

УДК 519.712.2:664.8.07

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ЗМІННИХ КЕРУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

Глущенко М.С., к.т.н.,

Заєць Н.А., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Приведено математичну модель утфельного вакуум-апарату, що є апаратом періодичної дії та досліджено можливість використання генетичних алгоритмів для вирішення задач оптимізації для визначення оптимальних значень змінних керування при автоматизованому управлінні утфельним вакуум-апаратом.

Утфель, сироп, вакуум-апарат, генетичний алгоритм, оптимальний розв'язок, область пошуку, час еволюції, фактори.

Мета досліджень. Мета моделювання процесу кристалізації цукру полягає у вивченні його поведінки в різних ситуаціях, а також знаходження ефективних та оптимальних умов проведення даного процесу на виробництві. Для забезпечення швидкої роботи системи управління процесом уварювання утфелю доцільно визначити можливість не коригувати знайдені за допомогою генетичного алгоритму оптимальні значення змінних керування у разі зміни у процесі варки характеристик сиропу, що підкачується.

Матеріали та методика досліджень. Моделювання періодичних процесів є актуальною задачею для автоматизації, а у випадку процесів в утфельних вакуум-апаратах періодичної дії ця задача набуває особливої уваги, оскільки він є кінцевим у виробництві цукру і від нього в великій мірі залежить якість готового продукту. Автоматизація з використанням найсучасніших

підходів потребує постійного вдосконалення. Для вирішення вказаної задачі була виведена адекватна математична модель утфельного вакуум-апарату,

© М.С. Глущенко, Н.А.Засць 2012

що є апаратом періодичної дії. Причому робота проходить по окремим стадіям, тому моделювання також проводилось по кожній стадії окремо. Так як в кожній стадії збурення були різні.

Математична модель уварювання утфелю представлена системою диференціальних рівнянь і має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_7 \frac{dt_{cm}}{d\tau} = \alpha_1 t_n + \alpha_2 t_y - (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot t_{cm}, \\ (V_H \rho_H C_y + S_a \Delta h \rho_y C_y + m_{MT} C_{MT}) \frac{dt_y}{d\tau} = \alpha_2 S_{cm.ж} (t_{cm} - t_y) + \\ - 1.05 W_i i_y'' + (r_k \frac{Kp}{100} - C_y t_y) - W_H + \frac{\rho_y}{100} (V_H + S_a \Delta h) \times \\ \times (r_k + C_M t_y - C_k t_y) \\ S_a \rho_y \frac{d(\Delta h)}{d\tau} = - [1 + (3.45 + 0.04 CB_y - 0.0025 t_y) CB_y / \rho_y] \cdot W_H, \\ \rho_y (V_H + S_a \Delta h) \frac{dCB_c}{d\tau} = CB_y W_H, \\ \frac{\theta^n}{n} \tau^{1-n} \frac{dKp}{d\tau} = Kp_m - Kp \end{array} \right. \quad (1)$$

де Kp_m – максимальний вміст кристалів цукру, %, n – коефіцієнт форми кінетичної кривої, який змінюється в залежності від доброякісності утфелю $Дб_y$; θ – постійна часу, год; τ – тривалість процесу, год, CB_y – вміст сухих речовин в утфелі, %, a – коефіцієнти, які враховують втрати тепла в навколишнє середовище, r – теплота випаровування; CB_c – вміст сухих речовин сиропу, $m_{e\theta}$ – маса води, яка випаровується на часовому інтервалі $[0; \theta]$, $CB_{СП}$ – масовий вміст сухих речовин в сиропі, який підкачується, %, m_{cm} – маса поверхні нагріву, кг; c_m – питома масова теплоємність матеріалу поверхні нагріву, кДж/(кг*°C); $S_{n.cm}$, $S_{cm.ж}$ – площа поверхні нагріву відповідно з боку пари і рідини, m^2 ; t_c, t_n, t_{cm} – температури сиропу, пари та стінки нагріву

