

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**



ОДЕСА

2017

Публікуються доповіді, представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (4 – 8 вересня 2017 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

О.Г. Бурдо

Ю.О. Левтринська

Е.Ю. Ананійчук

О.В. Катасонов

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

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

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА З РІДКИМ РЕАГЕНТОМ

Гумницький Я.М. д-р техн. наук, професор, Атаманюк В.М. д-р техн. наук,
професор, Симак Д.М. канд. техн. наук, Данилюк О.М. аспірант
Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів

STUDY OF THERMAL EXCHANGE PROCESSES AT THE TIME OF THE INTERACTION OF SOLID LIQUID LIQUID REAGENT

Gumnitsky Y.M., DSc., professor, Atamaniuk V.M., DSc., professor,
Symak D.M., PhD, Danyliuk O.M., graduate student
National University "Lviv Politechnika"

Анотація: Розглядається взаємодія твердого тіла з рідким реагентом, що супроводжується значним тепловим ефектом. Тепло хімічної взаємодії виділяється на поверхні розділу фаз і поширюється теплопровідністю у твердому тілі та конвективним теплообміном у рідині. Теоретично визначено температури поверхні твердого тіла, розподіл температур у рідині та твердому тілі, визначено характеристики потоків теплоти до твердої фази та до рідини. Встановлено аналогію між процесом масовіддачі та процесом тепловіддачі. В області значень концентрації нітратної кислоти визначено значення коефіцієнта масовіддачі для різних значень концентрацій. Проаналізовано вплив утворення бульбашок на пограничний дифузійний шар рідини. Досліджено, що зародження, ріст та відрив бульбашок газу від поверхні твердого тіла безпосередньо діє на пограничний дифузійний шар рідини, викликаючи його переміщення, а під час відриву бульбашок зумовлюючи його руйнування. Встановлено також, що відрив бульбашок від поверхні сприяє підведенню свіжого реагента з об'єму рідини замість рідини на поверхні частинки, концентрація якої наближається до нуля. Створено умови, за яких зростання концентрацій збільшує утворення бульбашок, що приводить до зростання коефіцієнта масовіддачі. Аналогічна картина спостерігалася під час кипіння рідини, коли збільшення пароутворення викликає зростання коефіцієнта тепловіддачі. Наведено математичну модель процесу тепло-масообміну під час цієї взаємодії. Основу моделі складає диференціальне рівняння теплопровідності з відповідними початковими та граничними умовами. З метою представлення результатів розрахунків у безрозмірній формі введено параметр, що має розмірність температури. Визначено розподіл температур у твердому тілі та на поверхні взаємодії. Температура поверхні впливає на фізико-хімічні властивості системи у зоні взаємодії. Встановлено зв'язок між коефіцієнтами масовіддачі та тепловіддачі, що базується на спільній гідродинаміці. Співставлено розраховані значення температур та експериментальні результати, які підтверджують теоретично визначені температури у зоні взаємодії твердого тіла з рідким реагентом.

Abstract: We consider the interaction of a solid with a liquid reagent, accompanied by a significant thermal effect. Heat released chemical interaction at the interface and applies heat conduction in a solid and in convective heat transfer fluid. Theoretically defined solid surface temperature, the temperature distribution in the liquid and solids, flow characteristics specified heat to the solid phase and the liquid. Established an analogy between the process masoviddachi and process heat. In the nitric acid concentration values defined masoviddachi coefficient for different values of concentration. The influence of the formation of bubbles in the boundary layer diffusion liquid. Investigated that the birth, growth and lead bubbles of gas from a solid surface acts directly on the boundary diffusion layer liquid, causing its movement, and during separation bubbles causing its destruction. It was also established that lead bubbles from the surface contributes to summing fresh reagent with the volume of fluid instead of liquid on the surface of the particles whose concentration is close to zero. The conditions in which concentrations of growth increases the formation of bubbles, leading to a growth factor masoviddachi. A similar pattern was observed in the boiling liquid, while increasing evaporation causes an increase in heat transfer coefficient. The mathematical model of heat and mass transfer during this interaction was presented. The basis of the model is a differential equation of thermal conductivity with appropriate initial and boundary conditions. In order to present the results of calculations in a dimensionless form was put option that has the dimension of temperature. The temperature distribution in a solid and on the surface of interaction was determined. The surface temperature affects the physical and chemical properties of the system in the area of interaction. The relationship based on a common hydrodynamics between the mass-transfer coefficient and heat-transfer coefficient was

determined. Temperatures are compared calculated values and experimental results confirming theoretical determined temperature zone of interaction of a solid body with liquid reagent.

