

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

XVII Міжнародної наукової конференції
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТА
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

3-8 вересня 2018 р.



**ОДЕСА
2018**

Публікуються доповіді, представлені на XVII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (3 – 8 вересня 2018 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров <i>Богдан Вікторович</i>	– голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
Бурдо <i>Олег Григорович</i>	– вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
Атаманюк <i>Володимир Михайлович</i>	– Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
Васильєв <i>Леонард Леонідович</i>	– Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
Гавва <i>Олександр Миколайович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Гумницький <i>Ярослав Михайлович</i>	– Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
Долинський <i>Анатолій Андрійович</i>	– Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
Зав’ялов <i>Владимир Леонідович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Сукманов <i>Валерій Олександрович</i>	– Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
Колтун <i>Павло Семенович</i>	– Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
Корнієнко <i>Ярослав Микитович</i>	– Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
Малежик <i>Іван Федорович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Михайлов <i>Валерій Михайлович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
Паламарчук <i>Ігор Павлович</i>	– Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
Снежкін <i>Юрій Федорович</i>	– Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України
Сорока <i>Петро Гнатович</i>	– Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
Тасімов <i>Юрій Миколайович</i>	– Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
Товажнянський <i>Леонід Леонідович</i>	– Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
Ткаченко <i>Станіслав Йосифович</i>	– Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
Черевко <i>Олександр Іванович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
Шит <i>Михайл Львович</i>	– Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.
Сухий <i>Константин Михайлович</i>	– ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», д. хім. н., професор

СЕКЦІЯ 2.

**МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ
ПЕРЕНОСУ.
ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ І СИСТЕМ**

зависимости от типа кавитационного устройства. В рамках этой концепции проводится разработка и совершенствование математической модели, которая с учетом определяющих факторов и адекватным представлением теплофизических системных параметров обеспечит возможность оценивать и контролировать уровень воздействия на жидкие дисперсные системы, в зависимости от конструктивных и режимных параметров кавитационных реакторов. Данная работа рассматривается как начальный этап в направлении обоснования рациональных конструкций и оптимальных режимов работы кавитирующих устройств при решении различных технологических задач.

Литература

1. Ashokkumar M., Krasulya O., Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel // Appl. Phys. Research.–2012. –Vol.4, No.1.–pp.19–29.
2. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико- технологических процессах.- М.: Химия, 1983.–191 с.
3. Parag R. Gogate P.R. Hydrodynamic Cavitation for Food and Water Processing //Food Bioprocess Technol.–2011. –Vol.4, No.6, pp 996–1011.
4. Rooze, J. Cavitation in gas-saturated liquids. –Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven –2012.–120 pp. DOI:10.6100/IR732583
5. Arrojo S., Benito Y.A theoretical study of hydrodynamic cavitation. Ultrasonics Sonochemistry, 2008. –Vol.15, No3. –pp.203–211.
6. Ivanitsky G.K., Avdeyeva L. Y., Makarenko A. A. Using the effects of hydrodynamic cavitation for purposeful dynamical action on the supramolecular structures. // Physics of Aerodisperse systems. – 2016.–№ 53. –pp. 142–151.
7. Іваницький Г.К., Чайка О.І., Гоженко Л.П. Застосування кавітаційного реактора пульсаційного типу для екстрагування з рослинної сировини // Наук.і праці ОНАХТ.2015. –вип..47, Т.2. С.138–142.
8. Іваницький Г.К., Недбайло А.Е. Аналитическое исследование кавитации в рабочем колесе центробежных насосов. //Пром. теплотехника. –2011. –Т.34, №2. –С.40-47.
9. Долинский А.А., Іваницький Г.К. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. –Киев: Наук. думка, 2008. –381 с.
10. Анисимов В.В. Ермаков П. П. Классификация способов создания кавитации // Наукові праці ОНАХТ.– 2012.вип. 41, Т.1. –С.30–35.
11. Іваницький Г.К. Численное исследование поведения пузырькового кластера в процессах гидродинамической кавитации. // Наукові праці ОНАХТ.–2017.–Т.81, вип.1, С.114–120.

