ляторі без попереднього виготовлення дослідного зразка, що дозволить підібрати його оптимальну конструкцію.

Література:

1. Про енергозбереження: Закон України від 01.07.1994 р. № 74/94-ВР. Дата оновлення: 9.05.2015. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>.
2. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумуляирование тепла. Киев: Техника, 1991. 112 с.
3. Mehling H., Cabeza L.F. Heat and cold storage with PCM. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 308 p.
4. Zalba B., Marin J.M., Cabeza L.F., Mehling H. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*. 2003. Vol. 23. P. 251–283.
5. Farid M.M., Khudhair A.M., Razack S.A.K., Al-Hallaj S. A review on phase change energy storage: materials and applications. *Energy Conversion and Management*. 2004. Vol. 45. P. 1597–1615.
6. Михайлик В.А., Снежкин Ю.Ф., Коринчевская Т.В., Парняков А.С., Постников В.А. Теплофизические свойства композиционных теплоаккумулирующих материалов на основе органических соединений. *Промышленная теплотехника*. 2011. Т. 33, № 5. С. 96–103.
7. Снежкин Ю.Ф., Михайлик В.А., Коринчевская Т.В., Воробьев Л.И., Декуша Л.В. Удельная теплоемкость и теплопроводность теплоаккумулирующих материалов на основе парафина, буроугольного и полиэтиленового восков. *Problemele energeticii regionale*. 2014. № 2 (25). С. 35–41.
8. Incropera F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of heat and mass transfer, New York; Chichester: John Wiley & Sons, 2002. 944 p.
9. Bejan A. Heat Transfer. New York: John Wiley & Sons, 1993. 675 p.
10. Alawadhi E., Amon C. H. Pcm thermal control unit for portable electronic devices: experimental and numerical studies. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 2003. Vol. 26. № 1. P. 116–125.

References:

1. Pro enerhozberezhennia: Zakon Ukrainy vid 01.07.1994, № 74/94-VR. Data onovlennia: 9.05.2015. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>.
2. Levenberg V.D., Tkach M.R., Golstrem V.A. (1991). Akkumulirovanie tepla. K.: Tehnika, 112.
3. Mehling H., Cabeza L.F. (2008). Heat and cold storage with PCM. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 308.
4. Zalba B., Marin J.M., Cabeza L.F., Mehling H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*, 23, 251–283.
5. Farid M.M., Khudhair A.M., Razack S.A.K., Al-Hallaj S. (2004). A review on phase change energy storage: materials and applications. *Energy Conversion and Management*, 45, 1597–1615.
6. Mykhaylyk V.A., Snezhkin Yu.F., Korinchevska T.V., Parniakov A.S., Postnikov V.A. (2011). Teplofizicheskie svoystva kompozitsionnykh teploakkumuliruyushchikh materialov na osnove organicheskikh soedineniy. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 33(5), 96–103.
7. Snezhkin Yu.F., Mykhailik V.A., Korinchevska T.V., Vorobiev L.I., Dekusha L.V. (2014). Udelnaya teploemkost i teploprovodnost teploakkumuliruyushchikh materialov na osnove parafina, burougolnogo i polietilenovogo voskov. *Problemele energeticii regionale*, 2(25), 35–41.
8. Incropera F.P., DeWitt D.P. (2002). Fundamentals of heat and mass transfer, New York; Chichester: John Wiley & Sons, 944.
9. Bejan A. (1993). Heat Transfer. New York: John Wiley & Sons, 675.
10. Alawadhi E., Amon C. H. (2003). Pcm thermal control unit for portable electronic devices: experimental and numerical studies. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 26(1), 116–125.

Отримано в редакцію 12.05.2018
Прийнято до друку 26.06.2018

Received 12.05.2018
Approved 26.06.2018

УДК 664.292:547.458.88:66.083.2

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1006>

МОДЕЛЮВАННЯ ІЗОТЕРМІЧНОГО РЕАКТОРА ДЛЯ НАСИЧЕННЯ САХАРОЗОЮ ЦУКАТІВ З ГАРБУЗА

Гузьова І.О., доц., к.т.н.

