому $\leq A_{I(MIN)}^J$ = «нижче норми», $\leq A_{I(MAX)}^J$ = «вище норми». При вирішенні задач оптимального керування були

виділені такі множини критеріїв: K_i^S — якість, P_i^S — продуктивність; W_i^S — втрати. Задача багатокритеріальної оптимізації розглянута для моделей, одержаних у результаті оперативної ідентифікації методом поточних найменших квадратів.

Позначимо:

$$R(F_{cm}, F_{dc}, B, T) = K(x_1, x_2, x_3, x_4); \quad (5)$$

$$L(F_{cm}, B, T) = P(x_1, x_2, x_3); \quad (6)$$

$$D(F_{cm}, F_{dc}, B, T) = W(x_1, x_2, x_3, x_4). \quad (7)$$

Оптимальний результат досягається, згідно з методом досяжних цілей (Березький, Теслюк, Дубчак, Мельник, & Батько, 2022), при умові знаходження мінімального значення γ , для якого вірна така система нерівностей:

$$\begin{cases} K(x_1, x_2, x_3, x_4) - K_k \gamma \leq K_0; \\ P(x_1, x_2, x_3) - K_p \gamma \leq P_0; \\ W(x_1, x_2, x_3, x_4) - K_w \gamma \geq W_0. \end{cases} \quad (8)$$

при нечітких обмеженнях: «нижче норми» < x_1 < «вище норми»; «нижче норми» < x_2 < «вище норми»; «нижче норми» < x_3 < «вище норми»; «нижче норми» < x_4 <

«вище норми», де P_0, K_0, W_0 — сподівання при пошуку оптимального значення; K_k, K_p, K_w — вагові коефіцієнти, які визначають, наскільки близько повинно бути рішення до оптимального результату. Оптимальні значення x_1, x_2, x_3, x_4 знайдені при:

$$\gamma = \min \max \frac{F_i(x_n) - F_{i0}}{K_i}, \quad (9)$$

де $F_i(x_n)$ — значення цільової функції в поточний момент часу; F_{i0} — очікуване значення цільової функції; K_i — ваговий коефіцієнт.

Оптимальні значення режимних параметрів знайдені в області Парето в результаті реалізації методу досяжних цілей ($R = 85,3\%$; $L = 58,3 \text{ м}^3/\text{год}$; $D = 0,27\%$ та режимних параметрах $F = 62 \text{ м}^3/\text{год}$; $B = 19,8\%$; $T = 72,1^\circ \text{C}$).

Застосування нечіткої логіки в управлінні дає змогу відмовитись від створення досить точної математичної моделі динамічної системи. У зв'язку з цим розглянемо застосування розробленого нечіткого регулятора рН другої сатурації порівняно з пропорційно-інтегрально-диференціальним ПІД-регулятором (рис. 1). Як вхідні вимірювані координати вибрані помилка регулювання і похідна помилки керування, як вихідна координата — вихід регулятора. Модель об'єкта управління є поліном другого порядку:

$$W_0(s) = 1/[0,63s^2 + 7,32s + 3,58]. \quad (10)$$

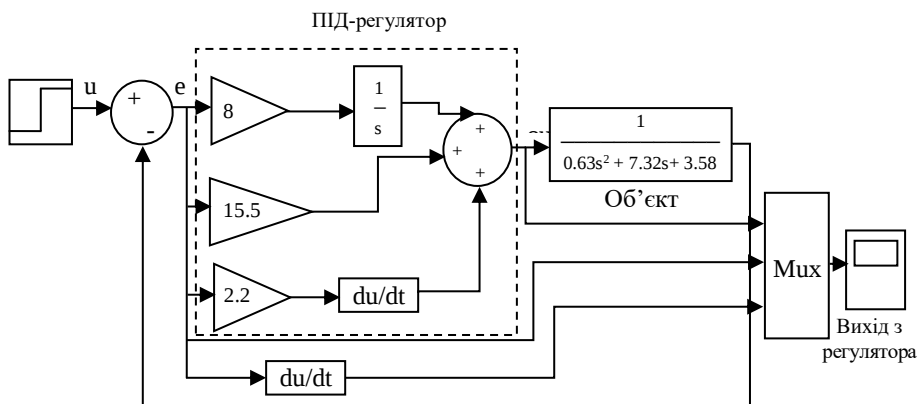


Рис. 1. Система керування з негативним зворотним зв'язком і ПІД-регулятором

Математична модель системи з ПІД-регулятором досліджена з точки зору перехідних процесів щодо «помилки», «похідної помилки» і «виходу» при стрибку сигналу завдання і при незмінних параметрах об'єкта управління. Перехідні процеси досліджуваних величин наведено на рис. 2.

