

АЛГОРИТМ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ВАКУУМ-АПАРАТА ДЛЯ УВАРЮВАННЯ ЦУКРОВИХ УТФЕЛІВ

У статті розглянуто питання пошуку та досягнення оптимального проведення процесу кристалізації цукрози шляхом створення імітаційної моделі роботи вакуум-апарата. Розглянуто алгоритм побудови та функціонування імітаційної моделі.

Проблема промислової кристалізації цукрози з розчинів шляхом випарювання розчинника полягає в пошуку таких взаємопов'язаних параметрів процесу, які б дозволили досягти оптимального проведення процесу кристалізації з урахуванням технології, гідродинаміки, тепломасообміну, конструкції тощо.

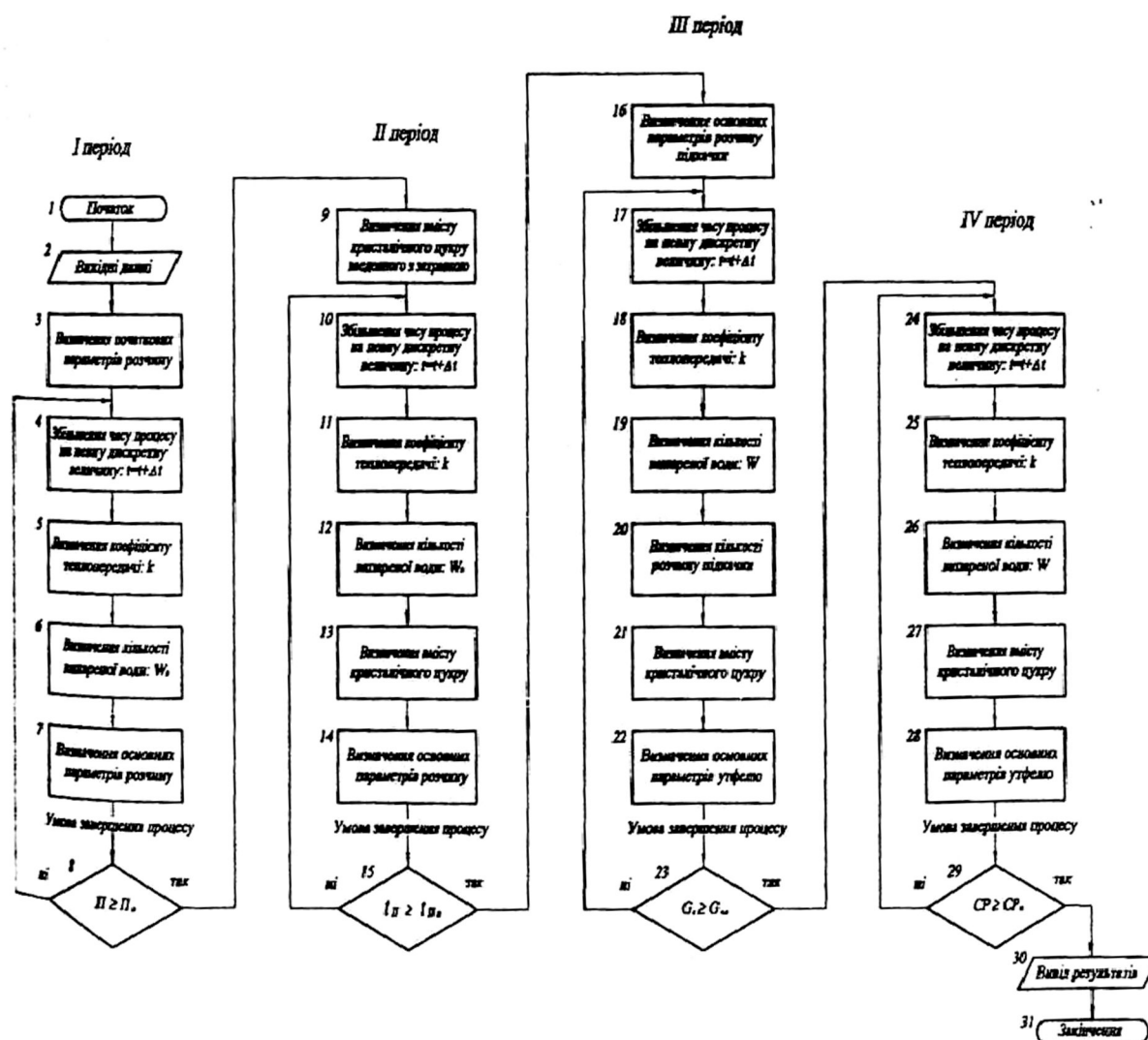
Незважаючи на значний накопичений досвід у цьому питанні [1, 2, 3, 5], на теперішній час немає чіткої відповіді щодо оптимальних взаємопов'язаних параметрів процесу кристалізації в силу складності процесу, нестійкості системи, що кристалізується, прямих та зворотних взаємовпливів факторів процесу, труднощів моделювання та масштабного переходу від моделі до реального процесу.