Атаманюк В.М., проф., д.т.н.

Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів

Анотація. Універсальна моделююча програма ChemCad дозволяє провести моделювання процесу насичення плодів гарбуза цукром. Результати моделювання дають можливість здійснення технологічного процесу з мінімальними енергозатратами та максимальним збереженням поживних речовин в готовому продукті, в якому єдиним консервантом буде цукор.

За допомогою універсальної моделюючої програми ChemCad був змодельований ізоермічний реактор насичення частинок гарбуза цукром, який працює за умов постійної концентрації сахарози в сиропі і одночасним збільшенням концентрації сахарози в цукатах. Такий процес був змодельований стаціонарним з інтенсивним перемішуванням, працює в ізоермічному режимі і в якому кількість випарованої води компенсує кількість виділеної води з цукату.

Для моделювання необхідно було попередньо шляхом аналізу математичного опису знайти умови реалізації ізоермічного режиму, розробити математичне забезпечення для проектування реактора. Отримані числові значення результату моделювання, розрахункові та графічні залежності насичення цукатів сахарозою та проаналізовані отримані результати. Доведено, що проводити процес наси-

чення цукатів цукром в стаціонарному режимі доцільно, з точки зору збереження органолептичних властивостей, оптимального насичення цукату, який буде довго зберігати свої властивості і не пліснявіти.

Ключові слова: реактор для насичення, бульбашковий, ізотермічний, режим змішування, моделювання, цукат.

MODELING OF THE SATURATION REACTOR IN THE PRODUCTION OF PUMPKIN CANDIED FRUITS

I. Huzova, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

V. Atamanyuk, Doctor of Technical Sciences, Professor

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Abstract. ChemCad's universal simulator allows you to simulate the process of saturation of pumpkin fruit with sugar. The simulation results allow the implementation of a technological process with minimal energy consumption and maximum preservation of nutrients in the finished product, in which the only preservative is sugar. With the help of the universal simulation program ChemCad, an isothermal saturation reactor for sugar pumpkin particles was modeled, which operates under the constant concentration of sucrose in syrup and simultaneously increases the concentration of sucrose in candied fruits.

Such a process was modeled by stationary with intense mixing, operating in isothermal mode and in which amount of evaporated water compensates for the amount of water extracted from candied fruit. For simulation, it was necessary to pre-analyze the mathematical description of the conditions for the implementation of the isothermal regime, to develop a mathematical support for the design of the reactor.

For simulation, it was necessary to pre-analyze the mathematical description of the conditions for the implementation of the isothermal regime, to develop a mathematical support for the design of the reactor to include:

- determination of the constant concentration of sugar in vaporized syrup at the end of the process, the flow of solution and vapor;

- duration of sucrose saturation under stationary conditions;

- definition of reactor design characteristics, diameter height and height of the liquid;

Numerical simulation values, graphical and computational relationships are obtained, the result is analyzed.

It is proved that the process of saturation of succulents with sugar in the steady state is advisable, in terms of preservation of organoleptic properties, optimum saturation of candied fruit, which will retain its properties and molds for a long time.

Key words: saturation reactor, bubble, isothermal, mixing mode, simulation, candied fruit.

Вступ. Найважливішим завданням організації харчування населення є раціональне використання місцевих ресурсів, зокрема овочів та фруктів, як основних джерел біологічно активних речовин. Виробництво цукатів з місцевої каротиновмісної сировини дає змогу розширити асортимент овочевих цукатів вітчизняного виробництва. На даний час в Україні технологічні лінії виробництва цукатів є енергозатратними, з громістким обладнанням та великими непродуктивними втратами сировини. Саме тому, розрахунок основних процесів у виробництві цукатів з використанням сучасних моделюючих програм, які б дали змогу отримати достовірні дані для проектування нового обладнання є актуальним питанням сьогодення.

