

**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

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

---

**СЕКЦІЯ 1.**

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ,  
ТЕПЛОВИХ, МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ**

---

витрата електроенергії під час сушіння знижується на 25–30 %. Процес сушіння вдалося інтенсифікувати ще за рахунок імпульсного введення енергії «нагрів-охолодження» та рециркуляції повітря в сушарці.

#### Список літератури:

1. Стрельников, А. Инновационные подходы к переработке плодово-ягодной продукции [Текст] / Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания // А. Стрельников. – 2015. - Выпуск 1 (5), – с.95-101.
2. Калинина, И. В. Современные подходы в технологии безопасной снежковой продукции [Текст] // И. В. Калинина, А.А. Руськина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – Выпуск 3, том 2, с.29-36.
3. Margarita H. Ahmad-Qasem. Influence of Drying on the Retention of Olive Leaf Polyphenols Infused into Dried Apple [Text] / Margarita H. Ahmad-Qasem, Juan V. Santacatalina, Enrique Barrajon-Catalan, Vicente Micol, Juan A. CárceI, José V. García-Pérez // *Food and Bioprocess Technology*, January 2015, Volume 8, Issue 1, p.120–133.
4. Стрельченко Л. В. Інноваційний метод сушіння плодово-овочевої сировини [Текст] / Л. В. Стрельченко, Т. В. Бурлака, М. В. Писарев, І. В. Дубковецький, Г. М. Бандуренко, І. Ф. Малезик // 81 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів НУХТ. “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”. – Київ, Ч. 2, 23–24 квітня 2015 р – С. 178.
5. Спосіб виробництва яблучних снеків Патент на винахід України № 113587 МПК А23Л 19/8, А23В 7/02 [Текст] / Малезик І.Ф., Дубковецький І.В., Бандуренко Г.М., Стрельченко Л.В. – а 201511035; заявл. 11.11.2015 ; опубл. 10.02.17, Бюл. № 3.
6. Малезик И. Ф. Исследование процесса сушки яблок конвективным, терморрадиационным и комбинированным способами [Текст] / И. Ф. Малезик, И. В. Дубковецький, Г. М. Бандуренко, Л. В. Стрельченко // V Международная научно-техническая конференция, посвящена 85-летию ФГБОУ ВПО «Воронежского государственного университета инженерных технологий», 65-летию кафедры «Технология хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерно-перерабатывающего производств» – Россия, Воронеж, 4 – 5 июня 2015 г.– С 493.
1. Радіаційно-конвективна сушильна установка. Патент України № 112348 МПК F26В 3/30, F26В 3/04, F26В 9/06, F26В 21/04, F26В 21/08, F26В 21/10, F26В 21/12, А23В 7/02 [Текст] / Дубковецький І.В., Малезик І.Ф., Бурлака Т.В., Стрельченко Л.В. – а 201411435; заявл. 20.10.2014 ; опубл. 25.08.16, Бюл. № 16.

УДК 661.015:542.61

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЕКСТРАГУВАННЯ СІРЧАНОКИСЛОЇ МІДІ ЗА УМОВ ВАКУУМУВАННЯ

Симак Д.М. канд. техн.наук  
Склябінський В.І. д-р техн. наук, професор  
Сумський державний університет, м.Суми