Одним із методів, що значно полегшує це завдання, є створення імітаційної моделі роботи вакуум-апарата, яка за допомогою сучасних комп'ютерних технологій дозволяє в найбільшому наближенні до реального процесу імітувати роботу вакуум-апарата з максимальним урахуванням відомих впливових факторів.

Основою на шляху створення імітаційної моделі є розробка та складання алгоритмів роботи моделі, оскільки від правильності та функціональності цих алгоритмів залежить достовірність отриманих результатів та імітаційної моделі взагалі.

Відповідно до масового графіка варки у вакуум-апараті [4] загальний алгоритм роботи імітаційної моделі роботи вакуум-апарата складається з чотирьох основних частин, що відповідають основним періодам процесу варки у вакуум-апараті: I - згущення вихідного сиропу; II - генерація кристалів; III - зростання кристалів при живленні цукровим розчином; IV - остаточне згущення утфелю.

Враховуючи особливості кожного з періодів, алгоритм роботи імітаційної моделі вакуум-апарата може бути наведений у вигляді блок-схеми (рисунк 1).



Перший період починається з блоку «Визначення початкових параметрів розчину на основі запроваджених вихідних даних. До початкових параметрів розчину» належать його склад та фізичні властивості. Відповідно до блок-схеми до цього періоду належать блоки 3-8. Блоки 1 та 2 є загальними для всього алгоритму.

Початок внутрішнього циклу розрахунку процесів для кожного з періодів, що відбуваються в апараті, починаються з блоку «Збільшення часу процесу на певну дискретну величину» – це блок обрахунку часу тривалості процесу. Для першого періоду цей блок стоїть під номером 3. Оскільки обрахунки процесів, що відбуваються у вакуум-апараті оперують такими параметрами, в яких фігурують часові величини, необхідно завчасно визначити ту величину часу, для якої проводяться всі обрахунки, ця величина часу називатиметься дискретною величиною часу. При цьому робимо припущення, що на цьому дискретному проміжку часу умови кристалізації, тобто коефіцієнт пересичення та склад цукрового розчину або утфелю сталі.

Наступні два блоки 5 та 6 – це блоки теплового розрахунку, що ґрунтуються на тепловому балансі вакуум-апарату. Дотримуючись сформованих уявлень про зображення процесу масовим графіком варки, тепловий баланс для процесу варки у вакуум-апараті буде мати наступний вигляд: кількість тепла dQ , віддане гріючою парою, в сумі з теплом, наданим підкачуванням ($i_n dG_n$), і теплом, що виділилося при кристалізації ($r_{кр} dG_{кр}$), витрачається на випарювання води (idW), зміну ентальпії утфелю [$d(i_y G_y)$] і на компенсацію теплових витрат у навколишнє середовище ($dQ_{втр}$):

$$dQ + i_n dG_n + r_{кр} dG_{кр} = idW + d(i_y G_y) + dQ_{втр}. \quad (1)$$

У заводських умовах вплив складової $r_{кр} dG_{кр}$ виділити у чистому вигляді поки не вдалося [4]. Тому вплив цього фактора враховується експлуатаційним коефіцієнтом, як і облік тепловтрат. Тепло, що виділяється під час кристалізації, частково компенсується тепловими втратами.