Постановка проблеми. На даний час способи виробництва цукатів є дуже різноманітними та не завжди досконалими. Перевитрата сиропу, сульфатування, оброблення сировини консервантами перед процесом насичення цукром та антиоксидантами перед процесом сушіння є основними причинами шкідливого впливу готового продукту на організм людини, високої вартості цукатів та великих затрат на виробництво в цілому.

Універсальна моделююча програма ChemCad дає змогу провести моделювання процесу насичення плодів гарбуза цукром. Результати моделювання дають змогу організувати технологічний процес з мінімально можливими енергозатратами та максимально можливим збереженням поживних речовин в готовому продукті, в якому основним консервантом буде цукор.

Аналіз останніх публікацій. В роботі [1] наведений класичний спосіб виробництва цукатів на прикладі яблучних плодів. Такий спосіб включає: миття, інспекцію, очищення, різання, бланшування 15хв, уварювання плодів до вмісту сухих речовин в сиропі 78 %, відділення сиропу, інспекцію, підсушування, глазурування, основне сушіння до вмісту сухих речовин 83 %, пакування.

Автор [2] відзначає, що втрати β -каротину під час виробництва цукатів знаходяться у діапазоні від 17 до 18% порівняно зі свіжими фруктами. Втрати відбуваються в основному через бланшування, тобто безпосередньо через контакт з теплою та киснем. Для різних сортів моркви та гарбуза [3], каротину втрачається в середньому на 10 % більше у виробництві з бланшуванням, ніж у виробництві без бланшу-

вання. Проте втрати можуть бути зменшені у випадку використання сиропу високої концентрації, оскільки він запобігає впливу кисню під час просочування та зневоднення. Цукор, глазуrowаний на поверхні виробу, також запобігає втраті β -каротину під час зберігання в середовищі кисню (повітря).

Існують напівсухі або сухі способи одержання цукатів [4, 5]. В роботі [4] розглядається спосіб, де сформовані у вигляді кубиків чи циліндрів плоди гарбуза або моркви складають в ємність і засипають цукром, дають відстоятися до рясного виділення соку при кімнатній температурі (10 годин). При цьому ємність з напівфабрикатами знаходиться між мідними пластинами, до яких підведене електромагнітне поле від звукового генератора ЗГ-3. Далі ведуть варіння цукатів при температурі сиропу 60...70°C також в електромагнітному полі звукової частоти 20 кГц і вище протягом 2...3 годин до досягнення вмісту сухих речовин не менш 80% (масових).

Сухий спосіб виробництва цукатів наведений в роботі [5]. Свіжі плоди сушать за температури 40-45°C до вмісту сухих речовин у плодовоовочевій сировині 35-50%. Потім підсушена сировина подрібнюється в дробарці до розміру часток 1,5-2мм. Після здрібнювання цукатова маса надходить у шнековий змішувач, де до неї додають цукрову пудру й інтенсивно перемішують 5-10 хвилин за температури 80°C до повного розчинення цукрової пудри. При цьому цукати одержують з вмістом сухих речовин 80-86%. Отримана суміш надходить у формувальну машину, де її формують у вигляді джгутів, охолоджують до температури 30°C та розрізають на бруски.

В роботі [6] наведений спосіб багаторазового використання цукрового сиропу для насичення плодів цукром. Порізані кусочки бланшують гострою парою протягом 8-15 хв (залежно від розміру кусочків і виду сировини). Готують цукровий сироп і занурюють у киплячий сироп цукати. Потім сироп зціджують, нагрівають і знову заливають ним цукати. Таким чином повторюють 2-3 рази до повного насичення цукатів цукром.

Дуже часто під час виробництва цукатів, плоди фруктів та овочів проходять хімічну обробку антиоксидантами, консервантами, штучними барвниками або підлягають сульфатуванню [7]. Будь яка хімічна обробка негативно впливає на якість та харчову цінність продукту, потребує ретельної перевірки на шкідливість для організму та збільшує матеріальні затрати на виробництво.

