

Моделювання процесу тепло-масообміну в нагрівній камері вакуум-апарата при масовій кристалізації сахарози

Т.М. Погорілий, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій

У статті встановлено в яких випадках і в який момент часу перебування системи комірок утфелю в нагрівальній трубці коефіцієнт пересичення Π приймає значення рівним або меншим за одиницю, тобто коли процес нарощування кристалів переходить в процес розчинення кристалів.

Ключові слова: коефіцієнт пересичення, міжкристальний розчин сахарози, кристал цукру, утфель.

В статье установлено в каких случаях и в какой момент времени пребывания системы ячеек утфеля в нагревательной трубке коэффициент пересыщения Π принимает значение равным или меньше единицы, то есть когда процесс наращивания кристаллов переходит в процесс растворения кристаллов.

Ключевые слова: коэффициент пересыщения, межкристальный раствор сахарозы, кристалл сахара, утфель.

The paper found in what cases and at what point of time the system spends in the heating tube massecuite cells supersaturation ratio takes a value equal to one or less than one, that is, when the increasing the crystal process moves in the dissolution the crystals process.

Keywords: supersaturation ratio, intercrystalline sucrose solution, sugar crystal, massecuite.

Процес масової кристалізації сахарози при уварюванні цукрових утфелів є найбільш енергоємним у промисловому виробництві цукру.

З метою зменшення енерговират при уварюванні цукрових утфелів завдяки встановленню оптимальних значень коефіцієнта пересичення міжкристалевого розчину, нами створена математична модель цього процесу, яка дозволяє заздалегідь визначити необхідну величину коефіцієнта пересичення від початку до кінця вару.

В зв'язку з тим, що при створенні математичної моделі процесу масової кристалізації сахарози врахувати всі теплофізичні характеристики (густина ρ , коефіцієнт теплопровідності c , коефіцієнт температуропровідності a , коефіцієнт теплоємності λ окремо для: парової бульбашки; міжкристального розчину сахарози; кристалів цукру; та утфелю; коефіцієнт дифузії міжкристального розчину сахарози D), технологічні характерис-

тики (вміст сухих речовин CP та чистота $Ч$ окремо для міжкристального розчину сахарози та для утфелю; та вміст кристалів цукру KP в утфелі) а також гідродинамічні характеристики (швидкість руху u та в'язкість μ утфелю, тиск p в кожній досліджуваній точці вакуум-апарата), надзвичайно складно (або ж навіть практично неможливо), вимушені були прийняти ряд спрощень.

У силу цього математична модель процесу масової кристалізації сахарози, що розробляється, носить ідеалізований характер.

В першу чергу всі процеси масової кристалізації сахарози розглядаємо з точки зору нестационарних процесів тепло- та масообміну, що взаємопов'язані між собою. При створенні математичної моделі тепло- та масообміну при масовій кристалізації сахарози утфель, що представляє собою багатозначну систему (парова бульбашка-міжкристальний розчин сахаро-

зи-кристал цукру, або ж тільки міжкристальний розчин сахарози-кристал цукру) розглядали з точки зору комірчастої моделі [1]. В даному випадку спочатку було розглянуто об'ємну комірчасту модель такої системи комірок [2], що складається з двох кристалів цукру [3], кожен з яких, в свою чергу, оточений відповідною за об'ємом коміркою міжкристального розчину сахарози [4]. Кристали цукру в ідеалізованому випадку представляли у вигляді прямокутних призм (паралелепіпедів). Для кожного кристалу товщина міжкристального розчину сахарози приймалась однаковою по всій поверхні відповідного їй кристалу і розподілялась пропорційно до площі поверхні такого кристалу (рис. 1).