УДК 66.061

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У АПАРАТІ З ПНЕВМАТИЧНИМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ

О. М. Данилюк¹, В. М. Атаманюк, Я. М. Гумницький
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

MODELING OF HYDRODYNAMIC PROCESSES IN PNEUMATIC MIXING APPARATUS

O. M. Danyliuk¹, V. M. Atamanuk, J. M. Gumnitsky
National University "Lvivska Politekhnik", Lviv

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.

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.

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 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. Determined tear-off size of air bubbles from the bubbler apertures. The velocity of air bubbles in the apparatus is calculated and the frequency of their formation from the bubbler apertures. The fictitious velocities of bubbles of compressed air in the apparatus for different air flows are calculated. The calculations results of dissipation of energy in the apparatus for dissolution of benzoic acid are presented. The specified parameters of the bubble movement of compressed air are summarized in the form of a table and a graph. The optimal values of air flow and the time during which it is expedient to carry out the dissolution process during pneumatic mixing are determined.

Key words: bubble movement, dissolution, pneumatic mixing, energy, bubbler.

Вступ. Процес розчинення належить до одного із найбільш поширених масообмінних процесів. Проведені дослідження належать, в основному, до питань харчової, хімічної та фармацевтичної промисловостей. Розчинення твердих речовин у промисловості реалізується різними методами: в апараті з механічним або пневматичним перемішуванням, в апаратах із псевдозрідженим шаром зернистого матеріалу, перемішування струменем рідини або повітря, у шнекових апаратах та апаратах з рухомим та нерухомим шаром твердої фази [1].

Особливої уваги заслуговують перемішувачі пристрої з підведенням енергії стисненим газом. Одним із шляхів підвищення надійності технічних об'єктів є спрощення їх конструкції. Максимального спрощення конструкції можна досягти лише у випадку, коли безпосередньо носій кінетичної енергії буде наділений функціями виконавчого органу. На даний час апарати із пневматичним перемішуванням не набули широкого використання, проте, вони характеризуються рядом переваг, порівняно із механічними мішалками. У апаратах з пневматичним перемішуванням спрощена внутрішня конструкція, оскільки у них відсутні перемішувачі пристрої, які піддаються впливу механічної та хімічної ерозій. Продукти ерозії та корозії перемішувачів пристроїв додатково забруднюють цільовий продукт розчинення. До переваг використання пневматичного перемішування відноситься також рівномірний та інтенсивний масообмін між твердою фазою та рідиною. Однією із найважливіших характеристик процесу перемішування є енергія, що вводиться в апарат для здійснення процесу. Тому, дослідження умов формування бульбашок, закономірностей їх руху в апараті, розрахунок оптимальної енергії, яка необхідна для розчинення бензойної кислоти під час пневматичного перемішування розчину, є актуальними завданнями, які потребують подальшого дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження роботи апаратів з пневматичним перемішуванням безпосередньо пов'язане із дослідженням руху бульбашок стисненого газу у середовищі, що перемішується. Згідно із даними досліджень [2], процес виходу стиснутого повітря через отвори кільцевого напірного трубопроводу супроводжується формуванням струменя, який у процесі руху подрібнюється на окремі бульбашки різного об'єму, що піднімаються у висхідному напрямку. Дослідження бульбашкового процесу, як початкового, в установці для розчинення під час пневматичного перемішування дає змогу сформулювати достовірну базу для подальшого теоретичного дослідження та моделювання структури і режиму руху, що формується всередині апарату, та є основою для дослідження динаміки газорідних сумішей.

У квазістатичному режимі над отвором періодично утворюються бульбашки однакового розміру, що спливають з однією і тією ж швидкістю на однаковій відстані один від одного. Збільшення швидкості газового потоку приводить до зростання частоти утворення газових бульбашок. Їх розміри і швидкість спливання залишаються незмінними, зменшується лише відстань між ними. Подальше зростання швидкості газового потоку приводить до такого режиму утворення бульбашок, коли вони, стикаючись, рухаються ланцюжком або у струменовому режимі.

