

УДК 004.021:664.1

RESEARCH OF GENETIC ALGORITHMS IN THE SYSTEM OF AUTOMATED CONTROL OF THE APPARATUS II SATURATION

V. Polupan, V. Sidletskiy, I. Elperin
National University of Food Technologies

Key words:

automation,
sugar,
saturation genetic
algorithm,
optimal control

Article history:

Received 14.09.2018
Received in revised form
09.10.2018
Accepted 02.11.2018

Corresponding author:
vmsidletskiy@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this work is to analyze the adaptive system of optimal control for the work of the apparatus of II saturation. Determine qualitative and quantitative indicators of the effectiveness of the adaptive system of optimal control during its implementation through genetic algorithms. The work of the structural model of the adaptive optimal control system is created and investigated. The simulation studies using the classical genetic algorithm have been performed. To ensure the effective work of the classical genetic algorithm, the influence of the size of the initial population on the number of iterations required to find the optimal parameters was investigated. From the experiments it becomes clear that there is an optimal size of the initial population. And for the set task are about 30 units. As well as the research of the modified genetic algorithm with the addition of the classical genetic algorithm of the hybrid function, namely, the particle swarm method (PSM). As can be seen from the research carried out, the addition of PSM to the genetic algorithm has allowed to significantly reduce the number of necessary iterations to achieve optimal parameters. This allowed to significantly reduce machine time to find optimal parameters. The investigated adaptive system of optimal control showed a significantly lower integral quadratic criterion $I = 683$ in comparison with a functioning system in production, the integral quadratic criterion $I = 815$. In addition, the introduction of the hybrid function of the PSM has reduced the machine time to find the optimal parameters: $T = 2098$ ms without the hybrid function and $T = 963$ ms using the hybrid PSM function. The simulation results confirmed that the developed adaptive system of optimum control for the apparatus of the second saturation is highly effective. The best integral quality criteria for the II saturation apparatus were achieved when the classic genetic algorithm was combined with the hybrid PSM function. Thus, developed adaptive optimal control for the apparatus of the second saturation is far ahead of existing solutions on quality indicators.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-24-20

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ АПАРАТОМ ІІ САТУРАЦІЇ

В.В. Полупан

В.М. Сідлецький, канд.техн. наук

І.В. Ельперін, канд.техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано адаптивну систему оптимального керування роботою апарата ІІ сатурації та визначено якісні і кількісні показники ефективності функціонування адаптивної системи оптимального керування при її реалізації за допомогою генетичних алгоритмів. Проведено імітаційні дослідження з використанням класичного генетичного алгоритму, а також досліджено модифікований генетичний алгоритм з додаванням у класичний генетичний алгоритм гібридної функції, а саме: метод рою часток (МРЧ). Результати моделювання підтвердили, що розроблена адаптивна система оптимального керування апаратом ІІ сатурації є високоефективною. Найкращі інтегральні критерії якості для апарата ІІ сатурації були досягнуті, коли класичний генетичний алгоритм був об'єднаний з гібридною функцією МРЧ.

Ключові слова: автоматизація, сатурація, генетичний алгоритм, оптимальне керування.

Постановка проблеми. Одним з основних процесів очистки цукрового сиропу є процес сатурації. Цей процес забезпечує очищення дифузійного соку і значною мірою — якість цукрового сиропу. Поточний стан автоматизації апаратів ІІ сатурації цукрового заводу характеризується використанням сучасних мікропроцесорних систем керування. У той же час для підвищення ефективності технологічних процесів, включаючи процеси очищення дифузійного соку, необхідно забезпечувати динамічну оптимізацію контрольованих параметрів, що дасть змогу покращити якість проведених процесів.

Апарат ІІ сатурації є нестационарним об'єктом з точки зору керування — з часом технологічні параметри можуть змінюються в широкому діапазоні залежно від збурень, що впливають на роботу апарата.

Автоматичні регулятори, які, зазвичай, використовуються, не можуть забезпечити достатню якість керування за таких умов. За останні кілька десятиліть були запропоновані різні вдосконалення для проектування систем керування [1—3]. Проте використання генетичного алгоритму (ГА) в системах керування апаратами ІІ сатурації цукрових заводів не було належним чином вивчено. Тому виникає необхідність у вдосконаленні алгоритмів керування та створення адаптивної системи оптимального керування [4; 5].