Оскільки для такої об'ємної системи комірок знайти розв'язок системи нестационарних спряжених задач теплообміну та дифузійного масообміну аналітичними методами надзвичайно складно (або ж практично

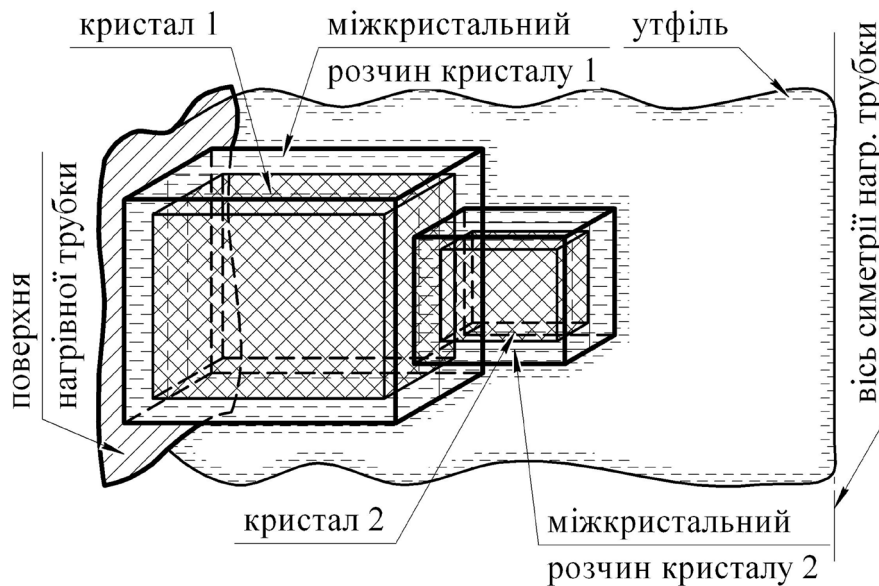


Рис. 1. Схема розташування системи комірок : більший (1) та менший (2) кристали цукру–міжкристальні розчини сахарози, що оточують відповідно більший (1) та менший (2) кристал цукру–утфіль

неможливо), було зроблено еквівалентний перехід від об'ємної моделі системи комірок (**рис. 1**) до одновимірної системи комірок.

Таким чином, в даному випадку одночасно розв'язувались: нестационарна задача теплопровідності для всієї системи комірок [5] (що складалась із семи окремих задач, кожна з яких стосувалась окремої області) та три окремих нестационарних задачі дифузійного масообміну [6] для комірок міжкристального розчину сахарози, що відповідають різним областям міжкристального розчину сахарози.

В силу складності одночасного розв'язку такої системи нестационарних задач тепло- та масообміну, було застосовано [5, 6] чисельні методи на основі методу кінцевих різниць.

Система комірок розглядалась такою, що більший (1) та менший (2) кристал цукру разом з їх відповідними комітками міжкристального розчину сахарози (**рис. 1**) постійно контактують між собою протягом всього часу перебування цієї системи комірок в нагрівальній трубці грюючої камери вакуум-апарата. Також було прийнято, що така система комірок постійно кон-

тактує з поверхнею нагрівальної трубки протягом всього часу перебування в ній.

Обрахунки проводились при наступних окремих десяти різних значеннях відносного часу уварювання цукрового утфелю: $t/t_{\text{ц}} = (0,15; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0)$. В силу обмеженого об'єму в даному випадку представлено результати лише для відносного часу уварювання $\tau/\tau_{\text{ц}} = 0,15$. Для такого значення відносного часу уварювання $t/t_{\text{ц}}$ розраховувались всі початкові теплофізичні характеристики міжкристальних розчинів сахарози та кристалів цукру.

Початкова температура всієї системи комірок приймалась рівною 75°C .

Температура поверхні нагрівальної трубки приймалась рівною $100, 105, 100, 115$ та 119°C .

Розміри кристалів цукру для більшої та меншої комірки приймались відповідно рівними $5,0 \times 10^{-4}$ м та $2,5 \times 10^{-4}$ м. В момент відносного часу уварювання $\tau/\tau_{\text{ц}} = 0,15$ також додатково було розглянуто випадки, коли перший та другий кристали однаково за розміром і становлять $3,0 \times 10^{-6}$ м, $1,5 \times 10^{-5}$ м та $4,0 \times 10^{-5}$ м, що відповідають [1] різним варіантам середніх розмірів кристалів цукру, котрі присутні в «затравці» в момент часу її введення в вакуум-апарат (приймалось $\tau/\tau_{\text{ц}} = 0,15$). В даній роботі представлено результати лише для випадку, коли ха-