Основним недоліком наведеної системи стабілізації є порівняно невисока динамічна точність при дії недетермінованих збурень і змін параметрів об'єкта управління.

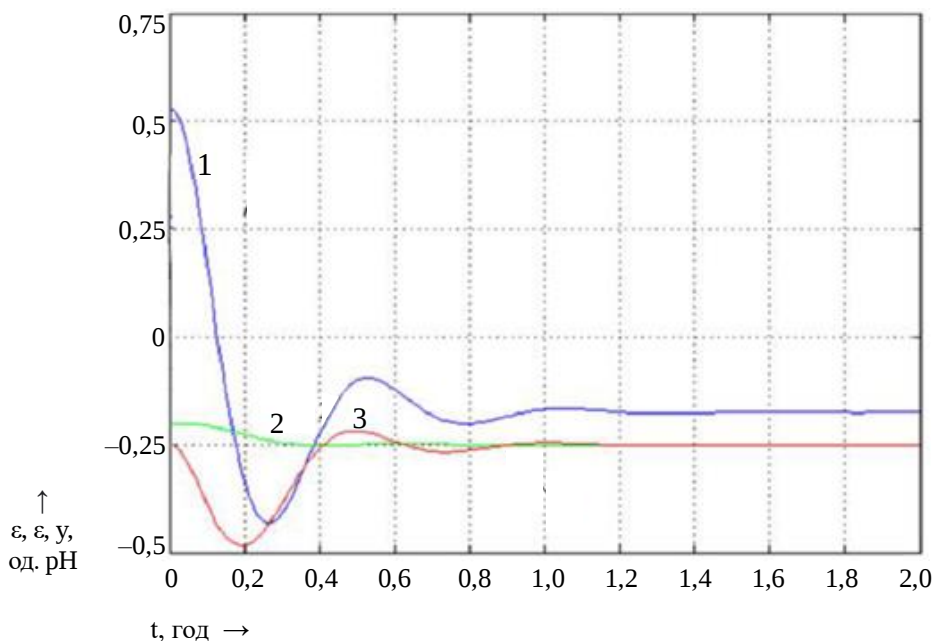


Рис. 2. Графіки перехідних процесів ПІД-регулятора:

1 — вихід регулятора; 2 — помилка; 3 — похідна помилки

Для підвищення динамічної точності доцільно використовувати систему управління, яка являє собою три нечіткі регулятори, встановлені, відповідно, у пропорційному, інтегральному та диференціальних каналах ПІД-регулятора (рис. 3).

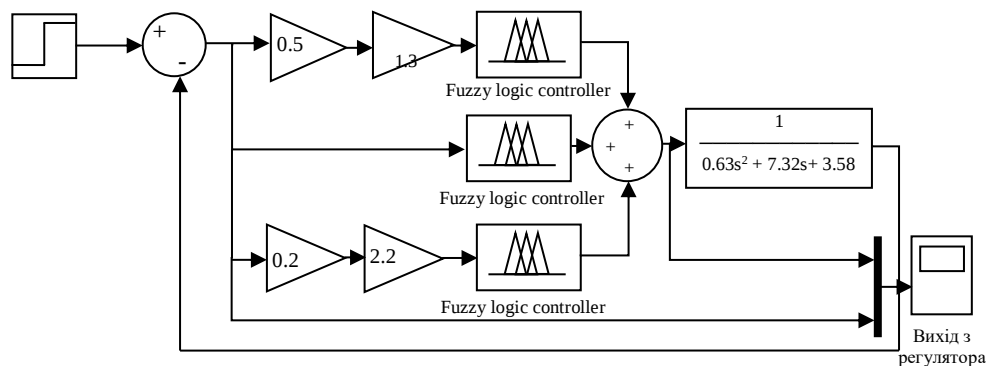


Рис. 3. Структурна схема нечіткої системи керування

Введемо лінгвістичну змінну «помилка» (ε). Для всіх внутрішніх термів вхідних змінних призначимо трикутні функції належності. Для бази знань нечіткого контролера базову терм-множину вхідних лінгвістичних змінних обмежимо на