Мета дослідження: проаналізувати адаптивну систему оптимального керування роботою сатуратора, визначити якісні та кількісні показники ефективності функціонування адаптивної системи оптимального керування при її реалізації за допомогою генетичних алгоритмів, дослідити роботу класичного генетичного алгоритму, а також вплив гібридної функції методу рою часток на результати виконання алгоритму.

Матеріали і методи. Об'єктом керування є апарат ІІ сатурації цукрового заводу, в якому у результаті взаємодії фільтрованого соку І сатурації з вугле-

кислим газом солі кальцію випадають у осад. Мета оптимізації цього процесу — максимальне осадження солей кальцію, що відповідає мінімальній кількості іонів Са у відсатурованому соку [6].

Параметрична схема об'єкта наведена на рис. 1.

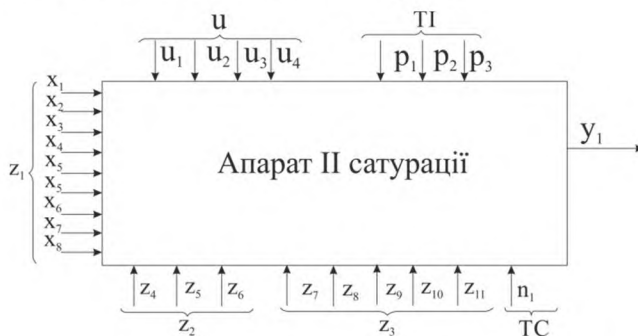


Рис. 1. Параметрична схема апарата II сатурації, де z_1 — збурення, викликане зміною витрати матеріальних потоків: x_1 — фільтрованого соку I сатурації, $\text{м}^3/\text{год}$; x_2 — вапнякового молока, $\text{м}^3/\text{год}$; x_3 — сатураційного газу, $\text{м}^3/\text{год}$; x_4 — сірчаного газу, $\text{м}^3/\text{год}$; x_5 — фільтраційного осаду, $\text{м}^3/\text{год}$; x_6 — соку на клеровку жовтого цукру, $\text{м}^3/\text{год}$; x_7 — вишаруваної води в апараті II сатурації, $\text{м}^3/\text{год}$; y_1 — витрата сульфитованого соку, $\text{м}^3/\text{год}$; z_2 — збурення, викликані зміною: z_4 — концентрації CO_2 в сатураційному газі, %; z_5 — густиною вапнякового молока, $\text{г}/\text{см}^3$; z_6 — засміченістю вапнякового молока, %; z_3 — збурення, викликане зміною характеристик: z_7 — насосів; z_8 — підігрівників; z_9 — фільтрів; z_{10} — апарата II сатурації; z_{11} — справністю обладнання; TC — технологічні обмеження, які викликані: n_1 — підвищенням рівнем у збірнику сульфитованого соку, м; u — керуючий вплив направлений на підтримання заданих значень: u_1 — витрати фільтрованого соку I сатурації, $\text{м}^3/\text{год}$; u_2 — вапнякового молока, $\text{м}^3/\text{год}$; u_3 — сатураційного газу, $\text{м}^3/\text{год}$; u_4 — сірчаного газу, $\text{м}^3/\text{год}$; П — технологічні показники: p_1 — реакція середовища рН, од. рН; p_2 — чистота соку II сатурації, %; p_3 — реакція середовища сульфитованого соку рН

Основним матеріальним потоком на ділянці є потік фільтрованого соку I сатурації x_1 . Збурення групи z_2 при нормальних умовах роботи не надає суттєвого впливу на рівномірність потоку соку на ділянці II сатурації.

Більш суттєвими є збурення групи z_3 , але їх зміна проходить протягом тривалого відрізка часу. Для підтримання кількісних показників соку II сатурації (p_1 , p_2 , p_3) необхідно здійснити управляючі дії u_2 , u_3 , u_4 , а при глибоких збуреннях z_1 або z_2 , навіть до керування потоком соку, що поступає на ділянку.

При значному підвищенні рівня в збірнику перед випарною установкою або при відмові обладнання z_3 вдаються до обмеження притоку соку на ділянку.

Зменшення концентрації іонів кальцію С в соку II сатурації супроводжується зменшенням рН соку, тому, враховуючи можливість вимірювання рН у виробничих умовах, ця величина використовується як змінна стану.