Для першого періоду тепловий баланс виглядатиме наступним чином:

$$dQ = idW + d(i_y G_y) + dQ_{втр}. \quad (2)$$

Однією з найбільших складностей під час теплових розрахунків вакуум-апаратів є визначення теплопередачі від теплоносія (пари) до продукту (цукровий розчин, утфель). Величина коефіцієнта теплопередачі під час уварювання утфелів визначається відповідно до формули загального коефіцієнта теплопередач [4].

Після визначення коефіцієнта теплопередачі, як вже було зазначено, визначаємо кількість випареної води, враховуючи рівняння теплового балансу (2).

Наступним блоком 7 після блоків теплового розрахунку є блок «Визначення основних параметрів розчину», оскільки параметри розчину під час теп-

лової обробки та випарювання води досить істотно змінюються. У цьому блоці відбувається визначення основних параметрів розчину, до яких належать склад та фізичні властивості.

Фізичні властивості виробничих цукрових розчинів не є константами, так як вони змінюються залежно від складу і кількості нецукрів. Через це рекомендується при їх визначенні орієнтуватися на параметри чистих цукрових розчинів, додаючи виправні функції на вплив нецукрів для усередненого їх складу.

Одними з основних фізичних властивостей цукрових розчинів та утфелей, які беруть участь майже в усіх розрахунках, є розчинність, коефіцієнт пересичення, в'язкість, густина, теплопровідність, питома масова теплоємність, температуропровідність цукрових розчинів та утфелей та температурна депресія.

У кінці циклу кожного з періодів знаходиться блок умови завершення процесу в першому періоді: це блок 8. Під час першого періоду проводиться перевірка умови досягнення коефіцієнтом пересичення розчину необхідної величини для початку заведення центрів кристалізації. Коли ця умова виконується фактично перший період завершується та починається другий період.

Другий період, період генерації кристалів, починається з блоку 9 «Визначення вмісту кристалічного цукру доданого із затравкою». Кількість кристалічного цукру, що додається із затравкою залежить від методу заведення кристалів та виду затравки, що застосовується.

Внутрішній цикл розрахунку, як і під час першого періоду, починається з блоку «Збільшення часу процесу на певну дискретну величину», який ми вже розглянули.

Наступні два блоки 11 та 12 теплового розрахунку мало відрізняються від попереднього періоду, лише дещо змінюється формула теплового балансу у зв'язку з появою кристалічного цукру у складі розчину, а якщо бути точнішим, то вже утфелю. Новий матеріальний баланс матиме наступний вигляд:

$$dQ + r_{kp} dG_{kp} = idW + d(i_y G_y) + dQ_{amp}. \quad (3)$$

Враховуючи нові особливості про ведення процесу та новий тепловий баланс, визначається кількість випареної води.

Наступним блоком є блок 13 «Визначення вмісту кристалічного цукру». Оскільки під час цього періоду відбувається зростання частки кристалічного цукру в утфелі протягом повного дискретного проміжку часу використовуємо залежність між теплообміном та кристалізацією, запропоновану І. Г. Бажалом [1]. Для нашого випадку залежність матиме наступний вигляд:

$$dG_{kp} = \frac{I\zeta}{B\delta} dW_a, \quad (4)$$

де $\frac{I\zeta}{B\delta}$ – вміст цукру (кг цукру / кг води).