Ключові слова: хімічна взаємодія, теплообмін, масообмін, температура поверхні.

Keywords: chemical interaction, heat-transfer, mass-transfer, temperature of the surface.

Вступ. Процеси тепло- та масообміну у системі тверде тіло – рідина широко використовуються у хімічних, харчових, гідрометалургійних, фармацевтичних та природоохоронних технологіях. До цих процесів належить розчинення, екстрагування з твердої фази, адсорбція, кристалізація, іонний обмін. Предметом розгляду є розчинення, яке, у свою чергу, поділяється на фізичне і хімічне, які можуть протікати у дифузійній, кінетичній чи змішаній області. Кожний процес розчинення супроводжується додатним або від'ємним тепловим ефектом. Теплота взаємодії виділяється на поверхні твердого тіла, де має максимальне значення. Відповідно усі фізико-хімічні параметри системи (густина, в'язкість, теплові та дифузійні параметри) значно відрізняються від ядра рідинного потоку. Тепло реакції з поверхні твердого тіла розповсюджується теплопровідністю у тверде тіло та конвекцією у рідинний розчин. Завдання полягає у теоретичному визначенні температури поверхні твердого тіла, розподілу температур у рідині та твердому тілі, визначенні потоків теплоти до твердої фази та до рідини. Робота відповідає науковому напрямку кафедр хімічної інженерії та екології і збалансованого природокористування.

Аналіз літературних джерел та формулювання проблеми. Процесу розчинення присвячено ряд публікацій як іноземних авторів [1], так і вітчизняних, у зв'язку з широким застосуванням методу. Теорія та практика цього процесу для ізотермічних умов достатньо добре опрацьована [2]. Ця теорія узгоджується із іншими масообмінними процесами, разом із цим володіючи рядом специфічних особливостей, наприклад, зникненням твердої фази у процесі розчинення, виділенням нерозчинних чи газоподібних продуктів, особливо під час хімічного розчинення [3]. Дифузійно контрольоване хімічне розчинення характеризується значними тепловими ефектами. Тепло виділяється на поверхні твердої фази і поширюється теплопровідністю у твердому тілі та конвекцією у рідинному середовищі. Створюються нестационарні процеси тепло- і масообміну. Врахування однакової гідродинаміки приводить до аналогій між цими двома процесами [4, 5]. Наявність інтенсивного перемішування [9] приводить до створення ефекту ізотропної турбулентності, яка носить локальний характер [6]. Даний метод рекомендований для теоретичного визначення коефіцієнта масовіддачі. Створення умов хімічного розчинення з виділенням газоподібних продуктів може бути здійснено методом вакуумування системи, коли умови на границі контакту фаз визначаються газовою або паровою фазами [7]. Теплові явища під час здійснення масообміну в системі рідина – тверде тіло визначаються законами теплових процесів, наведених у [8].

Теоретична частина.

Процеси розчинення твердого тіла, що протікають у дифузійній області, визначаються в основному законами молекулярної та конвективної дифузії. У той же час кожна взаємодія супроводжується певним тепловим ефектом, причому його значення можуть приймати додатні або від'ємні значення. У випадку незначних теплових ефектів виділенням теплоти можна знехтувати, а температуру оцінювати за середнім значенням. Разом з цим, у багатьох випадках цим ефектом знехтувати неможливо. Відзначимо особливості такого тепло-масообміну:

- ✓ джерело тепла знаходиться на поверхні взаємодії;
- ✓ потужність джерела тепла визначається тепловим ефектом та коефіцієнтом масовіддачі;
- ✓ масообмін нерозривно зв'язаний з теплообміном;
- ✓ теплота відводиться теплопровідністю у тверде тіло та конвекцією у розчин;
- ✓ у зоні взаємодії підтримується найвища температура, що впливає на фізико-хімічні властивості.