Авторами [3-4] встановлено, що на бульбашки газу, які спливають у рідині, діють підйомна сила, викликана градієнтом тиску в напрямку руху бульбашки, сила опору рідини, що оточує бульбашку, та сила поверхневого натягу. Дані дослідження описують умови піднімання бульбашки в рідині у вертикальній площині. У [5] наведені результати вимірювання руху повітряної бульбашки у пульсуючій рідині для процесу коливальної флотації. Встановлено залежність абсолютних та відносних швидкостей розростання бульбашок від параметрів пульсації рідини. У роботі [6] проведений комплекс експериментальних та теоретичних досліджень, який дозволив дослідити вплив ряду параметрів (вхідний діаметр, кут нахилу твірної та висота кінцевого корпусу забірної пристрою; глибина добування та довжина транспортуючого трубопроводу; тиск подачі повітря; діаметр та кут встановлення сопел) на продуктивність пневматичного забірної пристрою для добування сапропелевих сумішей. Також розроблено математичну модель руху повітряної бульбашки у в'язкій

рідині [7], яка дозволяє обґрунтувати раціональні межі кута нахилу твірної та висоти конічного корпусу забірної пристрою. Дослідженню розчинення одинарних частинок та розчинення у стаціонарному шарі приділено чимало уваги різними дослідниками, наприклад, у роботах [8-9]. У роботах [10, 11] розглянуто процес фізичного розчинення полідисперсної суміші бензойної кислоти в потоці газу та рідини, а також на основі теорії ізотропної турбулентності визначено теоретичний коефіцієнт масовіддачі.

Експериментальні дослідження та обговорення результатів. Аналіз характеристик руху бульбашок стисненого повітря у рідкому середовищі проводили на лабораторній установці, схема і принцип роботи якої представлені у [12]. Дослідження проводили в умовах квазістатичного режиму, який спостерігається за невеликих швидкостей руху повітря, коли можна не враховувати інерцію взаємодіючих середовищ. У цьому режимі об'єм бульбашки в момент відриву не залежить від витрати стисненого повітря, у той же час частота їх утворення зростає пропорційно до витрати повітря. Вважаємо, що повітряний потік складається із окремих бульбашок кулястої форми. Розглянемо процес утворення окремої бульбашки з відривним розміром δ і об'ємом V , у рідкому середовищі з глибини H під час повільного витікання повітря у рідину із отвору з гострими кромками (рис.1).

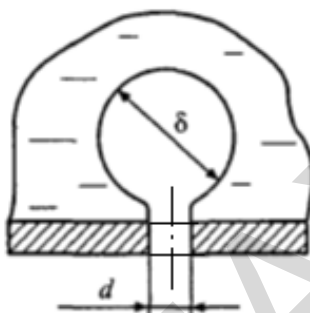


Рис.1 Схема відриву бульбашки

Для квазістатичного процесу умови відриву бульбашки можна представити як рівновагу сил поверхневого натягу, що утримують бульбашку по периметру отвору, і рівнодійної сил ваги повітря та Архімеда, що відривають бульбашку.

Умову рівноваги запишемо у вигляді:

$$\frac{\pi \delta^3}{6} \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g = \pi \cdot d \cdot \sigma,$$

звідки, після введення коригуючого коефіцієнта η_σ , що враховує спрощення моделі і відхилення форми бульбашки від сферичної в момент відриву, отримаємо:

$$\delta = \sqrt[3]{\eta_\sigma \cdot \frac{6 \cdot d \cdot \sigma}{g \cdot (\rho_1 - \rho_2)}}, \quad (1)$$

де δ – відривний діаметр бульбашки, м; d – діаметр отвору, м; ρ_1, ρ_2 – густина рідини та повітря, кг/м^3 ; $\sigma=0,0732 \text{ Н/м}$ – поверхневий натяг води за температури 16°C .

Величина корелюючого коефіцієнта η_σ знаходиться у межах 0,6–1,0 і для газів $\eta_\sigma \approx 0,89$ [13].

Відповідно до формули Бернуллі, тиск повітря в бульбашці P становить:

$$P = p_a + \rho_1 \cdot g \cdot H + \frac{\rho_2 \cdot \omega^2}{2} \quad (2)$$

де p_a – атмосферний тиск, Па; ω – швидкість руху бульбашки, м/с.