При цьому концентрація іонів Са та рН соку, як і електропровідність X та рН соку, взаємопов'язані нестационарною екстремальною залежністю. Дрейф цих характеристик має ту особливість, що мінімум обох кривих завжди відповідає однаковому значенню рН. Це дає можливість перейти до нового критерію управління — електропровідності відсатурованого соку, тому що безпосередній вимір концентрації іонів Са зараз неможливий через відсутність відповідних датчиків. Тоді мета і критерій керування процесом II сатурації, враховуючи покрокову процедуру вирішення задачі, має такий вигляд:

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (pH_{opt,i} - pH_i)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

де n — кількість визначень pH_{opt} через однакові проміжки часу Δt упродовж достатньо великого часу $TIME$ реалізації процесу $n = TIME/\Delta t$:

$$\begin{aligned} pH(F_{cz}, T_{dc}, C_{CO_2}, F_{CaO}) = & -15,01 - 54,123F_{cz} - 34,982T_{dc} + \\ & +0,982C_{CO_2} + 6,862C_{CP} + 71,936F_{CaO} - 3,973F_{cz}T_{dc} + 7,946F_{cz}C_{CO_2} + \\ & +28,361F_{cz}C_{CP} - 1,804F_{cz}F_{CaO} - 1,765T_{dc}C_{CO_2} - 9,082T_{dc}C_{CP} + \quad (2) \\ & +4,095T_{dc}F_{CaO} + 9,635C_{CP}F_{CaO} - 2,985T_{dc}^2 + 4,729F_{cz}^2 + \\ & +5,028C_{CO_2}^2 - 8,027C_{CP}^2 + 8,941F_{CaO}^2. \end{aligned}$$

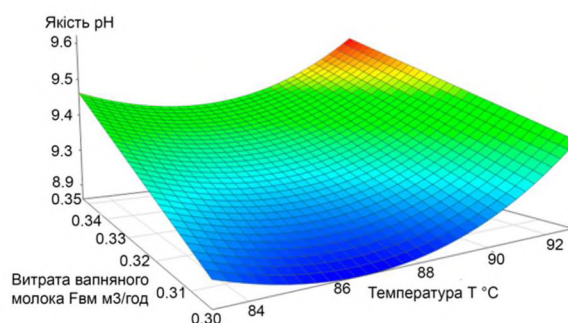


Рис. 2. Поверхня відгуку моделі для якісного показника другої сатурації

Для розв'язання задачі (1) було використано регресійну модель апарата II сатурації (2). Поверхня відгуку цієї моделі зображена на рис. 2. Для вирішення такого завдання побудована система оптимального управління, структурна схема якої наведена на рис. 3. Керуючий обчислювальний комплекс КОК системи складається з блока математичної моделі ММ, який опитує датчики з певною частотою, та блока оптимального керування БОК, що розраховує значення pH_{opt} та організує процедуру динамічної оптимізації [7]. Автоматичний регулятор компенсує збурення, що впливають на рН відсатурованого соку.

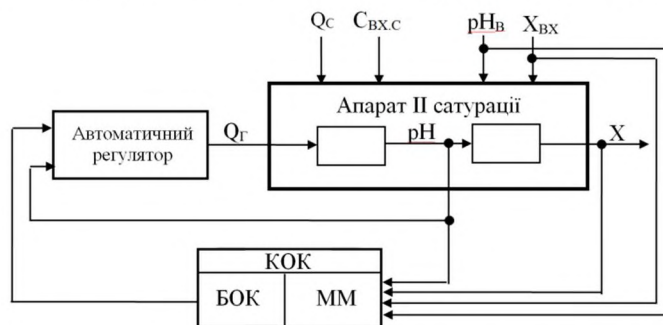


Рис. 3. Структура системи оптимального керування

Блок КОК при вирішенні задачі керування процесом II сатурації було реалізовано з використанням генетичного алгоритму.

Для того, щоб отримати хороші результати виконання ГА, проведено вибір розміру популяції. На рис. 4 зображена залежність кількості обчислень функції пристосованості для знаходження максимуму унімодальної функції від розміру популяції. Видно, що існує оптимальний розмір популяції.

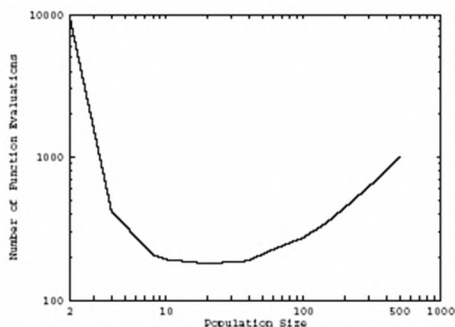


Рис. 4. Залежність розміру популяції від кількості поколінь

Далі було проведено дослідження впливу гібридної функції на роботу ГА. Ідея гібридних алгоритмів полягає в поєднанні генетичного алгоритму з іншим методом пошуку, що відповідає завданню (у цьому випадку обрано МРЧ). На кожному поколінні кожен отриманий нащадок оптимізується цим методом, після чого виконуються звичайні для ГА дії. Реалізований гібридний ГА наведено на рис. 5.