рівні п'яти. Терм-множина T лінгвістичних змінних має назву термів: $T = \{S, PS, PM, PB, PVB\}$, що означає відповідно: «мале», «позитивне мале», «позитивне середнє», «позитивне велике», «позитивне дуже велике». Кількісні характеристики функцій належності визначаємо залежно від діапазону зміни параметра, для якого будуються функції належності його термів. Для входу регулятора діапазон зміни прийнято $[-0,05, 1]$. Вид термів для лінгвістичної змінної «помилка» представлений на рис. 4.

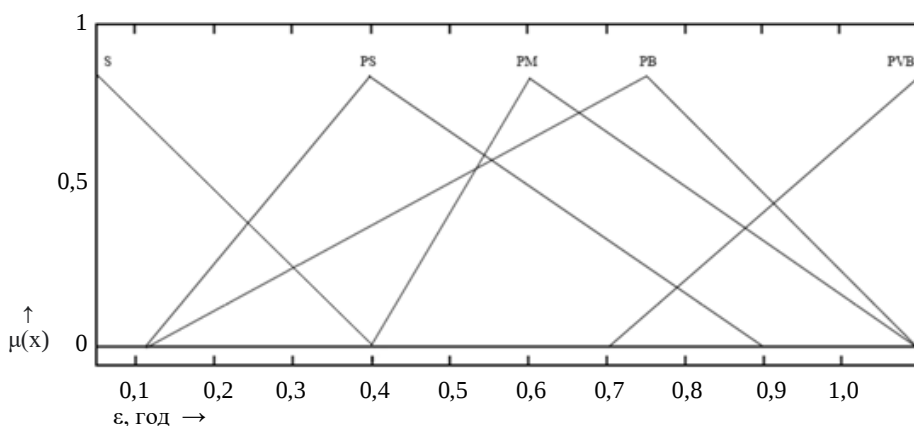


Рис. 4. Функції належності лінгвістичної змінної «помилка»

Терм-множину вихідних лінгвістичних змінних обмежимо лише на рівні трьох. Терм-множина має вигляд: $T1 = \{NS, PS, PB\}$, що означає, відповідно, «негативне мале», «позитивне мале», «позитивне велике». Для виходу регулятора діапазон зміни параметрів керуючого впливу прийнятий $[-2; 6; 14,5]$. База знання нечіткого регулятора матиме такий вигляд: якщо сигнал помилки позитивний і зростає, то керуючий сигнал буде позитивний малий. Якщо позитивний сигнал помилки буде дуже великий, то керуючий сигнал на виході також буде зростати, стаючи позитивним великим. Якщо сигнал помилки буде падати, то вихідний сигнал також падатиме.

Отримаємо множину керуючих правил, що зв'язують лінгвістичні значення вхідних і вихідної змінної вигляду:

- 1) якщо «помилка» $\in PB$, тоді «управління» $\in PS = 6$;
- 2) якщо «помилка» $\in PVB$, тоді «управління» $\in PB = 14,5$;
- 3) Якщо «помилка» $\in PM$, тоді «управління» $\in NS = -2$;
- 4) Якщо «помилка» $\in PS$, тоді «управління» $\in NS = -2$.

Результати моделювання, наведені на рис. 5, наочно показують правомірність застосування НЛР. Отримана система має кращі показники якості, ніж система з ПІД-регулятором. Тривалість перехідного процесу зменшилася в 6 разів, значно покращилася якість регулювання. Використання методів нечіткого управління дало змогу отримати якісний перехідний процес без використання громіздких обчислювальних процедур, характерних для класичного методу управління.