Останнім членом рівняння (2) можна знехтувати, оскільки у момент відриву $\omega = 0$. Тоді, рівняння запишеться у вигляді:

$$P = p_a + \rho_1 \cdot g \cdot H \quad (3)$$

Температура стисненого повітря у дослідженнях, яке формує бульбашку, має значення $t \approx 16^\circ\text{C}$ ($T \approx 289 \text{ K}$). Густина повітря за тиску $P=98,1 \text{ кПа}$, і даній температурі $\rho_2=1,16 \text{ кг/м}^3$.

Враховуючи рівняння (1) – (3), відривний розмір бульбашки повітря становитиме: $\delta = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Залежно від об'ємної витрати повітря, частота відриву бульбашок від кромки отвору за одиницю часу, буде:

$$n = \frac{6 \cdot Q}{z \cdot \pi \cdot \delta^3}, 1/\text{с}, \quad (4)$$

де Q – об'ємна витрата повітря, $\text{м}^3/\text{с}$; $z = 560$ – кількість отворів перфорованої перегородки барботера у експериментальній установці.

Позначимо через ω_c середню швидкість спливання бульбашки. Для визначення швидкості спливання бульбашки використаємо рівняння за умови $\rho_1 \gg \rho_2$, яке наведено у [14]:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 5 \cdot g}{3 \cdot C}} \quad (5)$$

де C – коефіцієнт опору середовища.

Для визначення коефіцієнта опору середовища C згідно з критеріями Вебера $We > 1$ і Рейнольдса $Re > 600$ можна використати залежність Хармонті, що справедлива у області критерія Бонда $Bo < 13$:

$$C = 0,568 \cdot \sqrt{Bo}, \quad Bo = \frac{g \cdot \delta^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2)}{\sigma} \quad (6)$$

де

Для умов проведення експерименту число Бонда $Bo = 1,57$; а коефіцієнт $C = 0,71$.

Із залежності (5) швидкість спливання бульбашки становить: $\omega_c = 0,23$ м/с.

Тоді, критерій Рейнольдса $Re = \frac{\omega_c \cdot \rho_1 \cdot \delta}{\mu} = 711$; критерій Вебера $We = \frac{\omega_c^2 \cdot \rho_1 \cdot \delta}{\sigma} = 1,8$. Тобто, умова використання залежності Хармонті виконується.

Енергія введеного газу передається рідині та зумовлює її турбулентні переміщення. Ця енергія від великих масштабів турбулентності переходить до малих масштабів та у кінцевому результаті дисипується у даному об'ємі розчину.

Результати розрахунків дисипації енергії, яка вводиться у апарат для розчинення бензойної кислоти під час пневматичного перемішування в умовах квазістатичного руху бульбашок повітря [15] наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати розрахунку дисипації енергії в об'ємі апарату

Об'ємна витрата газу $Q \cdot 10^{-5}$, м ³ /с	Час дослідів $\tau \cdot 10^{-2}$, с	Швидкість витікання ω , м/с	Фіктивна швидкість ω_0 , м/с	Питома енергія дисипації ϵ_0 , Вт/кг
67	78	1,51	0,04	0,40
89	72	2,02	0,05	0,51
111	66	2,53	0,06	0,62
133	57	3,03	0,07	0,74
156	51	3,55	0,08	0,86

Дисипацію енергії визначаємо через потужність N_n , яка вводиться в апарат з газовою фазою і дорівнює кінетичній та потенціальній енергії повітря:

$$N_n = \left(p_a + \rho_1 \cdot g \cdot H + \frac{\rho_2 \cdot \omega_0^2}{2} \right) \cdot Q \quad (7)$$

Оскільки $\rho \gg \rho_1 g H$, то знехтуємо зміною густини повітря. Тоді, потужність, яка виходить з апарату разом із повітрям:

$$N_k = \left(p_a + \frac{\rho_2 \cdot \omega_0^2}{2} \right) \cdot Q \quad (8)$$

Дисипацію енергії в апараті визначимо із рівняння:

$$\epsilon_0 = \frac{N_n - N_k}{H \cdot \rho_1 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \omega_0 \cdot g + \frac{\rho_2 \cdot \omega_0}{2 \cdot \rho_1 \cdot H} \cdot (\omega^2 - \omega_c^2), \quad (9)$$

де $\omega_0 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2}$ – фіктивна швидкість газу, м/с; d – діаметр апарату, м. ω_c – швидкість спливання бульбашки, м/с; ω – швидкість витікання повітря крізь отвори перфорованої перегородки, м/с.