У першому наближенні можна прийняти, що коефіцієнт масовіддачі β змінює своє значення у залежності від температури T згідно з лінійним законом

$$\beta = \beta_0(1 + \sigma T_n), \quad (1)$$

де β_0 – коефіцієнт масовіддачі за початкової температури; σ – коефіцієнт пропорційності.

Кількість тепла Q , що виділяється на одиниці поверхні за одиницю часу, дорівнює

$$Q = \beta_0(1 + \sigma T_n) C_R Q_R, \quad (2)$$

де C_R – концентрація; Q_R – тепловий ефект взаємодії.

Схему розподілу температур у твердому тілі та у рідинному середовищі зображено на рис.1. Враховуючи поверхневу взаємодію, найвища температура спостерігається на поверхні сферичного твердого тіла, значно змінюючи усі фізико-хімічні характеристики, які використовуються під час

розрахункових визначень коефіцієнтів тепловіддачі та масовіддачі, а також коефіцієнтів дифузії. На рис. 1 позначено температури, пояснення яких наводиться у тексті.

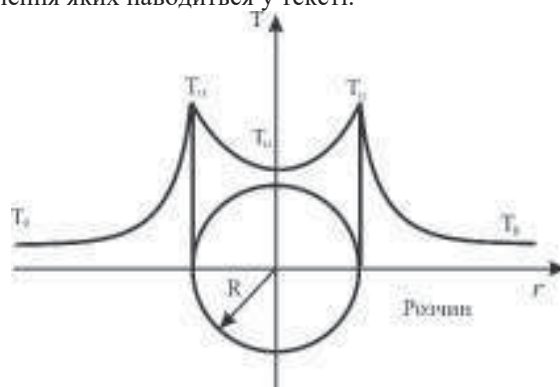


Рис. 1. Схеми розподілу температур у твердому тілі та рідинному реагенті під час їх взаємодії, що супроводжується значним тепловим ефектом

Поширення тепла у твердому тілі для тіл сферичної форми визначається диференціальним рівнянням теплопровідності [8]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad \tau > 0; 0 < r < R \quad (3)$$

У залежності (3) T – температура; r – плинний радіус; R – радіус твердої частинки; a – коефіцієнт температуропровідності.

Гранична умова визначається розподілом тепла, що виділяється на поверхні (2), яке розподіляється між розчином та твердою частинкою

$$\beta_0 (1 + \sigma T_n) C_R Q_R = \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_n + \alpha (T_n - T_1), \quad (4)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності твердого тіла; α – коефіцієнт тепловіддачі; T_n , T_1 – температура поверхні твердого тіла та температура рідинного середовища.

Початкові умови для даного випадку взаємодії будуть рівні

$$T(r, \tau = 0) = T_0; T_1(\tau) = T_0. \quad (5)$$

Введемо безрозмірні параметри:

$$\varphi = \frac{r}{R} - \text{безрозмірний радіус}; Fo = \frac{a \tau}{R^2} - \text{число Фур'є}; Bi = \frac{\alpha R}{\lambda} - \text{число Біо};$$

$$T^* = \frac{\beta_0 C_R Q_R R}{\lambda} - \text{параметр, що має розмірність температури.}$$

Таким чином, задача формується у виді диференціального рівняння з граничними та початковими умовами, записана у безрозмірній формі

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{2}{\varphi} \frac{\partial T}{\partial \varphi}, \\ Bi(T_n - T_0) + \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi} \right)_{\varphi=1} = T^* (1 + \sigma T_n), \\ T(\varphi, 0) = T_0; T_1(Fo) = 0, \\ \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi} \right)_{\varphi=0} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Задача (6) вирішувалась методом, оснований на перетворенні Лапласа. Рішення складається із нульового кореня та інших коренів характеристичного рівняння, яке для даного випадку, коли об'єм рідинної фази приймався великим, має вид

$$\operatorname{tg} \mu = -\frac{\mu}{\operatorname{Bi} - T^* \sigma - 1}. \quad (7)$$