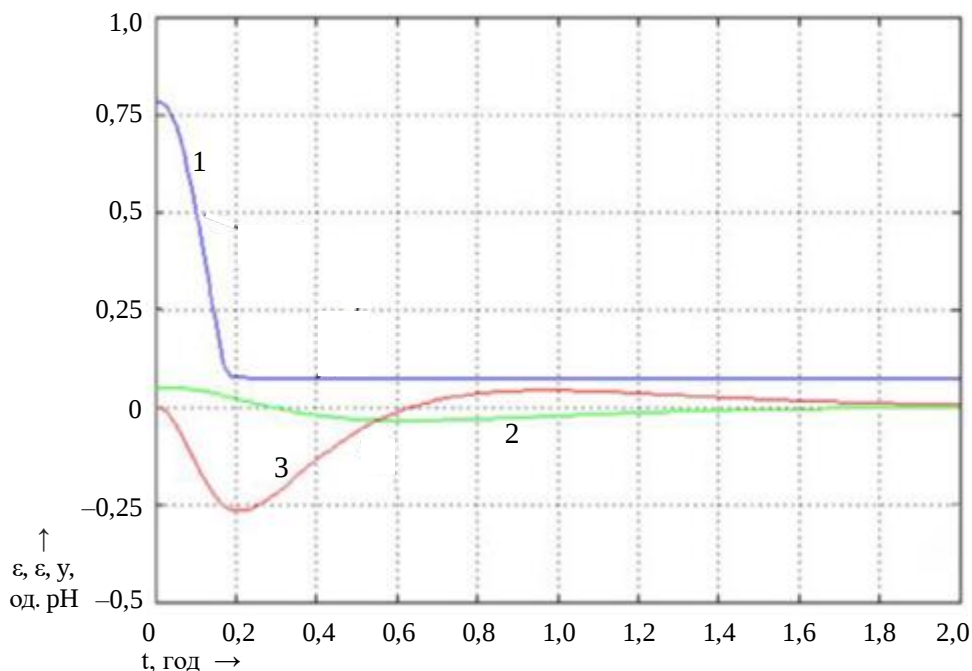


Рис. 5. Графіки перехідних процесів у системі з нечітким регулятором:

1 — вихід регулятора; 2 — помилка; 3 — похідна помилки

Висновки

На основі системного аналізу технологічного комплексу цукрового заводу, а також принципів і методів сценарного керування реалізовані заходи щодо підвищення інтелектуалізації прикладних функцій керування технологічним комплексом цукрового заводу як складної організаційно-технічної системи. Здійснена постановка та проведена багатокритеріальна оптимізація об'єкта керування в ситуаційно-значущих зонах, визначених за нечіткими значеннями режимних параметрів технологічних процесів виробництва цукру як лінгвістичних змінних. За компромісною згорткою критеріїв в області Парето в кожній ситуаційно-значущій зоні визначені оптимальні значення режимних параметрів технологічного комплексу цукрового заводу, коли забезпечуються висока продуктивність обладнання, досягається найкраща якість продукції, мінімізуються втрати ресурсів. Розроблені інтелектуальні регулятори продуктивності дифузійної установки, рН соку на дефекаторах і сатураторах, теплового режиму роботи випарної станції забезпечують досягнення високої якості перехідних процесів регулювання в широких межах змінювання реальних збурень. Отримані інтелектуальні засоби реалізовані у вигляді програмного забезпечення систем керування, які включені в інформаційну вертикаль цукрового заводу. Реалізація розробок інтелектуальної компоненти систем керування технологічним комплексом цукрового заводу, як показала дослідна експлуатація, дала додатково підвищити продуктивність виробництва на 2,3%, скоротити втрати цукру на 0,08%.