відповідно, $^{\circ}\text{C}$; i_c'' – ентальпія парової фази парорідинної суміші, кДж/кг ; W_{II} – швидкість випаровування води, кг/с , α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі відповідно від гріючої пари до стінки та від стінки труб до киплячого утфелю $\text{кВт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$; t_n – температура пари в гріючій камері, $^{\circ}\text{C}$; Δh – гідростатичний рівень, м ; p_e – тиск вторинної пари, кПа , V_H – початковий об'єм утфелю в апараті, м^3 ; ρ_H, ρ_y – відповідно початкова густина сиропу та густина утфелю, кг/м^3 ; C_y, C_{MT} – питомі масові теплоємності утфелю та матеріалу, з якого виготовлений апарат, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$; m_{MT} – сумарна маса металу апарату, кг .

Проведемо перевірку чутливості математичної моделі утфельного вакуум-апарату до впливу збурень, оскільки часта і швидка зміна станів таких об'єктів потребує при оптимальному управлінні адекватних оптимізаційних дій. У першу чергу це відноситься до динамічних систем, для яких характерними є часті зміни параметрів станів, що викликаються зовнішніми і внутрішніми чинниками. Невідповідність поточних і оптимальних станів призводить до значних енергетичних і матеріальних втрат.

Щоб забезпечити точність моделювання стадій процесу в вакуум-апараті, необхідно розглянути відхилення характеристик вакуум-апарату від номінальних значень, до яких можуть призводити деякі збурення, що впливають на тривалість проходження процесів. Тому проводимо перевірку чутливості моделей до збурень тривалості процесів.

В даному випадку збуреннями будуть: температура сиропу, який поступає з випарної станції, доброякісність сиропу та вміст сухих речовин в сиропі, який підкачується. Збурення змінюються стохастично, тому згенеруємо за допомогою генератора випадкових чисел і прослідкуємо їх вплив на тривалість проходження процесу. Коефіцієнтом чутливості в даному випадку буде відхилення часу від допустимого, який буде розраховуватись наступним чином:

$$v = \frac{\tau_d - \tau_n}{\tau_d} * 100\%,$$

де τ_{δ} – тривалість за технологічним регламентом, с; $\tau_{н}$ – тривалість процесу при відхиленнях, с.

Вважаємо, якщо $\nu \leq 3\%$, що відповідає приблизно не більше 2 хвилин (120 секунд), то математична модель є нечутливою до зміни даного збурення.

Для першої стадії розглянемо чутливість тривалості процесу до температури сиропу, що поступає з випарної станції. В табл.2.1 приведені спостереження для трьох варок, на початку кожної підбиралось значення t_c в діапазоні 72-78 °С. Кінцем згущення сиропу для всіх варок вважаємо досягнення вмісту сухих речовин в сиропі 82%. Згущення сиропу триває приблизно 30 хвилин, або 1800 секунд.

Таблиця 2.1

Оцінка впливу зміни t_c на тривалість проходження процесу

№	$t_c, ^\circ C$	τ, c	$\nu, \%$
1	74,1	1837	2.05
2	77,3	1755	2.5
3	73,5	1802	0,11

Як видно з таблиці, вплив зміни t_c несуттєвий і не перевищує 3%.

Для другої і третьої стадії збуреннями є вміст сухих речовин та доброякісність сиропу, який підкачується, причому, вміст сухих речовин в сиропі змінювався в межах [62–66]%СР, а доброякісність сиропу в межах [90-93]од.Дб.

В табл.2.2 приведені значення для трьох варок. Заведення та нарощування кристалів приблизно складає 157 хвилин, 9420 секунд. Кінцем кристалізації будемо вважати досягнення CB_y приблизно 90%, враховуючи наявність стадії уварювання.