## STUDY OF THE KINETICS OF EXTRACTION OF SULFURIC OXIDE CUPRUM IN VACUUM CONDITIONS

Symak D.M., Sklabinskyi V.I.  
Sumy State University

**Анотація.** Досліджувався процес екстрагування твердої речовини з капілярів циліндричної форми з метою визначення кінетики даного процесу. Твердою фазою служив купруму сульфат, який екстрагувався дистильованою водою. Екстрагування твердої фази складається з процесу розчинення цільового компоненту та дифузії розчиненої речовини у капілярі. Лімітуючою стадією даного процесу є дифузія компоненту всередині капіляру, що відбувається за законом молекулярної дифузії Фіка. У промислових умовах інтенсифікація процесу екстрагування відбувається за рахунок подрібнення твердого матеріалу або збільшення температури. У роботі досліджувався процес екстрагування в умовах вакуумування системи, при якому виникає кипіння рідини та утворення парової фази. Зародження, ріст та відрив парових бульбашок всередині капілярів приводить до переміщення рідини, що сприяє її заміні, створенні умов нестационарності, достачанні свіжої рідини до поверхні розчинення. Наведено експериментальну установку, методику виконання досліджень та експериментальні результати для капіляра діаметром 0,8 мм. Представлено графічно залежність переміщення зони розчинення у капілярі для трьох випадків за однакової температури 75<sup>0</sup>С: розчинення під час механічного перемішування, постійного вакуумування та періодичного вакуумування.

Найвища швидкість екстрагування відповідає періодичному вакуумуванню. Визначено ефективні коефіцієнти дифузії у капілярах та відношення коефіцієнтів за вакуумування до екстрагування в умовах механічного перемішування. Показано, що за постійного вакуумування процесу екстрагування швидкість екстрагування зростає у 2,8 рази; за періодичного вакуумування, при якому відбувається сплескування парової фази і переміщення рідини у капілярі, у 6,3 рази.

**Ключові слова:** купрум сульфат, екстрагування, інтенсифікація, вакуумування, коефіцієнт дифузії

**Abstract.** The process of extracting of solid substance from cylindrical capillaries to determine the kinetics of this process was investigated. As the solid phase served sulfur sulfate, which was extracted with distilled water. Extraction of the solid phase consists of the process of dissolving of the target component and diffusion of the dissolved substance in the capillary. The limiting stage of this process is the diffusion of a component inside the capillary, which occurs under the law of molecular diffusion of Fick. In industrial conditions, the intensification of the extraction process occurs by grinding of a solid material or increasing of the temperature. In this paper, the process of extraction under conditions of vacuuming of the system, in which occurs boiling of the fluid and formation of a vapor phase, is investigated. The origin, growth and separation of the vapor bubbles within the capillaries leads to the displacement of the fluid, which facilitates its replacement, the creation of non-stationary conditions, the supply of fresh liquid to the surface of the dissolution. The experimental apparatus, methodology of research and experimental results for a capillary with a diameter of 0,8 mm are given. Graphically, the dependence of the displacement of the dissolution zone in the capillary is presented for three cases at the same temperature of 75<sup>0</sup>C: dissolution during mechanical mixing, constant vacuuming and periodic vacuuming. The highest rate of extraction corresponds to periodic vacuuming. The effective coefficients of diffusion in the capillaries and the ratio of the coefficients of vacuuming to extraction under conditions of mechanical mixing are determined. It is shown that during the continuous vacuuming of the extraction process, the extraction rate increases in 2,8 times; for periodic vacuuming, at which there is an explosion of the vapor phase and the movement of liquid in the capillary, in 6,3 times.

**Keywords:** copper sulfate, extraction, intensification, vacuuming, coefficient of diffusion.

**Вступ.** Процеси екстрагування компонентів з твердої фази використовуються у хімічній, харчовій, природоохоронній технологіях. Екстрагування у більшості випадків є першою стадією багатьох технологічних процесів і обсяги його застосування є значними. Лімітуючою стадією процесів екстрагування з твердої фази є внутрішня дифузія компонентів у порах твердої фази. Твердий скелет пористої речовини суттєво впливає на дифузійне перенесення речовини. Сповільнення перенесення компоненту у порах інертної твердої фази зумовлене блокуванням дифузійного потоку твердим скелетом, видовженням дифузійного шляху масоперенесення внаслідок звивистого шляху капілярів, зміною фізико-хімічних характеристик екстрагента у порах інертної твердої фази. Ці обставини суттєво понижують коефіцієнт внутрішньої дифузії у порах у порівнянні до коефіцієнта молекулярної дифузії у рідині. Інтенсифікація процесів екстрагування означає зростання коефіцієнта внутрішньої дифузії. З цієї мето використовуються різні методи, одним із яких є метод подрібнення твердої фази, що зменшує шлях дифузії і збільшує коефіцієнт масоперенесення, що пропорційний до градієнта концентрації, який для частинок менших розмірів матиме більші значення. Нами досліджено процес екстрагування твердої речовини з прямолінійних капілярів в умовах вакуумування системи та пониження тиску до значень, які відповідають стану кипіння рідини-екстрагента та виникненню парової фази у виді бульбашок. Останні під час свого росту та відриву виявляють гідродинамічну дію на рідину, що спричиняє її рух у капілярах та збільшує швидкість масоперенесення.