З огляду джерел літератури можна зробити висновок, що основним недоліком у виробництві цукатів є перевитрата сиропу, втрата поживних речовин внаслідок бланшування, застосування хімічної обробки сировини. Такі фактори призводять як до зниження якості готового продукту так і до збільшення витрат на виробництво в цілому.

Мета та задачі досліджень. Метою роботи був комплексний підхід до моделювання процесів насичення цукатів в цукровому сиропі, який би дав змогу змоделювати реактор насичення з постійною концентрацією сахарози в сиропі і одночасним збільшенням концентрації сахарози в цукатах за умов ізотермічного режиму.

Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Розробити математичне забезпечення, яке описує стаціонарний режим процесу насичення цукатів в цукровому сиропі з постійною концентрацією сахарози в ньому.
2. Сформулювати комп'ютерну модель Dynamic vessel в ChemCad.
3. Отримати графічні залежності стаціонарного режиму процесу насичення цукатів сахарозою та проаналізувати результат.

Виклад основного матеріалу. Авторами статті було запропоновано технологічну лінію виробництва цукатів на прикладі цукатів з гарбуза (рис.1). За допомогою конвеєрної стрічки 1 сировина завантажується у мийно-калібрувальний комплекс 2. Після очищення від бруду гарбуз потрапляє у машину для видалення насінного гнізда 3, після чого він надходить у машину для різання плодів на кубики 4. Нарізані плоди у реакторі 5 насичуються цукром за температури сиропу 100 °C. Насичені цукром плоди гарбуза завантажують у СВЧ-конвективну сушарку 6.

Готові цукати подають на фасувально-пакувальний автомат 7. Готові порції цукатів потрапляють в упаковки, які герметизуються після цього продукція складається у ящики.

В реакторі 5 за температури 100 °C сироп починає упарюватися. Під час упарювання цукрового сиропу концентрація сахарози в ньому зростає, рівень рідини в реакторі зменшується. В таких умовах проводити процес насичення цукатів недоцільно, тому що, можливе перенасичення цукату цукром, що недопустимо з точки зору смакових якостей та органолептичних властивостей. Також це призводить до недоцільної перевитрати цукру.

Також відомо [8], що інтенсифікації дифузійного процесу насичення цукатів сахарозою сприяють наступні умови проведення насичення:

- 1) Пористі тіла повинні мати ізотропну структуру;
- 2) Суміш частинок має бути монодисперсною;
- 3) Перемішування двофазної системи (пористі частинки – рідина) має бути інтенсивним;
- 4) Об'єм рідини повинен бути значно більшим за об'єм пор твердих частинок, щоби концентрація сахарози залишалась постійною.

1 – конвеєрна стрічка, 2- мийно-калібрувальний комплекс, 3 – машина для видалення насінного гнізда, 4 - машина для різання плодів на кубики, 5 – реактор, 6 - СВЧ-конвективна сушарка, 7 - фасувально-пакувальний автомат.

Рис.1. Технологічна схема виробництва цукатів

Керуючись вищевказаними рекомендаціями, авторами статті змодельовано процес насичення частинок гарбуза коли концентрація сахарози в сиропі та рівень рідини в реакторі не змінювалися. Такий варіант можливий в тому випадку, коли кількість водяної пари, яка виходить з реактора під час упарювання сиропу буде компенсуватися водою, що виділяється з плодів гарбуза під час їх насичення сахарозою. Насичення буде відбуватися рівномірно і кінцевий продукт буде високої якості. За таких умов, єдиним консервантом буде сахароза.