Розподіл температур у твердому тілі на основі рішення задачі (6) має вид

$$\frac{T - T_0}{T^*(1 + \sigma T_0)} = \frac{1}{\operatorname{Bi} - T^* \sigma} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(1 - \operatorname{Bi} + T^* \sigma)}{[\mu_n^2 + (1 - \operatorname{Bi} + T^* \sigma)(T^* \sigma - \operatorname{Bi})] \cos \mu_n} \frac{\sin \mu_n \varphi}{\mu_n \varphi} e^{-\mu_n^2 \operatorname{Fo}}. \quad (8)$$

У випадку, коли коефіцієнт масовіддачі β змінюється незначно, рішення (8) спрощується і його можна записати наступним чином

$$\frac{T - T_0}{T^*} = \frac{1}{\operatorname{Bi}} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\operatorname{Bi} - 1)}{[\mu_n^2 + \operatorname{Bi}(\operatorname{Bi} - 1)] \cos \mu_n} \frac{\sin \mu_n \varphi}{\mu_n \varphi} e^{-\mu_n^2 \operatorname{Fo}}. \quad (9)$$

Рішення (9) дозволяє теоретично визначити температуру у центрі кулястої частинки, що дозволяє експериментально перевірити теоретичне рішення та допущення незначної зміни коефіцієнта масовіддачі у рідинній фазі. У центрі кулі значення $\varphi = 0$, а

$$\lim_{\varphi \rightarrow 0} \frac{\sin \mu_n \varphi}{\mu_n \varphi} = 1,$$

тому рішення для $T = T_c$ буде рівним

$$\frac{T_c - T_0}{T^*} = \frac{1}{\operatorname{Bi}} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\operatorname{Bi} - 1)}{[\mu_n^2 + \operatorname{Bi}(\operatorname{Bi} - 1)] \cos \mu_n} e^{-\mu_n^2 \operatorname{Fo}} \quad (10)$$

Експериментальна частина

Суть експерименту полягала у тому, що хімічному розчиненню підлягала частинка магнію в нітратній кислоті. Дана реакція лімітується не хімічною кінетикою, а належить до контрольованих дифузійно. Тепловий ефект цієї взаємодії складає 19385 кДж/кгMg, або 3740 кДж/кгHNO₃. Встановлено аналогію між процесом масовіддачі та процесом тепловіддачі. В області значень концентрації нітратної кислоти 5 – 60 кг/м³ нами визначалось значення коефіцієнта масовіддачі β для різних значень концентрацій. До особливостей цього процесу належить віднести наявність газової фази, що виділяється під час протікання реакції. Зародження, ріст та відрив бульбашок газу від поверхні твердого тіла безпосередньо діє на пограничний дифузійний шар рідини, викликаючи його переміщення, а під час відриву бульбашок здійснюючи його руйнування. Відрив бульбашок від поверхні сприяє підведенню свіжого реагента з об'єму рідини замість рідини на поверхні частинки, концентрація якої наближається до нуля. Створюється ситуація, за якої зростання концентрацій збільшує утворення бульбашок, що приводить до зростання коефіцієнта масовіддачі. Аналогічна картина спостерігається під час кипіння рідини, коли збільшення пароутворення викликає зростання коефіцієнта тепловіддачі.