**Аналіз літературних джерел та формулювання проблеми.** Теоретичні аспекти процесу екстрагування з твердої інертної фази розчинних та твердих компонентів подано у [1]. Автори розглядають загальні закономірності процесу екстрагування, вплив структури твердого інертного тіла, фізико-хімічні властивості системи. Основну увагу приділено визначенню кінетичних констант процесу екстрагування, методи визначення яких є різними для екстрагування розчинної речовини та твердої фази. Особливості масообміну у системах з твердою фазою та їх закономірності наведено у [2]. Дослідження процесів екстрагування свідчить про низькі значення кінетичних коефіцієнтів і, відповідно, великий час на їх проведення [3-4]. Введення у систему тверде тіло – рідина газової фази перетворює її у трифазну. Газова фаза не приймає участь у масообміні, але її вплив на кінетику має вирішальне значення. Інертна газова фаза може бути введена у систему з метою перемішування і збільшення коефіцієнта масовіддачі [5]. Представляють значний інтерес роботи, у яких інтенсифікуючим засобом є парова фаза, яка утворюється з рідини розчинника чи екстрагента, застосування мікрохвильового поля з метою прискорення внутрішньої дифузії [6-7]. Гідродинаміка пароутворення в умовах вакуумування системи досліджувалась у [8]. На прикладі фізичного розчинення твердих тіл в умовах вакуумування системи, що приводить до виникнення парової фази, показано значну інтенсифікуючу дію. Встановлено кінетичні закономірності даного процесу та механізм дії бульбашок пари на швидкість розчинення [9-10]. Кінетика екстрагування купрум сульфату, що знаходився у розчинній формі, з пористих частинок досліджувалась у [11]. Визначено ефективний коефіцієнт внутрішньої дифузії. Екстрагуванню цільових компонентів з циліндричних капілярів в умовах вакуумування присвячено роботи [12-14]. Автори роботи [12] досліджували екстрагування в умовах вакуумування системи, що створює кипіння рідини та виникнення парової фази у капілярах, що значно

прискорює масо перенесення. У роботах [13-14] досліджувалось екстрагування з одинарних капілярів в умовах постійного та періодичного вакуумування. Періодичне вакуумування за рахунок сплескування бульбашок пари у капілярі та руху рідини у декілька раз прискорює екстрагування, швидкість якого оцінювалась за переміщенням границі розчинення. Порівняння різних методів екстрагування подано у [15].

**Метою дослідження** було встановлення закономірності екстрагування купрум сульфату з капілярів в умовах механічного перемішування, під час неперервного та періодичного вакуумування системи та визначення ефективних коефіцієнтів дифузії процесу.

**Експериментальна частина.** Виконання експериментальної частини роботи полягало у проведенні процесу екстрагування купрум сульфату з капілярів циліндричної форми. Нами досліджувався процес екстрагування з капіляру, внутрішній діаметр якого становив 0,8 мм. Капіляр заповнювався порошкоподібним купрум сульфату та набивка утрамбовувалась тонкою сталюю проволокою з метою наближення густини набивки до густини монолітної твердої речовини. Зважуванням капіляру з набивкою та вільного визначалась дійсна густина набивки  $\rho_s$ .