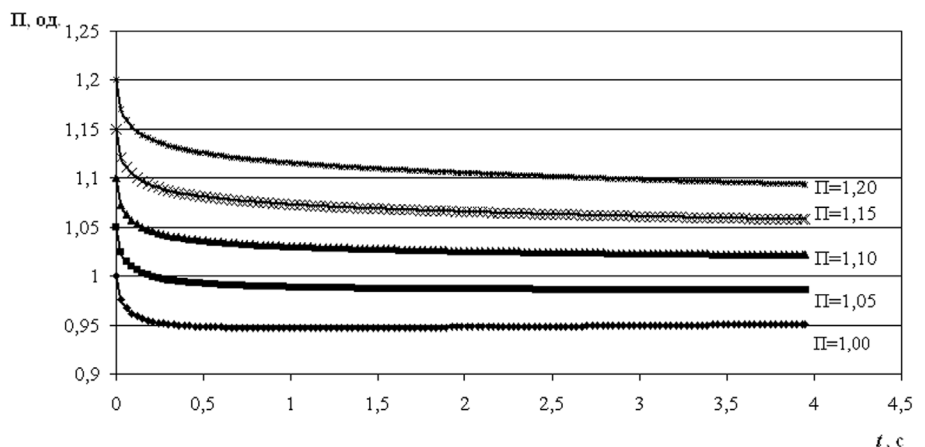


Рис. 2. Коефіцієнт пересичення лівої області міжкристального розчину сахарози 1-го кристалу ($l_{\text{кристалу}} = 3 \times 10^{-6}$ м)

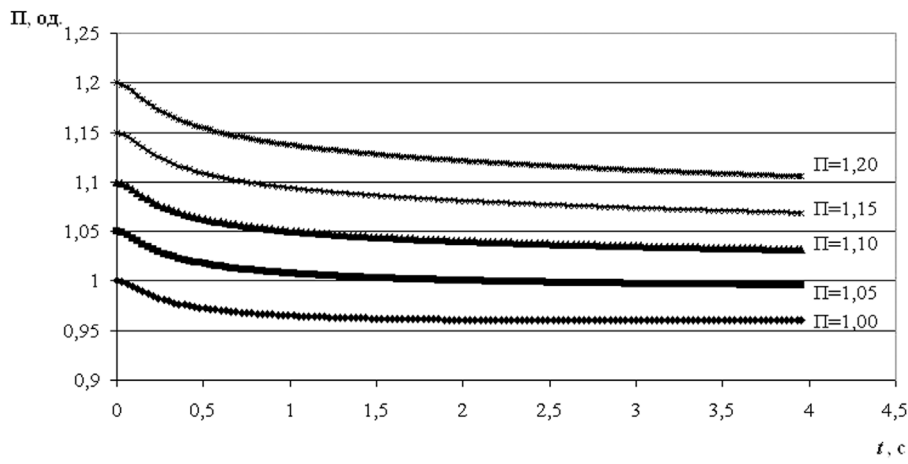


Рис. 3. Коефіцієнт пересичення правої області міжкристального розчину сахарози 1-го кристалу

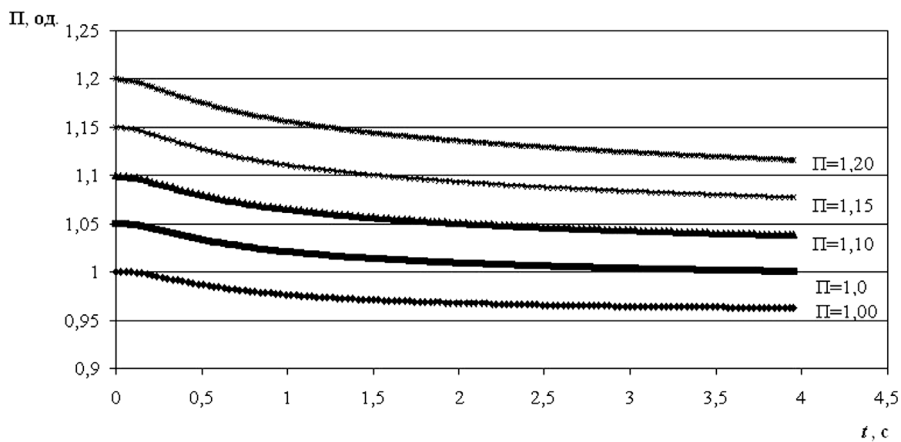


Рис. 4. Коефіцієнт пересичення лівої області міжкристального розчину сахарози 2-го кристалу ($l_{\text{кристалу}} = 3 \times 10^{-6} \text{ м}$)