Для моделювання цього процесу необхідно попередньо шляхом аналізу математичного опису знайти умови реалізації ізотермічного режиму, розробити математичне забезпечення для проектування реактора до якого включити: визначення постійного значення концентрації цукру в упареному сиропі в кінці процесу; час тривалості насичення цукатів в умовах стаціонарного режиму; витрату розчину; витрату пари; визначення конструктивних характеристик реактора, тобто діаметр висота та висота рідини; отримання графічних залежностей які б показували сталість концентрації сиропу в часі і об'єму рідини в часі; отримання графічних залежностей зміни концентрації цукру в цукаті до досягнення рівноваги.

Проводимо чисельне моделювання в програмному забезпеченні ChemCad. Для розрахунку вибираємо термічну модель – ізотермічну, де ентальпія розраховується згідно моделі SRK [9], а гідродинамічну модель - модель інтенсивного змішування (бульбашкову).

В умовах інтенсивного змішування, рівняння матеріального балансу для проточного стаціонарного реактора має вигляд:

$$\frac{v}{V}(c_i - c_{io}) - w_i = 0 \quad \text{або} \quad \frac{V}{v} = \tau = \frac{(c_i - c_{io})}{w_i}$$

де V – об'єм реактора, м^3 ; v – продуктивність, $\text{м}^3/\text{с}$; c_i – біжуча концентрація; c_{io} – початкова концентрація; w_i – швидкість зміни концентрації, $1/\text{с}$; τ – час насичення, с .

У стаціонарному режимі концентрація речовини в будь-який момент часу в будь-якій точці реактора є величиною сталою. Це означає, що для цього реактора, згідно обраної моделі, концентрація сахарози в сиропі має бути незмінною. Рівняння матеріального балансу можна використати не тільки для визначення середнього часу насичення τ і розмірів реактора V , але й для розв'язання зворотної задачі: визначення концентрації речовини на виході з реактора для реактора заданого об'єму і для заданої продуктивності процесу.

Комп'ютерна модель ізотермічного реактора з інтенсивним перемішуванням розроблена в універсальній моделюючій системі ChemCad зображена на рис 2.

1 – вхід сиропу; 2 – вихід пари; 3 – вхід плодів гарбуза кубічної форми ребром 10мм; 4 – вихід сиропу; 5 – вихід цукатів.

Рис 2. Комп'ютерна модель Dynamic vessel в ChemCad для стаціонарного режиму.

Для моделювання авторами статті були використані наступні вихідні дані:

тиск в реакторі - 1 атм, температура - 100°C;

потік №1 – концентрація цукру в сиропі 75% (мас.), витрата сиропу – 3.8 кг/хв; потік №2 – витрата плодів гарбуза – 1 кг/хв, концентрація цукру в плодах гарбуза 5% (мас.).

Нижче наведені результати моделювання Dynamic vessel в ChemCad (табл. 1 – 3)

Таблиця 1

Значення результатів моделювання потоків

Потік №	1	2	3		4	5
Температура, °C	100	100	100		100	100
Тиск, атм.	1.0200	1.0009	1.0200		1.0009	1.0009
Ентальпія, МДж / хв.	-33.747	-46.571	-15.117		-2.8793	-19.744
Пара	0.00	1.00	0.00		0.00	0.00
Загальна масова витрата, кг / хв.	3.800	3.500	1.000		0.3500	2.400
Загальна об'ємна витрата чистої пари, м ³ / год.	82.11	261.26	71.11		5.75	39.40
Матеріальний баланс в кг / хв.						
Вода	0.9500	3.500	0.9500		0.0618	0.4237
Цукор	2.850	0.0002	0.0500		0.2882	1.976

Таблиця 2

Конструктивні характеристики реактора

Діаметр, м	0.4000
Довжина циліндра, м	1.0000
Початковий рівень рідини, м	0.4000
Температура, °C	100.000
Витрата пари, кг/хв	3.5000
Розрахований тиск, атм	1.0009
Максимальний рівень рідини, м	0.69221
Об'єм реактора, м ³	0.1424
Об'єм рідини, м ³	0.1087
об'єм пари, м ³	0.0337
Загальна кількість теплоти, МДж	403.5954
Маса максимальної кількості рідини, кг	147.9755
Маса рідини, кг	50.0000
Розрахований максимальний тиск, атм	2.3620