Досліди проводились на експериментальній установці (рис.1). Установа може бути поділена на 3 блоки. Основним елементом є блок I, який складається з апарата- екстрактора 1, виготовленого з скла, який поміщався у термостат 2. Задавалась температура у термостаті  $75^{\circ}\text{C}$ , якій відповідає абсолютний тиск 0,06 МПа у випадку створення вакуумування, що створює кипіння води. Капіляр з набивкою 3 знаходився над поверхнею рідини у екстракторі. Після досягнення стаціонарного кипіння води у апараті-екстракторі капіляр опускався у киплячу рідину з одночасною фіксацією часу процесу екстрагування. За допомогою відлікового мікроскопа фіксувалось переміщення границі розчинення купрум сульфату у капілярі.

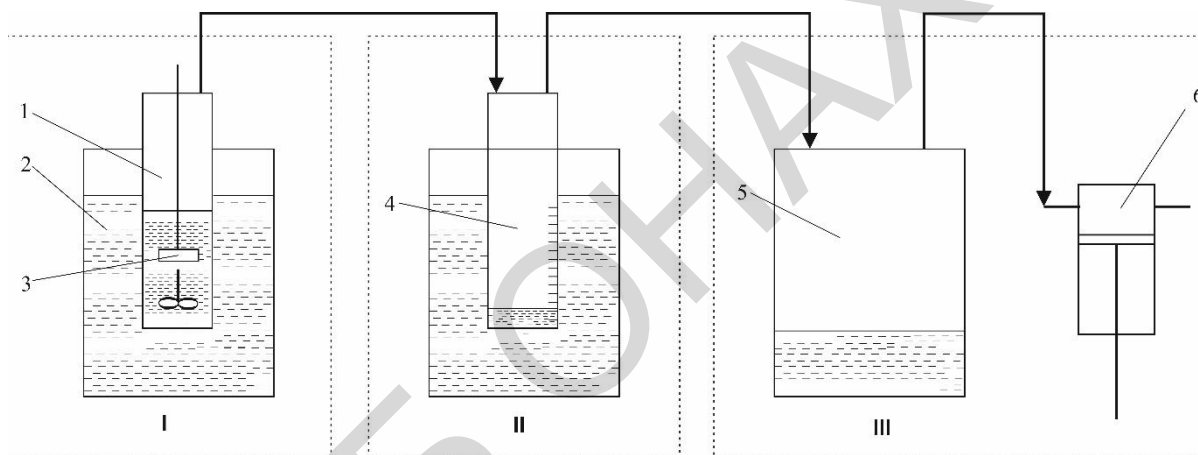


Рис.1. Схема експериментальної установки: 1 –апарат-екстрактор; 2-термостат, 3 – капіляр з набивкою купрум сульфату; 4-конденсатор-вимірник сконденсованої пари; 5 – буферна ємність, 6 – вакуум-насос

Блок II використовувався для заміру кількості випареної води через конденсацію пари у конденсаторі-вимірнику 4, який поміщався у ємність з холодною водою. Вакуум у системі створювався за допомогою вакуум-насоса 6, який з'єднаний з конденсатором- вимірником 4 через буферну ємність 5, яка забезпечувала систему від потрапляння рідини до вакуум-насоса 6.

Як слідує з огляду літературних джерел, виникнення парової фази суттєво впливає на процеси масообміну у системах з твердою фазою. Зародження та ріст парової фази відбувається на твердій поверхні. Цей процес переміщає рідину безпосередньо на границі розділу фаз, де процес розчинення лімітується молекулярною дифузиею. Переміщення рідини приводить до збільшення коефіцієнта масовіддачі. У капілярі кипіння рідини під час вакуумування приводить до утворення парових бульбашок, які не лише ростуть, але і відриваються з поверхні твердої фази. На місце бульбашки, яка відірвалася, приходять свіжа рідина з концентрацією екстрагованої речовини, що наближається до нуля. Це створює значну рушійну силу і, відповідно, збільшується масовіддача.