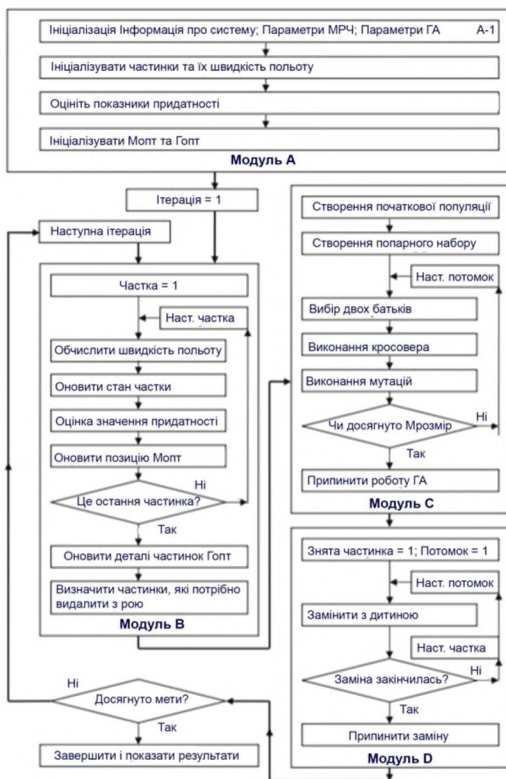


Рис. 5. Модифікований генетичний алгоритм

Для визначення ефективності класичного і гібридного генетичного алгоритму (рис. 6) виконаємо пошук оптимуму моделі (2) за допомогою критерію (1).

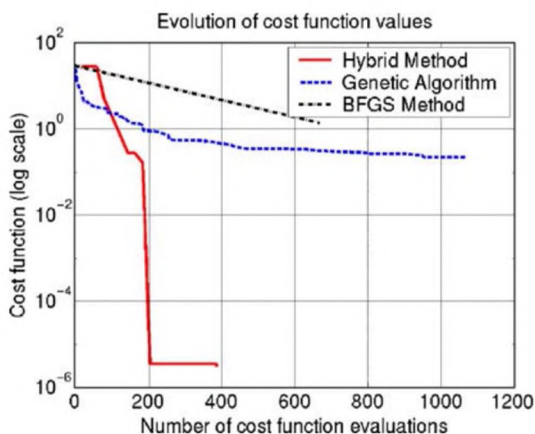


Рис. 6. Результати виконання алгоритму

Як видно з рис. 6, додавання гібридної функції в класичний ГА значно зменшує кількість ітерацій необхідних на пошук оптимальних параметрів.

Результати досліджень. Для перевірки роботи досліджуваної системи було розроблено імітаційну модель, зображену на рис. 7.

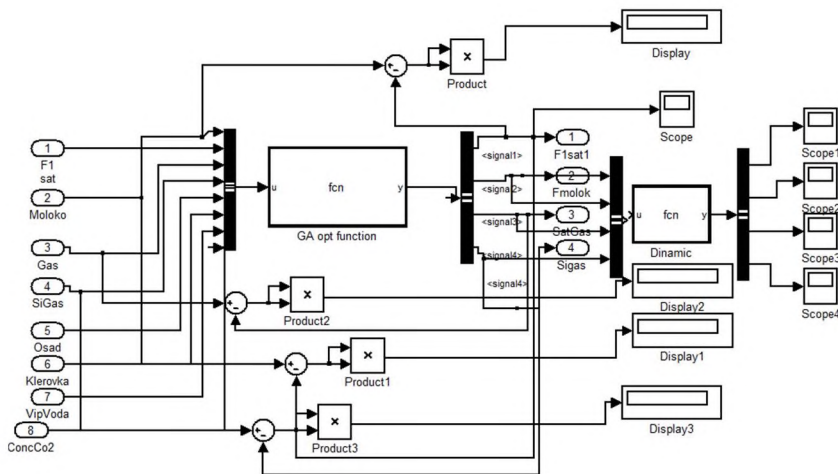


Рис. 7. Модель імітаційного моделювання роботи апарата II сатурації

Програма працює у такій послідовності:

-перед початком роботи вводиться початкові значення для параметрів 1-8 (блоки 1-8 на рис. 7);

-далі в блоці GA opt function генетичним алгоритмом розв'язується рівняння (2) з визначенням точки оптимуму;

-протягом часу $T = 3000\text{c}$ в блоці „Dinamic” розраховується перехідні процеси з урахуванням як рН, так і рН_орт ($\text{pH}_{\text{in}} + \text{pH}_{\text{орт}}$), результати містяться в блоці “Score”, а дрейф рН_орт — в масиві рН_орт.