Таблиця 3

**Результати конструктивного та механічного розрахунків реактора
та його складальних одиниць**

Швидкість рідини в реакторі, м/с	0.0785
Мінімальна висота роз'єднання, м	1.2192
Мінімальний рівень води до вхідного отвору, м	0.4572
Компенсатор, м	0.1524
Тиск конструкції, атм	1.2011
Допустима напруга при гідравлічному випробуванні, атм	1021.7108
Тип днища	еліпсоїд
Добавка на корозію, м	0.0032
Густина реактора, кг/м ³	7833.4128
Надбавка у відсотках	20.0000
Внутрішній діаметр, м	0.4572
Швидкість пари, м/с	3.1020
Час напруженості, хв	1.0000
Час утримання, хв	5.0000
Довжина, м.	1.8299
Довжина / діаметр (співвідношення)	4.0023
Товщина обичайки, м	0.0063
Товщина днища, м	0.0063
Маса обичайки, кг	132.5524
Маса днища, кг	36.5853
Загальна маса (порожній), кг	169.1377
Загальний об'єм реактора, м ³	0.3254
Загальна маса (повна), кг	640.6564
Матеріал	високолегована сталь

В результаті моделювання реактора в універсальній моделюючій системі ChemCad, були отримані графічні залежності (рис. 3) зміни концентрації цукру в сиропі (крива 1) та в цукаті (крива 2). Також в результаті моделювання реактора, була отримана графічна залежність (рис. 4) зміни рівня рідини реактора в часі.

Як бачимо з рис. 3, концентрація цукру в сиропі (крива 1) майже не змінюється (становить 0,75 – 0,8 кг сах./кг розч.). Результати представлені протягом 800 хвилин, далі відбувається кристалізація цукру. Концентрація цукру в цукаті (крива 2) зростає та після 700 хв цукат набуває рівноваги з цукровим сиропом. Як видно з рис. 3. (крива 2), у змодельованому реакторі, цукат доцільно витримувати 400-500 хв до досягнення ним концентрації 0,5 кг сах./кг розч. (50 % мас.). Протягом наступного часу, цукат насичується повільніше, води виділяється менше, її випаровування буде збільшене, рівень сиропу в реакторі почне падати.

Рис. 3. Залежність зміни концентрації сахарози в сиропі (крива 1) та в цукаті (крива 2) в часі.

На рис.4. представлена динаміка зміни рівня рідини в часі. Як видно з рис. 4., рівень рідини коливається в межах від 0,45м до 0,55м. Програма ChemCad видає такі результати за рахунок великої точності.

Рис.4. Динаміка зміни рівня рідини в часі.

Як бачимо з графіків, отриманих в результаті вирішення комп'ютерної моделі Dynamic vessel в ChemCad (рис. 2) під час упарювання цукрового сиропу концентрація сахарози та рівень рідини в реакторі не змінюється.

Висновки. Авторами статті на основі чисельної моделі Dynamic vessel визначені основні режимні технологічні параметри процесу насичення частинок гарбуза сахарозою, які дають змогу зберегти органолептичні властивості цукатів, що будуть довго зберігати свої властивості і не пліснявіти. Також за умов стаціонарного ізотермічного режимів насичення зберігається сталою концентрація цукру в сиропі, що дає змогу використання такого сиропу для виробництва інших продуктів харчування. Результати моделювання дають змогу з високою точністю визначити всі параметри вхідних та вихідних потоків, а також конструктивні та механічні параметри реактора насичення та його складальних одиниць. Користуючись графічними залежностями, отриманими в результаті моделювання, з високою точністю можна визначити час насичення цукатів цукром, до концентрації, заданої технологічним регламентом.