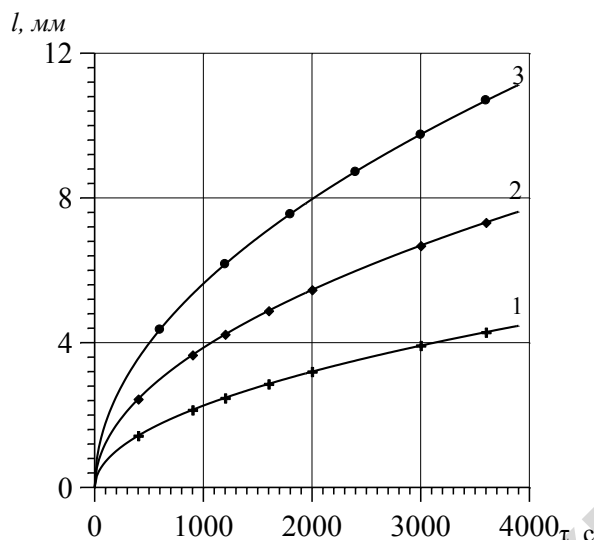


Рис. 2. Границя розчинення купруму сульфату  $l$  у залежності від часу екстрагування  $\tau$  за умов проведення процесу: 1 – екстрагування за умови механічного перемішування рідини без її кипіння; 2 – екстрагування за умови постійного вакуумування системи; 3 – екстрагування з капіляра за умови вакуумування системи з періодичним перериванням вакуумування

З метою порівняння результатів дослідження під час екстрагування у вакуумі, нами проведено екстрагування купруму сульфату в умовах механічного перемішування. З цією метою капіляр поміщався в екстрактор, у якому знаходилась вода нагріта до температури  $75^{\circ}\text{C}$ . Ця температура підтримувалась протягом усього процесу екстрагування. Перемішування рідини здійснювалось магнітною мішалкою. Звичайно підвищення температури є одним із методів інтенсифікації екстрагування твердих компонентів з інертною твердою фазою. Процес екстрагування під час вакуумування проводився для двох випадків: підтримання постійного вакуумування у системі та за періодичного вакуумування.

На рис. 2 представлено результати досліджень процесу екстрагування з прямолінійного капіляру у вигляді залежності просування границі розчинення  $l$  від часу екстрагування  $\tau$ .

Розглянемо елементарний механізм процесу екстрагування з одинарного капіляру за умови вакуумування системи та виникнення бульбашок парової фази (рис.3).

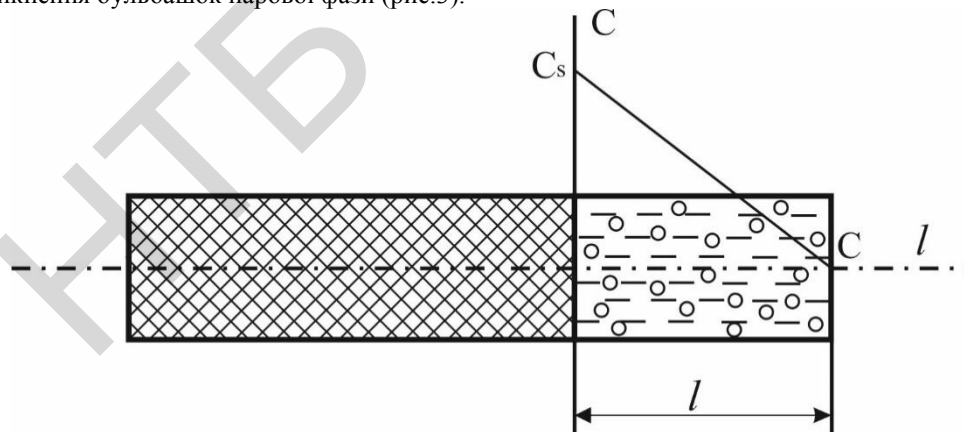


Рис. 3. Схема процесу екстрагування з одинарного капіляру та розподіл концентрацій