Література

- Березький, О. М., Теслюк, В. М., Дубчак, Л. О., Мельник, Г. М., Батько, Ю. М. (2022). *Дослідження і проектування комп'ютерних систем та мереж*. Тернопіль: ЗУНУ.
- Ладанюк, А. П., Решетюк, В. М., Кишенько, В. Д., Смітюх, Я. В. (2014). *Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу*. К.: Центр учбової літератури.
- Мірошник, В. О., Гачковська, М. А., Кишенько, В. Д., Грабовська, О. В. (2019). *Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини*. К.: ЦП Компрінт.
- Abdulsalam, H. M., Ali, B. A., Al Yatama, A. & Al Roumi, E. S. (2014). Deploying a LEACH Data Aggregation Technique for Air Quality Monitoring in Wireless Sensor Network. *Procedia Computer Science*, 34, 499—504. doi:10.1016/j.procs.2014.07.055.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5—32. doi.org/10.1023/A:1010933404324.
- Burstein, F., & Holsapple, C. W. (2008). *Handbook on Decision Support Systems*. Berlin: Springer-Verlag, 827. DOI: 10.1007/978-3-540-48713-5.
- Chu, D., Strand, R., Fjelland, R. (2003). Theories of Complexity: Common Denominators of Complex Systems. *Complexity*, 8(3), 19—30.
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2012). An adaptive large neighborhood search heuristic for the Pollution-Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 223, 346—359. DOI:10.1016/j.ejor.2012.06.044.
- Dyniewicz, B., Konowrocki, R., Bajer, C. (2017). Intelligent adaptive control of the vehicle-span/track system. *Procedia Engineering*, 199, 1683—1688. DOI:10.1016/J.YMSP.2014.12.007.
- Edwards, G., Kok, K. (2021). Building a Fuzzy Cognitive Map from stakeholder knowledge: An Episodic, asynchronous approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3. DOI:10.1016/j.crsust.2021.100053.
- Gacto, M. J., Alcalá, R., Herrera, F. (2010). Integration of an index to preserve the semantic interpretability in the multiobjective evolutionary rule selection and tuning of linguistic fuzzy systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 3, 515—531. doi:10.1109/TFUZZ.2010.204100.
- Groumpos, P. P. (2010) Fuzzy Cognitive Maps: Basic theories and their application to complex systems. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 247, 1—22. DOI:10.1007/978-3-642-03220-2_1.
- Hassabi, D., Kumaran, D., Summerfield, C. and Botvinick, M. (2017). Neuroscience-Inspired Artificial Intelligence. *Neuron*, 95, 245—258. doi:10.1016/j.neuron.2017.06.011.
- Karavas, C. S., Kyriakarakos, G., Arvanitis, K. G., Papadakis, G. (2015). A multi-agent decentralized energy management system based on distributed intelligence for the design and control of autonomous polygeneration microgrids. *Energy Convers. Manag.*, 103, 166—179. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.06.021.
- Kumaran, D., Hassabis, D. and Mc Clelland, J. L. (2016). What Learning Systems Do Intelligent Agents Need? Complementary Learning Systems Theory Updated. *Trends in Cognitive Sciences*, 20, 512—534. doi:10.1016/j.tics.2016.05.004.
- Lake, B. M., Salakhutdinov, R., Tenenbaum, J. B. (2015). Human-Level Concept Learning through Probabilistic Program Induction. *Science*, 350, 1332—1338. doi:10.1126/science.aab3050.
- Luca, M., Barlacchi, G., Lepri, B. And Pappalardo, L. (2021). A Survey on Deep Learning for Human Mobility. *ACM Computing Surveys*, 55, 1—44. DOI:10.1145/3485125.
- Nicolis, G., & Nicolis, C. (2009). Foundations of complex systems. *European Review*, 17, 237—248. doi: 10.1017/S1062798709000738.
- Saridis, G. (2001). Entropy in Control Engineering. Series in Intelligent Control and Intelligent Automation 12. *World Scientific*, 1—148. ISBN 978-981-02-4551-1.
- Shi, Z. (2019). Cognitive Machine Learning. *International Journal of Intelligence Science*, 9, 111—121. doi:10.4236/ijis.2019.94007.
- Tapio, F., Mirjami, J. (2009). Embedded fuzzy expert system for Adaptive Weighted Fair Queueing. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 36(8), 11390—11397. DOI:10.1016/j.eswa.2009.03.038.