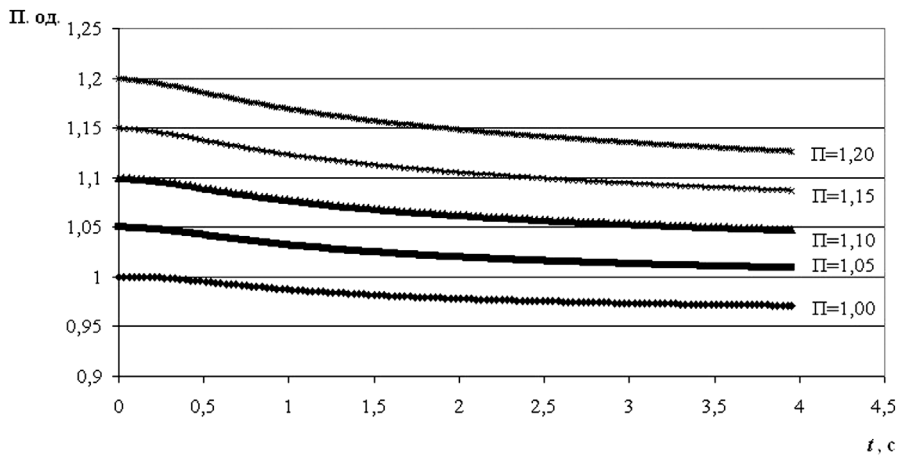


Рис. 5. Коефіцієнт пересичення правої області міжкристального розчину сахарози 2-го кристалу ($l_{\text{кристалу}} = 3 \times 10^{-6} \text{ м}$)

рактерні лінійні розміри кристалів були однаковими та такими, що дорівнюють $3,0 \times 10^{-6} \text{ м}$.

Розрахунки для кожного зазначеного випадку проводились при різному початковому коефіцієнті пересичення, а саме: $\Pi =$

1,0; 1,05; 1,10; 1,15 та 1,20.

Таким чином, для розглянутої вище системи комірок було проведено розрахунок в кожній із областей (рис. 1) в одновимірному випадку по: розподілу температури, розподілу кон-

центрацій в кожній області міжкристального розчину сахарози тощо. Представлено результати розрахунків коефіцієнтів пересичення в кожній з областей міжкристального розчину сахарози при їхній початковій температурі 75°C та температурі поверхні ґріючої стінки 100°C .

На основі одночасного розв'язку системи із семи нестационарних задач теплопровідності та трьох окремих систем нестационарних задач дифузійного масообміну знайдено нестационарний розподіл температури у кожній складовій всій системі комірок: «більший кристал цукру–міжкристальний розчин сахарози більшого кристалу цукру–менший кристал цукру–міжкристальний розчин сахарози меншого кристалу цукру–утфель», а також розподіл концентрацій та коефіцієнти пересичення в кожній комірці міжкристального розчину сахарози даної системи комірок.

На рис. 2 представлено результати розрахунків зміни коефіцієнта пересичення лівої області міжкристального розчину сахарози 1-го кристалу (рис. 1) при різних початкових коефіцієнтах пересичення, при умові, що характерний лінійний розмір кристалів був рівний $l_{\text{кристалу}} = 3 \times 10^{-6} \text{ м}$ для обох кристалів.

На рис. 3 представлено результати розрахунків зміни коефіцієнта пересичення правої області міжкристального розчину сахарози 1-го кристалу (рис. 1) при різних початкових коефіцієнтах пересичення, при умові, що характерний лінійний розмір кристалів також був рівний $l_{\text{кристалу}} = 3 \times 10^{-6} \text{ м}$ для обох кристалів.

На рис. 4 представлено результати розрахунків зміни коефіцієнта пересичення лівої області міжкристального розчину сахарози 2-го кристалу (рис. 1) при різних початкових коефіцієнтах пересичення, при умові, що характерний лінійний розмір кристалів аналогічно до по-

передніх випадків був рівний $l_{\text{кристалу}} = 3 \times 10^{-6}$ м для обох кристалів.