Вважається, що процес екстрагування протікає повільно у великому в порівнянні до одного капіляра об'ємі рідини і концентрацію речовини, що екстрагується, на зовнішній поверхні капіляра можна прийняти рівною нулю. За певний проміжок часу  $\tau$  зона розчинення всередині капіляра перемістилась на довжину  $l$ . Кінетичне рівняння, що описує розчинення елементарної ділянки твердої фази  $dl$ , має вид

$$\frac{dM}{d\tau} = D^* F \frac{C_s - C_n}{l}, \quad (1)$$

де  $M$  – маса речовини, що розчинилась;

$F$  - поверхня розчинення;

$C_s$  - концентрація насичення;

$C_n$  - концентрація на поверхні капіляра;  $C_n = 0$ ;

$D^*$  - ефективний коефіцієнт дифузії у капілярі.

Вирізавши масу твердої речовини через її об'єм та густину

$$dM = \rho_s \cdot F \cdot dl, \quad (2)$$

одержуємо диференціальне рівняння, що встановлює швидкість переміщення зони розчинення

$$\frac{dl}{d\tau} = \frac{D^*}{\rho_s} \frac{C_s - C_n}{l}. \quad (3)$$

Інтегрування рівняння (3) дає результат

$$\frac{l^2}{2} = \frac{D^*}{\rho_s} (C_s - C_n) \cdot \tau. \quad (4)$$

Використовуючи експериментальні дані (рис.2) та залежність (4), нами графічно представлено значення довжини розчинення від часу  $l^2 = f(\tau)$  (рис.4), що відповідає прямолінійній залежності і дає можливість за тангенсом кута нахилу прямих встановити величину кінетичного коефіцієнта  $D^* \cdot L^2, \text{мм}^2$

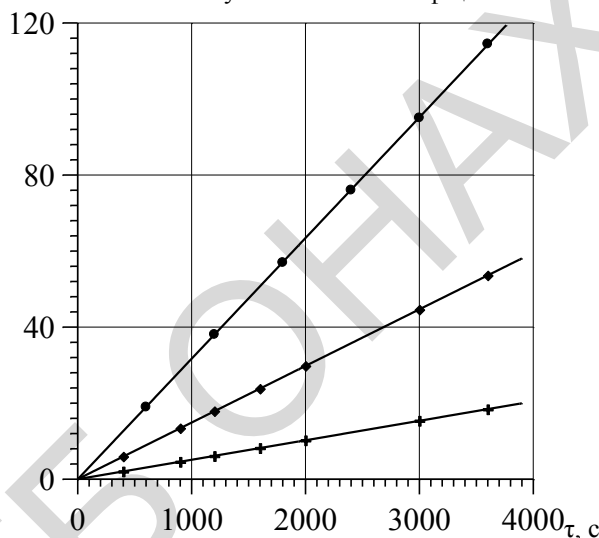


Рис.4. Залежність  $l^2 = f(\tau)$  (позначення відповідають рис.2)

Використовуючи фізичні характеристики даної системи: концентрація насичення купруму сульфату за температури  $75^{\circ}\text{C}$  складає  $550 \text{ г/дм}^3$  та густину набивки капіляра з рис.4, визначався тангенс кута нахилу прямих  $\alpha$ , який дорівнює

$$\text{tg } \alpha = 2 \cdot \frac{D^*}{\rho_s} \cdot (C_s - C_n). \quad (5)$$

Визначений згідно залежності (5) ефективний коефіцієнт дифузії для трьох розглянутих випадків має наступні значення для температури  $75^{\circ}\text{C}$

Процес екстрагування	$D^* \cdot 10^9, \text{м}^2/\text{с}$	$D^*/D_{\text{мех. пер.}}$
Механічне перемішування рідини	13,5	1
Кипіння рідини під вакуумом	38,0	2,81
Періодичне кипіння під вакуумом	85,1	6,3

Наведені величини свідчать про значне збільшення швидкості екстрагування під час кипіння рідини та формування парової фази, особливо для процесів з періодичним кипінням, що супроводжується сплескуванням парових бульбашок.