Таблиця 2.2

Оцінка впливу зміни CB_{cn} , $Дб_{cn}$ на тривалість проходження стадії кристалізації

№	$CB_{cn}, \%СР$	$Дб_{cn}, од.Дб$	τ, c	$\nu, \%$
---	-----------------	------------------	-----------	-----------

1	63	90,6	9468	0,51
2	65,8	92,2	9505	0,84
3	62,1	91,8	9302	1,27

Як видно з табл. 2.2, тривалість проходження кристалізації малочутлива до зміни збурень.

Для третьої стадії уварювання утфелю, зміна збурення така ж як при другій. Кінець уварювання є досягнення $CB_y = 92.5\%$ і приблизний час 10 хвилин, або 600 секунд. В табл. 2.3 приведена оцінка чутливості.

Таблиця 2.3

Оцінка впливу зміни CB_{cn} , $Дб_{cn}$ на тривалість проходження стадії уварювання утфелю

№	CB_{cn} , % СР	$Дб_{cn}$, од.Дб	τ , с	ν , %
1	62,9	90	601	0,16
2	65	92	596	0,66
3	64,8	91	615	2,5

Як видно з табл. 2.3, час майже не змінився. Дослідження математичної моделі показала несуттєві зміни в змінних стану, приблизно до 1%.

Отже, оцінивши чутливість математичних моделей процесу періодичної кристалізації, прийшли до висновку, що збурення, які виникають в цьому процесі мало впливають ($\nu \leq 3\%$) на тривалість процесу, що дає можливість не коригувати знайдені за допомогою генетичних алгоритмів оптимальні значення змінних керування у разі зміни у процесі варки характеристик сиропу, що підкачується.

Задача оптимізації виникає тоді, коли існує набір внутрішніх параметрів $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, що може приймати безліч різних значень $x \in D$, де D – область пошуку. При цьому вихідні параметри $\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, що характеризують якісні показники роботи об'єкта є залежними змінними від допустимих рішень $\bar{x} \in D$.

Задача оптимізації формулюються як проблема вибору кращого допустимого рішення, що визначається за критерієм оптимальності Q :

$$Q^* = Q(\bar{x}^*) = \max_{x \in D}(\min)Q(\bar{x})^* \quad (1)$$

де \bar{x}^* – оптимальний розв'язок, $Q^* = Q(\bar{x}^*)$ – найбільше (найменше) значення критерію оптимальності серед всіх його значень в області D .

Кожна особа характеризується n генами, а структуру строки $s(\bar{x}) = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ можна вважати хромосомою, що має n з'єднаних між собою генів, що слідують один за одним в строго визначеній послідовності.

Хромосома особи a_k^t позначається як x_k^t , тобто

$$x_k^t = x(a_k^t) = (x_1(a_k^t), x_2(a_k^t), \dots, x_n(a_k^t)) = s(\bar{x}) = (s_1, s_2, \dots, s_n) \quad (2)$$

Використовуючи критерій оптимальності Q , можливо отримати функцію належності $\mu(a_k^t)$ особи a_k^t , причому величина $\mu(a_k^t)$ прямо пропорційна величині критерію Q . Отже, мета еволюційного розвитку особин зводиться до визначенню такого генотипу, що належить генофонду S , який забезпечує найбільшу пристосованість до зовнішнього середовища.

Сукупність особин $(a_1^t, a_2^t, \dots, a_v^t)$, що належить області пошуку D утворює популяцію P^t . Де v – число, що характеризує кількість особин, що утворюють популяцію.

В часі популяції P^t складаються з дискретних, поколінь, що не перекриваються між собою, віддалених в родинному відношенні від загальних предків, тобто кожне наступне покоління P^{t+1} є сукупністю з n особин, які відбираються тільки з особин попереднього t -го покоління. Тобто під еволюцією розуміється чергування поколінь, в процесі якого особи змінюють свої варіабельні ознаки так, щоб кожна наступна популяція забезпечувала більше середнє значення функції належності по популяції P^t :

$$\mu_{CP}(t) = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \mu(a_i^t) \quad (3)$$

Сукупність із v генотипів всіх особин $(a_1^t, a_2^t, \dots, a_v^t)$, що утворюють популяцію P^t складають хромосомний набір $(x_1^t, x_2^t, \dots, x_v^t)$, що містить генетичну інформацію про популяцію P^t в цілому.