Література

1. Спосіб виробництва яблучних цукатів. Малежик І. Ф., Дубковецький І. В., Бандуренко Г. М., Стрельченко Л. В. Деклараційний патент на корисну модель №103371. Україна. А23В 7/02 (2006.01), А23В 7/08 (2006.01). Опубл. 10.12.2015. Бюл. № 23.
2. V. Chavasit. Changes in b-Carotene and Vitamin A Contents of Vitamin A-rich Foods in Thailand During Preservation and Storage. [Text] / V. Chavasit, R. Pisaphab, P. SungpuagU, S. Jittinandana, E. Wasantwisut. // Vol. 67, Nr. 1, 2002—Journal of food science – 375 – 379.
3. Степанова Н.Ю. Технологическая оценка производства цукатов из моркови, свёклы и тыквы [Текст] / Н.Ю. Степанова // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – № 2. – С. 175-176.
4. Спосіб виробництва цукатів з гарбуза та моркви. Захаренко В. О., Нepochатих Т. А. Деклараційний патент на винахід № 2002107839 Україна А23L 1/064 (2006.01) А23G 3/48 (2006.01) А23G 3/50 (2006.01) Опубл. 16.06.2003, бюл. №6. 7.
5. Спосіб одержання цукатів. Черевко О. І., Михайлов В. М., Маяк В. І. Деклараційний патент на корисну модель № 6435. Україна. А23L 1/06 (2006.01), А23L 1/064 (2006.01), А23L 1/22 (2006.01). Опубл. 16.05.2005. Бюл. № 5.
6. G.S.H. Baccus-Taylor . Studies on pomerac (syzygium malaccense) candied fruit slices [Text] / G.S.H. Baccus-Taylor, P.D.-A. Frederick, J.O. Akingbala // ISHS Acta Horticulturae 806: International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development – 2016 – Article number 806_36 – P. 293-300.
7. Райхель Н.З. Способы производства цукатов [Текст] / Н.З. Райхель, Н.В. Алексеева, Г.З. Джайшибеков, Ж.Н. Кайпова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 2-2. – С. 168-171
8. V. Atamanyuk. Study of diffusion processes in pumpkin particles during candied fruits production [Текст] / V. Atamanyuk, I. Huzova, Z. Gnativ // Харчова наука і технологія – Volume 11 Issue 4/ 2017 – С. 21 – 28.
9. Neau E. The Soave, Twu and Boston–Mathias alpha functions in cubic equations of state. P. II. Modeling of thermodynamic properties of pure compounds [Text] / E. Neau, O. Hernandez-Garduza // Fluid phase equilibria. – 2009. – V. 276. – P. 156–164.

References

1. Sposib vyrobnystva yabluchnykh tsukativ. Malezhyk I. F., Dubkovets'kyi I. V., Bandurenko H. M., Strel'chenko L. V. Ukraina. №103371. 2015.
2. V. Chavasit, R. Pisaphab, P. SungpuagU, S. Jittinandana, E. Wasantwisut. (2002). Changes in b-Carotene and Vitamin A Contents of Vitamin A-rich Foods in Thailand During Preservation and Storage. Journal of food science Vol. 67. 375 – 379.
3. Stepanova N.YU. (2015). Tekhnologicheskaya otsenka proizvodstva tsukatov iz morkovi, svokly i tykvy. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv № 2. 175-176.
4. Sposib vyrobnystva tsukativ z harbuza ta morkvy. Zakharenko V. O., Nepochatykh T. A. Ukraina. № 2002107839. 2003.
5. Sposib oderzhannya tsukativ. Cherevko O. I., Mykhaylov V. M. , Mayak V. I. Ukraina. № 6435. 2005.