#### Висновки

Результати експериментальних досліджень показали значну інтенсифікацію процесу екстрагування купруму сульфату в умовах постійного та періодичного вакуумування. Прискорення процесу відбувається за зміни гідродинамічної обстановки у зоні контакту між твердим тілом та екстрагентом, що викликається зародженням, ростом та відривом парових бульбашок. Визначено ефективні коефіцієнти дифузії та показано можливість збільшити швидкість екстрагування до 6 раз у порівнянні з зовнішнім механічним перемішуванням середовища.

#### Література

1. Aksielrud, G. Ekstrakcja w układzie ciało stałe – ciecz/ G. Aksielrud, W. Lysianski. – Warszawa: Wydaw, Nauk.-Techn., 1978.- 275s.
2. Натареєв С.В. Массоперенос в системе с твердым телом/Н.С.Натареєв, Н.Р. Кокина, О.С. Натареєв, Е.А. Дубкова– Теор. основы хим. технологии.- 2015.- т.49, №1.- С. 74 — 78.
3. Семенишин Є.М. Особливості екстрагування цільових компонентів з пористих структур/ Є.М. Семенишин, В.І. Троцький, В.І. Федорчук-Мороз. – Наук. вісник Українського держ. лісотехн. університету.- 2004.- Вип.14.4.- С.317 – 321.
4. Бандура В.М. Розробка технологічної схеми екстрагування олії з допомогою мікрохвильового інтенсифікатора/ В.М.Бандура, Л.М.Каменовська// Одеська Національна академія харчових технологій «Наукові праці».- Одеса. -2014.- Вип. 45.- Т.3.- С. 39-42.
5. Симак Д.М. Інтенсифікація масообмінних процесів у системі тверде тіло-рідина введенням газової фази. /Д.М. Симак, Я.М. Гумницький // Матеріали XVIII Міжнародної конференції «Проблеми і перспективи практичної реалізації наукових досліджень». Чернівці, 2015р./ Буковинська економічна фундація. -Чернівці.- 2015.-С. 31-34.
6. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств. – Одесса: Полиграф. – 2008. – 244с.
7. Бурдо О.Г. Экстрагирование в системе «кофе – вода» // О.Г.Бурдо, Г.М.Ряшко. – Одесса: ТЕС. – 2007. – 176с.
8. Юрим І.М., Гумницький Я.М. Гідродинаміка пароутворення в умовах вакуумування // Вісник Держ. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів. – 1998. - №339. – С. 126-128.
9. Гумницький Я.М., Майструк І.М. Інтенсифікація процесу фізичного розчинення у трьохфазній системі при розрідженні // Хімічна промисловість України. – 1999. - №2. – С.23-26.
10. Гумницький Я.М. Розчинення твердих тіл у трифазній системі, утвореній вакуумуванням. /Я.М. Гумницький, Д.М.Симак, О.А. Нагурський //Наукові праці ОНАХТ. - Одеса, 2015. – Вип. 47.- Т.1. С. 130-133.
11. Гумницький Я.М. Кінетика екстрагування міді сульфату з пористих частинок / Я.М. Гумницький, В.М.Атаманюк, Д.М.Симак. - Інтегровані технології та енергозбереження.- 2017.- №4.- С.23 – 27.
12. Гумницький Я.М. Кінетика екстрагування цільового компоненту з поодинокого капіляру в умовах вакуумування системи / Я.М. Гумницький, Л.О.Венгер, М.Ф.Юрим// Вісник НУ«Львівська політехніка».- Львів,2003.- №488.- С.220-222.
13. Гумницький Я.М. Экстрагирование твердого вещества из линейных капилляров при периодическом кипении под вакуумом // Я.М.Гумницький, В.Н.Сеньків - Теор. основы хим. технологии - 2006.- т.40, № 3.- С.1-6.
14. Гумницький Я.М. Исследование влияния гидродинамических условий на экстрагирование вещества из линейных капилляров // Я.М.Гумницький, В.Н.Сеньків – Вопросы химии и хим. технологии. – 2006.- №3.- С.157-161.
15. Gumnitsky J., Yurym M., Osman A. The transfer during dissolving solids in condition of gas supply and in vacuum / Konferencija naukowa Inzenerija chemiczna. – Krakow. – 1994. – Т.1. - S. 319-326.