Як вже відзначалося, в процесі еволюції хромосомний набір популяції міняється, що забезпечується природними механізмами спадковості, мінливості і природного відбору. Метою генетичного пошуку являється пошук особини з найбільшою функцією належності. Генетичний алгоритм, моделюючи природні механізми, забезпечує еволюцію популяції від покоління до покоління, а його робота являє собою ітераційний процес, що продовжується доти, поки не виконаються задане число поколінь або будь-який інший критерій зупинки.

Результати досліджень. Визначення геометричного простору протікання технологічного процесу та вибір змінних керування є взаємозв'язаним задачами. Їх вирішення можна звести до двох варіантів. Перший – в якості змінних керування використовують витрати граючої G_n та вторинної G_e пари. Тоді уявна поверхня простору протікання співпадає з зовнішньою поверхнею вакуум-апарату. Другий – змінними керування є температура t_n або тиск p_n пари в гріючій камері і температура t_e або тиск p_e вторинної пари. В цьому випадку на границі вказаного простору буде гріюча камера та паровий простір вакуум-апарату. Для вирішення задачі оптимального керування використовуємо другий варіант, пов'язаний з оптимізацією значень t_n і p_e , так як цей варіант дуже просто реалізувати за допомогою автоматичних регуляторів відповідних величин.

Отже, змінними керуваннями є кількість сиропу, який підкачується $G_{cn}(\tau)$, а також температура в гріючій камері та тиск вторинної пари $(t_n$ і $p_e)$. Змінними стану будуть: температура утфелю t_y , концентрація сухих речовин в утфелі CB_y , температура стінок t_{cm} , приріст гідростатичного рівня Δh ,

швидкість випаровування W_H та масовий вміст кристалів цукру K_p . До збурень відносимо температуру сиропу, який поступає з випарної станції t_c , вміст сухих речовин CB_{cn} та доброякісність продукту $Дб_{cn}$, який підкачується.

За допомогою генетичного алгоритму та програмного пакету Matlab визначаємо оптимальні значення t_n і p_e . При роботі генетичного алгоритму використовувались наступні параметри: кількість особин в популяції – 10, кількість поколінь – 100, що є достатньою розмірністю для вирішення поставленої задачі. З рисунків 1, 2 видно, що оптимальною температурою для змодельованого технологічного процесу варки утфелю, буде температура $t_n = 129^{\circ}\text{C}$, та тиск $p_e = 29$ кПа.

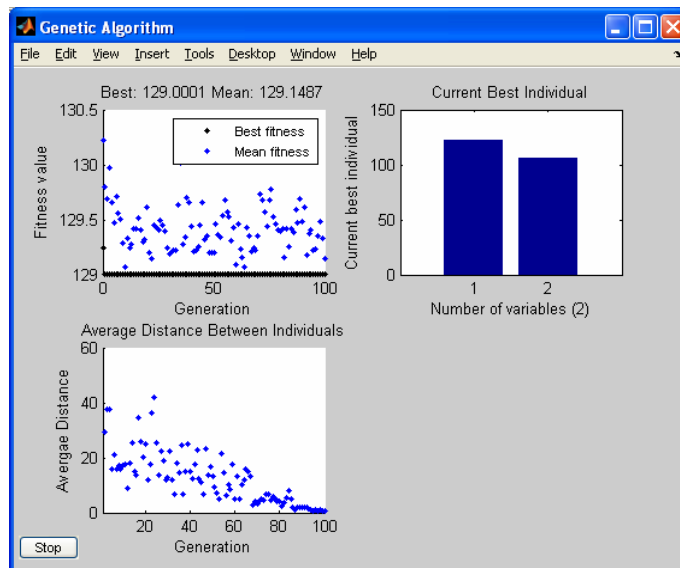


Рис. 1. Генетичний алгоритм пошуку оптимального значення температури.