Отже, використовуючи рівняння матеріального балансу та визначену кількість випареної води на певному дискретному проміжку часу, можна визначити величину масового приросту кристалічної фази в утфелі. Загальна ж кількість кристалічної фази цукру в утфелі буде становити суму між кількістю кристалічного цукру на початку дискретного проміжку часу та кількості кристалічного цукру, що утворився протягом певного проміжку часу, тобто приросту кристалічної фази.

Далі після визначення кількості випареної води та кількості цукру в утфелі, проводимо визначення нових параметрів розчину, що й відбувається в блоці 14.

Умовою завершення процесу обрахунків в другому періоді є величина часу необхідна для генерації кристалів, яка визначається на основі експериментальних даних залежно від чистоти цукрового розчину та вмісту сухих речовин у ньому.

По завершенні часу, відведеного для другого періоду, починається третій період, під час якого відбувається зростання кристалів із підкачкою свіжого розчину.

Третій період починається з блоку 16 «Визначення основних параметрів розчину підкачки», розчин підкачки є також цукровим розчином і для нього визначаються ті ж параметри, що й для основного цукрового розчину в першому періоді.

Під час теплового розрахунку третього періоду використовуємо рівняння теплового балансу у повному вигляді за формулою (1). На відміну від попередніх періодів в процесі третього періоду в апарат подається свіжий цукровий розчин підкачки. Через це необхідно визначити кількість розчину підкачки, що додається до апарата для кожного дискретного проміжку часу. Для цього скористаємось залежностями І. Г. Бажала, які вже були висвітлені вище в другому періоді. Також ці залежності використаємо для визначення приросту та відповідно вмісту кристалічного цукру під час кожного з проміжків дискретного часу. Для розчину підкачки залежність матиме вигляд до формули 6, а для кристалічного цукру – 8.

Умовою завершення третього періоду є досягнення розчином підкачки, тієї кількості, яку необхідно було додати в апарат. Якщо в апарат додано всю кількість цукрового розчину, що була необхідна, то третій період на цьому завершується.

Четвертий і останній період мало чим відрізняється від попередніх, зокрема від третього. Відмінністю від третього є відсутність додавання розчину підкачки та умова завершення процесу. Умовою завершення четвертого періоду є досягнення необхідного значення вмісту сухих речовин в утфелі ($\approx 93\%$). Досягши цієї умови, розрахунок у цьому періоді припиняється, виводяться результати обрахунку за весь робочий час процесу варки і робота імітаційної моделі в цілому припиняється.

Використовуючи цей алгоритм за допомогою сучасних комп'ютерних технологій, можна повністю з максимальним наближенням до реальності провести імітацію роботи вакуум-апарата періодичної дії та визначити найбільш раціональний режим варки утфелю у вакуум-апараті.

Література

1. Гулый И. С. Непрерывная варка и кристаллизация сахара. – М.: Пищ. пром-сть, 1976. – 268с.
2. МIRONЧУК В.Г. Взаємозв'язок гідродинамічних, тепломасообмінних та конструктивних характеристик в процесі кристалізації цукру// Харчова промисловість, 1998. – №43. – С.53-57.
3. МIRONЧУК В.Г. Влияние конструкции вакуум-аппарата на рост кристаллов по колебательному механизму рекристаллизации/ В.Г.МIRONЧУК, Р.А.Рамутите, И.С.Гулый // Пищевая промышленность. Серия II. Сахарная промышленность. – Москва, 1981. – Вып.12. – С. 3-5.
4. Попов В. Д. Основы теории тепло- и массообмена при кристаллизации сахарозы. – М.: Пищ. пром-сть, 1973. – 320 с.
5. Штангеев В.О. Влияние режима подвода сиропа на процесс уваривания сахарных уфелей / В.О.Штангеев, В.К. Кудрик // Пути интенсификации процессов свеклосахарного производства: Сб.тр.ВНИИСП. – К.: ВНИИСП, 1989. – С. 156-165.