## ЗМІСТ

### ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ, ТЕПЛОВИХ, МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

ВПЛИВ МЕТОДИКИ РОЗМІЩЕННЯ СИРОВИННИХ ПОЛІН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДЕРЕВНОГО ВУГЛЛЯ ПІРОЛІЗНИМ СПОСОБОМ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ	
<b>Товажнянский Л.Л., Вель В.Є., Миронов А.М.</b> .....	5
ТЕПЛООБМІННИКИ КРІОМОДУЛІВ НА БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУМІШАХ	
<b>Литвиненко М.П., Туз В.О.</b> .....	10
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ФІТОЕСТРОГЕННОЇ СИРОВИНИ	
<b>Петрова Ж.О., Слободянюк К.С.</b> .....	12
ЗВ'ЯЗОК ЯВИЩА ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ ТА ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ	
<b>Авдєєва Л.Ю., Жукотський Е.К., Макаренко А.А.</b> .....	17
КОНВЕКТИВНО-ТЕРМОРАДІАЦІЙНЕ СУШІННЯ ЯБЛУЧНИХ СНЕКІВ ЗА УМОВ РУХУ ПОВІТРЯ	
<b>Малежик І. Ф., Дубковецький І. В., Стрельченко Л. В.</b> .....	20
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЕКСТРАГУВАННЯ СІРЧАНОКИСЛОЇ МІДІ ЗА УМОВ ВАКУУМУВАННЯ	
<b>Симак Д.М. Склабінський В.І.</b> .....	24
ВПЛИВ РОЗЧИННИХ РЕЧОВИН НА СТАН ВОДИ В РОСЛИННИХ ТКАНИНАХ ТА КІНЕТИКУ ЇХ СУШІННЯ	
<b>Дмитренко Н.В.</b> .....	30
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІОКСИДУ СУЛЬФУРУ ТА НІТРОГЕНУ НА ПРОЦЕС ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ	
<b>Дячок В.В., Катишева К.В., Гуглич С.І., Мандрик С.Т.</b> .....	35
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АБСОРБЦІЇ КИСНЮ В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНОМУ АПАРАТІ	
<b>Ободович О.М., Сидоренко В.В.</b> .....	41
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА БАКТЕРИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА «БИФАЦИЛ» НА ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА	
<b>Переяславцева Е.А.</b> .....	44
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
<b>Рябова І.Б., Петухова О.А., Горносталя С.А., Щербак С.М.</b> .....	50
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СУСПЕНЗОВАНОГО ГРИБА ШИЇТАКЕ В СИСТЕМІ «КРАПЛЯ-ПАРОГАЗОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ»	
<b>Шаркова Н.О., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О.</b> .....	55
КОНВЕКТИВНЕ ЗНЕВОДНЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ БАТАТУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	
<b>Шапар Р.О., Гусарова О.В.</b> .....	58
ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ БУРЯКОВОГО ЖОМУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БЮКОРМІВ	
<b>Гнатів З.Я., Мосюк М.І., Дулеба В.П.</b> .....	62
ПРОЦЕС ЕКСТРАГУВАННЯ З ПЛОДІВ ШИПШИНИ У ВАКУУМНОМУ МІКРОХВИЛЬОВОМУ АПАРАТІ	
<b>Левтринська Ю.О., Альхурі Юсеф, Голінська Я.А., Терзієв С.Г.</b> .....	66

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

ТЕПЛООБМІН ПРИ ПЛАВЛЕННІ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ	
<b>Корінчевська Т.В., Снежкін Ю.Ф., Михайлик В.А.</b> .....	73