Експерименти проводились на експериментальній установці у посуді, куди заливався розчин нітратної кислоти заданої концентрації і система термостатувалась до температури +20°C. Фіксувались температура поверхні частинки цифровим вольтметром і температура рідини скляним термометром. Великий об'єм розчину забезпечував незначне підвищення температури розчину. Коефіцієнт тепловіддачі визначався з рівняння тепловіддачі. Коефіцієнт масовіддачі визначався з рівняння масовіддачі. Втрата маси визначалась зважуванням частинки магнію через певні проміжки часу. Взаємозв'язок кінетичними коефіцієнтами масовіддачі β та тепловіддачі α встановлено на основі експериментів і відповідає залежності у границях $1 \cdot 10^{-4} < \beta < 4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$

$$\alpha = 750 + 1,7 \cdot 10^7 \beta. \quad (11)$$

На рис. 2 наведено розрахункові (формула (10)) (суцільна лінія) та експериментальні заміри температури (точки) за допомогою терморпарі, встановленої у центрі частинки магнію для різних концентрацій нітратної кислоти. Задовільне співпадіння розрахункових та експериментальних значень температур свідчить про можливість використання теоретичного розрахунку температури та застосування

цих температур до визначення фізичних параметрів розчинення, що супроводжується значними тепловими ефектами.

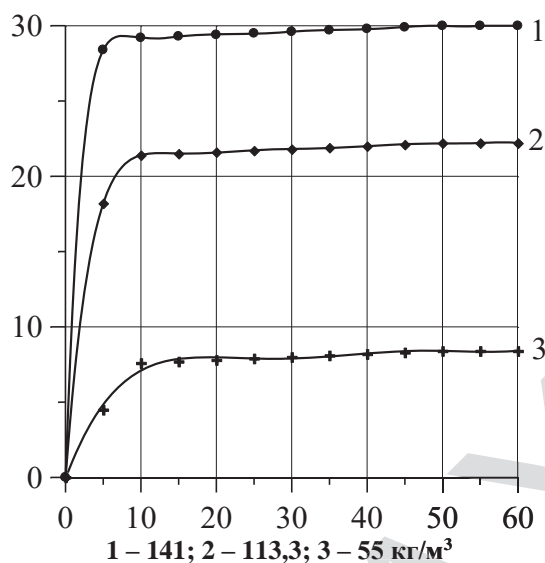


Рис.2. Співставлення розрахункових (суцільні лінії) та експериментальних значень температур центра кулі для концентрацій кислоти
1 – 141; 2 – 113,3; 3 – 55 кг/м³

Висновки

1. Розглянуто дифузійно контрольований процес розчинення твердих тіл, який супроводжується значним тепловим ефектом у зоні взаємодії, що змінює фізико-хімічні параметри рідини у зоні взаємодії.
2. Розроблено математичну модель нестационарного процесу теплообміну з поверхневим джерелом тепла, що дозволяє визначити температури у твердому тілі та рідинному середовищі.
3. Наведено аналогію теплообміну та масообміну, яка визначається однаковою гідродинамічною обстановкою у зоні реакції.
4. Співставлені розрахункові значення температур та експериментальні результати підтверджують теоретично визначені температури у зоні взаємодії.

Література

1. Hudzaifah Y. H., Nizamuddin N.M. Shaarani, Bawadi Abdullah, Md Abdus Salam , The Effect of Co-solvent on the Solubility of a Sparingly Soluble Crystal of Benzoic Acid, *Procedia Engineering*, Volume 148, 2016, P. 1320–1325.
2. Аксельруд Г.А. Растворение твердых веществ / Г.А. Аксельруд, А.Д. Молчанов // М.: Химия. – 1977. – С. 272.
3. Натареєв С.В. Массоперенос в системе с твердым телом / С.В. Натареєв, Н.Р. Кокина, О.С. Натареєв, Е.А. Дубкова // ТОХТ. – 2015. – т.49. – №1. – С. 74 – 78.
4. Маллик С. Теплоотдача при химическом кипении в условиях свободной конвекции / С. Маллик, Я.М. Гумницький // Инженерно-физический журнал. – 1986. – т.50. – № 4. – С. 645–650.
5. Бабенко Ю.И. Влияние нестационарных эффектов на скорость растворения одиночной частицы / Ю.И. Бабенко, Е.В. Иванов // ТОХТ. –2013. – т.47. – №6. – С. 624 – 629.
6. Symak D.M. Analysis of dissolution kinetics dased on the lokal isotropic turbulence theory / D.M. Symak, V. M. Atamaniuk., Gumnitsky Ya. M. // *Chemistry & Chemical Technology*. – 2015.– Vol. 9. – N4. – P. 493–497.
7. Гумницький Я.М. Розчинення твердих тіл у трифазній системі, утвореній вакуумуванням / Я.М. Гумницький, Д.М. Симак, О.А. Нагурський // Наукові праці. – Одеська національна академія харчових технологій. – В. 47. – Т.1. – 2015. – С. 130–132.
8. Гумницький Я.М., Петрушка І.М. // *Инженерна екологія*. – Ч. 2. – В-тво. Львівської політехніки. – 2016.– С. 348.
9. Charbel H. Enhancing heat transfer in vortex generator-type multifunctional heat exchangers / Charbel H., Serge R., Daniel B., Jean-Luc H.T., Lemenand D., Hassan P. // *Applied Thermal Engineering*. – V. 38. – 2012– P. 14-25.