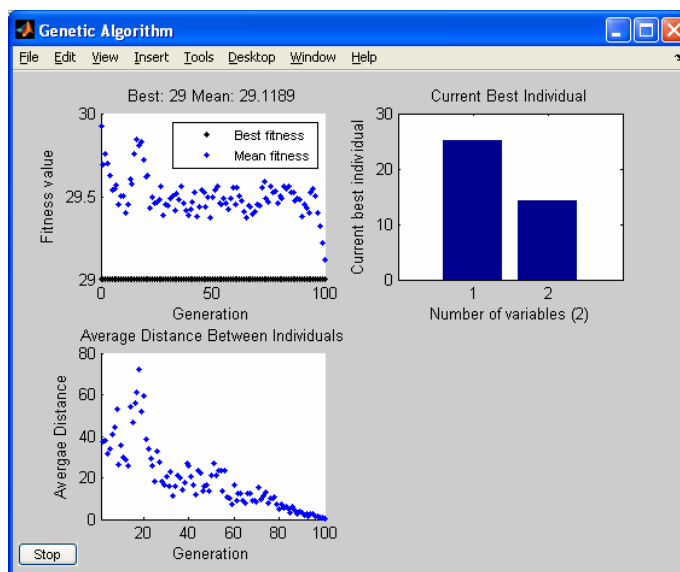


Рис. 2. Генетичний алгоритм пошуку оптимального значення тиску.

Доцільність використання генетичних алгоритмів при пошуку оптимальних значень змінних підтверджується швидкістю його роботи та тим, що вони моделюють природну еволюцію в просторі параметрів, що оптимізуються, а не в просторі параметрів алгоритму пошуку.

Висновки

Отже, постановка задачі оптимального керування за ситуаційним підходом зводиться до наступного: в залежності від вибору варіанту за допомогою генетичного алгоритму підбираються відповідні йому значення змінних керування, а за рахунок впливу на витрату підкачуваного продукту, температуру в гріючій камері та тиску вторинної пари отримаємо потрібні змінні стану та кінетичні параметри, які в свою чергу призведуть або до мінімального часу варіння утфелю або до максимального виходу готового продукту, враховуючи якісні та кількісні оцінки утфелю.

Список використаних джерел

1. *Батіщев Д.І.* Застосування генетичних алгоритмів до вирішення задач дискретної оптимізації / Батіщев Д.І., Неймарк Е.А., Старостін Н.В. – Нижній Новгород, 2007. – 88 с.
2. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. – Харьков: Основа, 1997. – 112 с.
3. *Засць Н.А., Глущенко М.С.* Розробка системи керування вакуум-апаратами періодичної дії з елементами ситуаційного управління та адаптацією // Вестник Херсонского Национального технического университета – 2008. - №33, с.65-68
4. *Глущенко М.С., Трегуб В.Г.* Моделирование периодических процессов в утфельных вакуум-апаратах // Харчова промисловість. – Київ: НУХТ. – 2005, С.96

5. *Трегуб В.Г., Глущенко М.С. Оптимальне керування технологічним комплексом апаратів періодичної дії // Наук. пр. НУХТ. – Київ. – 2006. – №18. – С. 74 – 76*

Аннотация

Приведена математическая модель утфельного вакуум-аппарату, который является аппаратом периодического действия и исследована возможность использования генетических алгоритмов для решения задач оптимизации для определения оптимальных значений переменных управления при автоматизированном управлении утфельным вакуум-аппаратом.

Утфель, сироп, вакуум-аппарат, генетический алгоритм, оптимальное решение, область поиска, время эволюции, факторы.

The summary

A mathematical model over is brought to the утфельного vacuum pan that is the vehicle of batch-type and possibility of the use of genetic algorithms is investigational for the decision of tasks of optimization for determination of optimal values of variables management at the automated management a massecuite vacuum apparatus.

Masseccuite, syrup, vacuum apparatus, genetic algorithm, optimal decision, search area, time of evolution, factors