Результати імітаційного моделювання наведено в таблиці. Моделювання проводилось як для класичного ГА, так і для ГА з додаванням гібридної функції МРЧ.

Таблиця. Результати моделювання

Гібридна функція	Продуктивність системи керування		
	I		Час адаптації T, ms
	Без адаптації	Адаптивна	
—	815	683	2098
—	902	793	2162
—	856	698	2321
МРЧ	815	683	963
МРЧ	902	793	984
МРЧ	856	698	906

Як бачимо з таблиці, адаптивна система оптимального керування має значно нижчий інтегральний квадратичний критерій порівняно з функціонуючою системою на виробництві. Крім того, введення гібридної функції МРЧ дало змогу скоротити машинний час на пошук оптимальних параметрів з використанням гібридної функції МРЧ. Результати моделювання підтвердили, що розроблена адаптивна система оптимального керування апаратом II сатурації є високоефективною. Найкращі інтегральні критерії якості для апарата II сатурації були досягнуті, коли класичний генетичний алгоритм був об'єднаний з гібридною функцією МРЧ.

Висновки. Результати моделювання підтвердили, що розроблена адаптивна система оптимального керування апаратом II сатурації є високоефективною. Найкращі інтегральні критерії якості для апарата II сатурації були досягнуті, коли класичний генетичний алгоритм був об'єднаний з гібридною функцією МРЧ. Отже, розроблена адаптивна система оптимального керування роботою апарата II сатурації значно випереджає існуючі рішення за якісними показниками. Ось чому настійно рекомендується при проведенні модернізації існуючих систем керування на цукровому виробництві, а також при створенні нових систем реалізовувати систему керування апаратом II сатурації на базі досліджуваної адаптивної системи оптимального керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Schroder P.*, (2000), *Intelligent observer and Control Design for Nonlinear Systems*, Springer-Verlag, Berlin.
2. *Zinober A.*, *Nonlinear and adaptive control*, (2003), Springer-Velag, New York.
3. *Ельперін І.В.* Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. — 378 с.
4. Аналіз невимірюваних параметрів на рівні розподіленого керування для автоматизованої системи, об'єктів і комплексів харчової промисловості / В.М. Сідлецький, І.В. Ельперін, В.В. Полулан // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2016. Том 22, № 3. — С. 7—15.
5. *Korobiichuk I., Ladanyuk A., Shumyhai D., Boyko R., Reshetiuk V., Kamiński M.*, (2017) *How to Increase Efficiency of Automatic Control of Complex Plants by Development and Implementation of Coordination Control System*, *Proceedings International Conference on Systems, Control and Information Technologies SCIT*. — 2016. — Vol. 543. — P. 189—195.

6. Системний аналіз складних систем управління: навч. посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко та ін. — К. : НУХТ, 2013. — 274 с.

7. Полупан В.В. Структура автоматизованої системи розширеного керування для координації суміжних станцій цукрового заводу / В.В. Полупан, В.М. Сідлецький // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2017. — Т. 23, № 1. — С. 16—24.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТОМ II САТУРАЦИИ

В.В. Полупан, В.М. Сидлецкий, И.В. Эльперин

Национальный университет пищевых технологий

В статье проанализирована адаптивная система оптимального управления работой аппарата II сатурации и определены качественные и количественные показатели эффективности функционирования адаптивной системы оптимального управления при реализации с помощью генетических алгоритмов. Проведены имитационные исследования с использованием классического генетического алгоритма, а также исследование модифицированного генетического алгоритма с добавлением в классический генетический алгоритм гибридной функции, а именно: метод роя частиц (МРЧ). Результаты моделирования подтвердили, что разработана адаптивная система оптимального управления аппаратом II сатурации является высокоэффективной. Лучшие интегральные критерии качества для аппарата II сатурации были достигнуты, когда классический генетический алгоритм был объединен с гибридной функцией МРЧ. Таким образом, разработанная адаптивная система оптимального управления работой аппарата II сатурации значительно опережает существующие решения по качественным показателям.

Ключевые слова: автоматизация, сахар, сатурация, генетический алгоритм, оптимальное управление.