КИНЕТИКА КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ГРАНАТОВОГО СОКА В УСТАНОВКЕ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ	101
Стоянова А.М., Драгни Е.И., Терземан Е.Ф.	
РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ С УТИЛИТНЫМИ ПУТЯМИ	
Ульев Л.М., Маатук А.	106
ПРОЕКТ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО КОРПУСА ОНАПТ	
Перетяка С. Н., Козинец А. Ю., Бандура Д. А.	111
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОНАСОСНОГО СУШІННЯ	
Дабіжа Н.О.	115
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОЖУХОТРУБНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ДЛЯ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ СЕРЕДОВИЩ	
Чаласєв Д.М., Шматок О.І., Грабова Т.Л., Сильнягіна Н.Б.	121

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

ПОГЛИНАННЯ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ ІЗ СУМІШІ ПОВІТРЯ З ДІОКСИДОМ СУЛЬФУРУ	
Дячок В. В., Гуглич С. І., Катишева В. В., Мандрик С. Т.	126
ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА МОНТМОРИЛОНІТУ, МОДИФІКОВАНОГО ПОЛІОНЕНАМИ	
Суха І.В., Томіло В.І., Белянєвська О.А., Сухий К.М.	131
ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА З РІДКИМ РЕАГЕНТОМ	
Гумницький Я.М., Атаманюк В.М., Симаєк Д.М., Данилюк О.М.	138
АДСОРБЦІЙНО-ДИФУЗІЙНІ ПРОЦЕСИ У СТАТИЧНОМУ ШАРІ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ В СТАЦІОНАРНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ УМОВАХ	
Сабадаш В.В., Гумницький Я.М.	143
ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА НЕЕНЕРГОСМНИХ КОНЦЕНТРАТИВ ФІТОПРЕПАРАТИВ	
Бурдо А.К., Альхурі Юсеф, Ананійчук Е.Ю., Велічко В.П.	148
РОЛЬ НАДЛИШКОВОГО МАРГАНЦЮ В ФОРМУВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОСТРУКТУРНОГО КОМПОЗИТУ НА ОСНОВІ МАНГАНІТУ І СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ ЦИРКОНІУ	
Акимов Г.Я., Новохацька А.О.	153
ЗАХИСНІ ПОЛІЕТИЛЕНОВІ ТРУБИ ДЛЯ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З АНТИФРИКЦІЙНИМ ВНУТРІШНІМ ШАРОМ	
Гоцький Я. Г., Двойнос Я. Г.	157
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ	
Рябик П.В., Опарин С.А., Гриднева Т.В.	161
ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКСТРУДИРОВАННОГО ЯДРА ПОДСОЛНЕЧНИКА	
Евлаш В.В., Потапов В.А. Никитин С.В.	164
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ БЛОКА ЛЬДА В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	
Тришин Ф.А., Трач А.Р., Орловская Ю. В.	168
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ МОРСКОЙ ВОДЫ В АППАРАТАХ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ	
Тришин Ф.А., Масельская Я.А.	174
ОЦІНЮВАННЯ БЕЗРЕАГЕНТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	
Журавська Н. Е.	179