Нарешті, на **рис. 5** представлено результати розрахунків зміни коефіцієнта пересичення правої області міжкристального розчину сахарози 2-го кристалу (**рис. 1**) при різних початкових коефіцієнтах пересичення, при умові, що характерні лінійні розміри кристалів аналогічно до попередніх випадків були рівними $l_{\text{кристалу}} = 3 \times 10^{-6}$ м для обох кристалів.

Висновки

В результаті одночасного розв'язку системи нестационарних задач теплопровідності та трьох систем нестационарних задач дифузійного масообміну на основі створеної математичної моделі масової кристалізації сахарози знайдено нестационарні розподіли температур для всіх складових комірок утфелю з полідисперсними кристалами цукру, а також розподіли концентрацій та коефіцієнтів пересичення для областей міжкристальних розчинів сахарози цих комірок протягом перебування всієї системи комірок у нагрівальній трубі гріючої камери вакуум-апарата. Встановлено, в яких випадках і в який момент часу перебування системи комірок в нагрівальній трубі ко-

ефіцієнт пересичення приймає значення рівним або меншим за одиницю $P \leq 1$, тобто коли процес нарощування кристалів переходить в процес розчинення кристалів. Таким чином, з технологічної точки зору можливо завчасно передбачити, який саме коефіцієнт пересичення необхідно підтримувати протягом уварювання цукрового утфелю, щоб уникнути розчинення кристалів цукру. ■

Список використаних джерел

1. Кулинченко, В. Р. Промышленная кристаллизация сахаристых веществ: монография / В. Р. Кулинченко, В. Г. Мирончук. – К. : НУПТ, 2012. – 426 с.
2. Pogoriliyy T. Three-dimensional model three-phase dispersion systems: greater and smaller crystals-intercrystalline solutions cell-steam bubble / T. Pogoriliyy // Australian Journal of Scientific Research, 2014, No.1. (5) (January-June). Volume IV. «Adelaide University Press». Adelaide, 2014. – pp. 573–579.
3. Погорілий Т. М. Об'ємна геометрична модель кристалів цукру в системі комірок: кристали цукру-міжкристальні розчини сахарози-парова бульбашка / Т. М. Погорілий // Наукові праці

НУХТ. - К. : 2014.- Т. 20, №5.- С. 141–151.

4. Погорілий, Т. М. Об'ємна геометрична модель міжкристального розчину сахарози в системі комірок: кристали цукру-міжкристальні розчини сахарози-парова бульбашка / Т. М. Погорілий // Наукові праці НУХТ.- К. : 2015.- Т. 21, №2. - С. 139-150.

5. Pogoriliyy T. Temperatures distribution in the «larger sugar crystal–larger crystal sucrose solution–less crystal sugar sucrose solution–smaller sugar crystal–massecuite» cells system depending on the boiling sugar massecuite time / T. Pogoriliyy // Ukrainian Food Journal / Kyiv. – 2015. – Volume 4, Issue 4. – P. 648–661.

6. Pogoriliyy T. Simultaneous unsteady calculation of temperature distribution in the «larger sugar crystal–larger sugar crystal sucrose solution–less sugar crystal sucrose solution–smaller sugar crystal–massecuite» system cells and sucrose solutions cells concentrations in the same system depending on the boiling sugar massecuite time / T. Pogoriliyy // Ukrainian Journal of Food Science / Kyiv. – 2015. – Volume 3, Issue 2. – P. 322–341.

Рецензент: С.М. Василенко, д.т.н., проф.

ЦІКАВІ ФАКТИ

Погляд на H₂O з медичної точки зору



Щороку від захворювань, переданих через воду, вмирає до 25 млн. чоловік. Втрачаючи понад 12% води від загальної маси тіла, при відсутності сучасної медичної допомоги, людина піддається смертельному ризику.

Через воду передається 85% захворювань.

Дистильовану воду можна вживати в обмежених кількостях. У іншому випадку, з організму вимиваються мінеральні солі і виникають численні порушення в роботі життєво важливих систем.

Два дні, проведені в пустелі при відсутності води, сильно нагадують стан «похмілля». Потім починаються зорові галюцинації

Кофеїн і алкоголь стрімко зневоднюють наш організм.

За своє життя ми випиваємо 35 тонн води, а любителі алкоголю - на порядок більше.