Фіктивна швидкість руху повітря, яке подається крізь отвори барботера в рідке середовище апарату, буде рівна:

$$\omega_0 = \frac{Q}{z \cdot S}, \quad (10)$$

де S – площа перерізу отвору, м².

Для визначення оптимального значення витрати повітря, за якої доцільно здійснювати процес розчинення під час пневматичного перемішування, на основі таблиці 1, побудовано графік залежності розподілу енергії в апараті від витрати стиснутого повітря і тривалості процесу.

ϵ_0 , Вт/кг $\tau \cdot 10^{-2}$, с

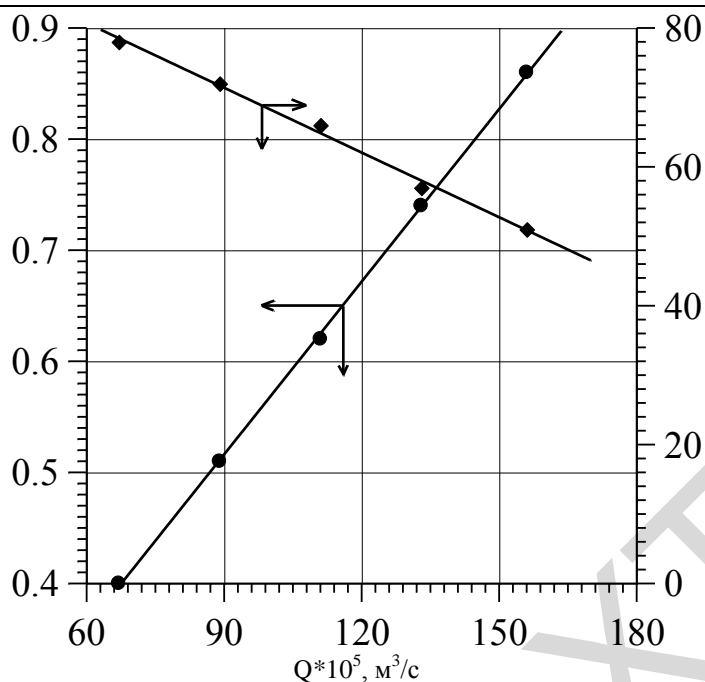


Рис.2. Залежність розподілу енергії в апараті від витрати стиснутого повітря і тривалості процесу до досягнення концентрації насичення.

■ – тривалість процесу, с; ● – зміна енергії в апараті, Вт/кг

Аналіз графічної залежності, наведеної на рис.2 дає змогу встановити оптимальну витрату стиснутого повітря, за якої доцільно проводити процес розчинення під час пневматичного перемішування розчину. Такою витратою у заданому гідродинамічному режимі є $136 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$, що відповідає введеній енергії у кількості **0,75** Вт/кг.

Висновки

1. Експериментально досліджено процес руху бульбашки стисненого повітря у водному розчині, в апараті для розчинення під час пневматичного перемішування.
2. Описано процес утворення бульбашок в умовах квазістатичного режиму диспергування стисненого повітря в розчин.
3. Визначено відривний розмір бульбашок повітря з отворів барботеру та розраховано їх швидкість.
4. Визначено розподіл енергії в апараті для розчинення під час пневматичного перемішування рідини в межах квазістатичного режиму руху за різних витрат повітря.
5. Знайдено оптимальну витрату стиснутого повітря для здійснення процесу розчинення бензойної кислоти під час пневматичного перемішування.

Список літератури:

1. Бабенко Ю. Влияние нестационарных эффектов на скорость растворения одиночной частицы / Ю. Бабенко, Е. Иванов // Теор. основы хим. Технологии. – 2013. – Т. 47, № 6. – С. 624–629.
2. Цизь І. Дослідження руху повітряного потоку у в'язких рідинах / І. Цизь, С. Хомич, Р. Трохимчук // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. статей. Вип. 29–30. Луцьк: Ред.вид., відділ ЛНТУ. – 2014. – С. 153–162.
3. Островский Г. Прикладная механика неоднородных сред / Г. Островский // М.: Наука. – 2000. – 359 с.
4. Папаяни Ф. Энциклопедия эрлифтов / Ф. Папаяни, А. Кононенко, Л. Козыряцкий // Информсвязьиздат. Донецк, Москва. –1995. – 598 с.
5. Krasnov G. Air bubble movement in pulsating liquid / G. Krasnov // Journal of Mining Science. Vol. 42, No. 5. – 2006. – P. 500–505.
6. Tsiz' I. Experimental research of working process of pneumatic intake device for sapropel extraction / I. Tsiz', S. Homich // INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 40, No. 2. – 2013. – p. 67-72.
7. Хомич С. Моделювання процесу руху бульбашки повітря у середовищі сапропелю / С. Хомич // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград: КНТУ. – 2012. – Вип. 42, Ч.2. – С.147–152.
8. Мелихов И. Растворение полидисперсной твердой фазы в плотном слое / И. Мелихов, Б. Долгоносков, Г. Еленин, Н. Соснин // Теор. основы хим. Технологии. –1989. – Т. 23, №1. – С.101-104.

9. Симак Д. Нестационарный процесс розчинения шару зернистого матеріалу / Д. Симак, О. Люта // Хімія, технологія речовин та їх застосування. Л.: Видавництво Нац. ун-ту "Львів. Політехніка", №812. – 2015. – С.308–312.
10. Symak D. Investigation of physical dissolution of benzoic acid polydisperse mixture / D. Symak, J. Gumnitsky, V. Atamaniuk, O. Nagursky // Chemistry and Chemical Technology. Volume 11, Issue 4. – 2017.– Pp. 469-474.
11. Symak, D. Analysis of dissolution kinetics based on the local isotropic turbulence theory / D. Symak, V. Atamanyuk, Y. Gumnitsky // Chemistry and Chemical Technology. Volume 9, Issue 4. – 2015.– Pp. 493-496.
12. Данилюк О. Дослідження закономірностей процесу розчинення полідисперсних частинок бензойної кислоти під час пневматичного перемішування / О. Данилюк, В. Атаманюк, Я. Гумницький, М. Бачик // Інтегровані технології та енергозбереження. В.4. – 2017. – С.36–40.
13. Кириченко Ю. Гидродинамика и теплообмен в криогенных системах / Ю. Кириченко, Н. Щербакова // Киев. Наук.Думка. – 1977. – С.44-50.
14. Островський Г. Прикладная механика неоднородных сред / Г. Островський // СПб, Наука. – 2000. – С. 182.
15. Островський Г. Прикладная механика неоднородных сред / Г. Островський // СПб, Наука. – 2000. – С. 338-339.

УДК 621.3.036:664.87

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УВАРЮВАННЯ СОКУ ТА ЙОГО ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Маяк О.А. канд. техн. наук, доцент, Сардаров А.М. мол. наук. спів.,
Костенко С.М. ст. викладач, Гриценко О.Ю. інженер
Шершньов Г.Г. студент
Харківський державний університет харчування та торгівлі

INVESTIGATION OF THE INJECTION PROCESS AND ITS SIMULATION MODELING

Mayak O.A. Cand. tech Sciences, associate professor, Sardarov A.M. j. sciences w.,
Kostenko SM Art. teacher, Gritsenko O.Yu. engineer
Shershnov G.G. student
Kharkiv State University of Nutrition and Trade

Анотація. У роботі проведено імітаційне моделювання процесу уварювання овочевого соку за використання програмного комплексу Vensim, що реалізує системно-динамічну технологію потокового типу. Використання системно-динамічного моделювання уможливорює повну та якісну оцінку впливу таких факторів, як коефіцієнт паронагрівання, коефіцієнт уварювання, на характер та значення вихідної функції, тобто реалізацію концентрату.

Доказана ефективність використання пристрою для перемішування та нагрівання в'язких харчових продуктів, що має просту та надійну конструкцію, а також сприяє скороченню тривалості процесу переробки продукту та підвищення якості готового продукту за рахунок більш якісного перемішування та інтенсифікації процесу теплообміну, за рахунок використання спіральної металевої трубчастої конструкції для підведення теплоносія, що сприяє збільшенню площі контакту продукту з нагрівальними елементами.