6. Baccus-Taylor G, Frederick P, Akingbala J. (2016) Studies on pomarac (*syzygium malaccense*) candied fruit slices. *ISHS Acta Horticulturae 806: International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development*. 293-300.
7. N.Z. Raykhel', N.V. Alekseyeva, G.Z. Dzhayshibekov, ZH.N. Kaypova (2017). Sposoby proizvodstva tsukатов. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* № 2-2. 168-171.
8. V. Atamanyuk, I. Huzova, Z. Gnativ (2017). Study of diffusion processes in pumpkin particles during candied fruits production. *Food Science and Technology*. 11(4). 21 – 28.
9. E. Neau, O. Hernandez-Garduza. (2009). The Soave, Twu and Boston–Mathias alpha functions in cubic equations of state. P. II. Modeling of thermodynamic properties of pure compounds. *Fluid phase equilibria*. V. 276. 156–164.

Отримано в редакцію 04.05.2018
Прийнято до друку 26.06.2018

Received 04.05.2018
Approved 26.06.2018

УДК 66.061

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1007>

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ БУЛЬБАШОК СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ У АПАРАТІ З ПНЕВМАТИЧНИМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ

Данилюк О. М. аспірант, Атаманюк В. М. д.т.н., професор, Гумницький Я. М. д.т.н., професор
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Анотація. Проведено огляд і аналіз літературних джерел, які відображають основні результати та напрямки досліджень процесу розчинення під час пневматичного перемішування. Вони показують, які проблемні напрями науки потребують детальніших досліджень. Обґрунтовано вибір методу розчинення під час пневматичного перемішування розчину. Розглянуто переваги даного методу. До переваг використання пневматичного перемішування належить рівномірний та інтенсивний масообмін між твердою фазою та рідиною. Використання стисненого повітря для перемішування спрощує внутрішню конструкцію апарату. Завдяки цьому також виключається забруднення розчину продуктами корозії чи ерозії перемішувальних пристроїв. Описано процес утворення окремої бульбашки у рідкому середовищі з певної глибини під час повільного витікання повітря у рідину із отвору з гострими кромками.

Експериментально досліджено процес руху бульбашки стисненого повітря у водному розчині бензойної кислоти в апараті для розчинення під час пневматичного перемішування. Описано процес утворення бульбашок в умовах квазістатичного режиму диспергування стисненим повітрям розчину. Визначено відривний розмір бульбашок повітря з отворів барботеру. Розраховані швидкість спливання бульбашок повітря в апараті та частота їх утворення з отворів барботеру. Розраховано фіктивні швидкості руху бульбашок стисненого повітря в апараті за різних витрат повітря. Наведено результати розрахунків дисипації енергії в апараті для розчинення бензойної кислоти. Визначені параметри руху бульбашки стисненого повітря узагальнені у вигляді таблиці та графіка. Визначено оптимальні значення витрати повітря та час, за яких доцільно здійснювати процес розчинення під час пневматичного перемішування.

Ключові слова: рух бульбашок, розчинення, пневматичне перемішування, енергія, барботер.

SIMULATION OF THE MOVEMENT OF COMPRESSED AIR BUBBLES IN THE APPARATUS WITH PNEUMATIC MIXING

Danyliuk O. M. postgraduate student; Atamanuk V. M. Doctor of Technical Sciences,
Gumnitsky J. M. Doctor of Technical Sciences
National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine

Abstract. This article reviews and analyzes literary sources, which reflect the main results and directions of research of the dissolution process during pneumatic mixing. They show which problem areas of science require more detailed research. The choice of the method of dissolution during the pneumatic mixing of the solution is substantiated. The advantages of this method are considered. The advantages of using a pneumatic mixing system include the uniform and intensive mass transfer between the solid phase and the liquid. The use of compressed air for mixing simplifies the internal design of the machine. This also eliminates the pollution of the solution by products of corrosion or erosion of mixing devices. The process of formation of a separate bubble in a liquid medium from a certain depth during the slow flow of air into a liquid from a hole with sharp edges is described.

The process of bubble movement of compressed air in an aqueous solution of benzoic acid, in the apparatus for dissolution during pneumatic mixing is experimentally investigated. The process of formation of bubbles is described in the conditions of the quasi-static regime of dispersion with compressed air of a solution.