Скребки розміщені на спіралі таким чином, що під час руху перекривають один одного. При обертанні мішалки скребки просуваються біля поверхні теплообмінної стінки апарату, утворюючи гвинтову поверхню, що сприяє турбулізації пристінного ламінарного шару продукту, це запобігає його прилипанню, усуває застійні зони внаслідок чого, відбувається вирівнювання температур і рівномірне протікання процесу.

Використання в апараті розробленого пристрою для перемішування та нагрівання в'язких харчових продуктів призводить до збільшення виходу продукту на 33 %, за рахунок збільшення площі нагріву, що призводить до скорочення терміну виходу на робочий режим. Експериментування з імітаційними моделями процесів теплової обробки надає системне підґрунтя для інтенсифікації та оптимізації процесів та обладнання харчових виробництв.

Abstract. The simulation modeling of vegetable juice boiling process using the software complex Vensim that implements system-dynamic technology of stream type is carried out in the work. The use of system dynamical

МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКТОРА НАСИЧЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЦУКАТІВ	
Гузьова І.О., Атаманюк В.М.	78
УНИФИЦІРОВАННИЙ ПОДХОД К МОДЕЛІРОВАНИЮ КАВИТАЦІОННИХ РЕАКТОРОВ	
Иваницкий Г.К., Недбайло А.Е., Коник А.В., Целень Б.Я., Гоженко Л.П.	84
МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У АПАРАТІ З ПНЕВМАТИЧНИМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ	
Данилюк О. М., Атаманюк В.М., Гумницький Я.М.	89
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УВАРЮВАННЯ СОКУ ТА ЙОГО ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	
Маяк О.А., Сардаров А.М., Костенко С.М., Гриценко О.Ю., Шершньов Г.Г.	94
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКИ И ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ БИОМАССЫ	
Сороковая Н.Н., Коринчук Д.Н.	99

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ АДСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ГЕЛПОУСТАНОВОК	
Беляновська О.А., Пустовой Г. М., Суха І.В., Губинський М.В., Литовченко Р.Д., Сухий К.М.	106
ЗАСТОСУВАННЯ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ВИЛУЧЕННІ БІЛКІВ ЗІ СТІЧНИХ ВОД ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ	
Сабадаш В.В., Гумницький Я.М.	111
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ІЗ ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ	
Пазюк В.М.	116
ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСА ТЕПЛООБМЕНА СОЛНЕЧНОЇ УСТАНОВКИ	
Селихов Ю.А., Коцаренко В.А.	120
ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК У ПРОЦЕСАХ КОМПОСТУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СКЛАДОВОЇ ТВЕРДИХ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ	
Крусір Г.В., Сагдєєва О.А., Чернишова О.О., Мадані М.М., Гаркович О.Л.	125
ПРО ЗБЕРЕЖЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ТА ЗАОЩАДЖЕННЯ РЕСУРСІВ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ТОМАТІВ	
Гаврилов О.В.	131
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РЕЖИМИ РОБОТИ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ КОМПЛЕКСУ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙНОГО БІОПАЛИВА	
Коринчук Д. М., Снєжкін Ю.Ф., Бунецький В. О.	134
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ УТИЛІЗАЦІЇ-МОДИФІКАЦІЇ ПОЛІМЕРНОЇ ТАРИ ТА ПАКУВАННЯ	
Бухкало С.І.	140
ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ РІЗНОГО ТИПУ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННИХ КОМПЛЕКСІВ	
Ощипок І.М.	143

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ, ФАРМАЦЕВТИЧНИХ, ХІМІЧНИХ ТА ПАРФУМЕРНИХ ВИРОБНИЦТВ

АНАЛІЗ СИРОВИНИ, ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ	
Потапов В.О., Євлаш В.В., Педорич І.П.	149
ІНФРАЧЕРВОНЕ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВІБРОХВИЛЬОВИМ КОНВЕСРОМ. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ	
Паламарчук І.П., Кюрчев С.В., Верхованцева В.О.	153
РАЦІОНАЛЬНЕ КОМПОНУВАННЯ ФАЗНИХ РОЗДІЛЮВАЧІВ З МОДУЛЬНИМИ СЕПАРАЦІЙНИМИ ПРИСТРОЯМИ	