Для чотирьох отриманих зразків снеків проведено органолептичний аналіз та зроблена їх дегустаційна оцінка. При цьому враховували такі показники як притаманність кольору, вираженість смаку, аромату, легкість розжовування та післясмак. Проте для остаточного визначення продукту проведено аналіз харчової цінності отриманих зразків за їх хімічним складом. В якості контрольного зразку було обрано сушені яблука конвективно-терморадіаційним методом (табл. 2).

З таблиці видно, що снеки виготовлені з яблук «Голден Делішес» при швидкості повітря 5,5 м/с є з найкращим хімічним складом. Так, наприклад, через незначну швидкість повітря (2,8 м/с) можна пояснити високий вміст пектинових речовин (4,4 %), адже під впливом температури і більш тривалого терміну сушіння відбувається перехід протопектину в пектин. Але тому, що сушіння здійснюється до вмісту вологи в продукті 8-10 %, то ці зміни не впливають на органолептику готового продукту, але позначаються на харчовій цінності снеків.

Висновки. Результати досліджень процесу сушіння снеків конвективно-терморадіаційним способом при різних швидкостях повітря: 2,8 м/с, 3,5 м/с, 4,5 м/с та 5,5 м/с показали, що найкращою швидкістю є 5,5 м/с. Дана швидкість сприяє максимальному збереженню вихідних показників сировини, що в подальшому дозволяє отримати готовий продукт з високими органолептичними та і фізико-хімічними показниками. До того ж 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.

Література

1. Doymaz, İbrahim. Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples [Text] / Food and Bioproducts Processing – Amasya, 2010, 88(2–3), Pages 124–132.

2. María José Tavera-Quiroz. Development and Characterization of a Baked Snack from Rings of Green Apples [Text] / María José Tavera-Quiroz, Marina Urriza, Adriana Pinotti, Nora Bertola / Food and Bioprocess Technology – 2014, 7(8), Pages 2218–2227.

3. María José Tavera-Quiroz. Baked snack from green apples formulated with the addition of isomalt [Text]/ María José Tavera-Quiroz, Marina Urriza, Adriana Pinotti,, Nora Bertola / Food Science and Technology – 2015, 62 (2), Pages 1004–1010.

4. Mishlenovich, Nevena. Comparison of the kinetics of osmotic dehydration of apple in sugar beet molasses and sucrose [Text]/ Journal on Processing and Energy in Agriculture – 2010, 14(1), Pages 32-35.

5. Спосіб виробництва яблучних снеків Патент на винахід України № 113587 МПК A23L 19/8, A23B 7/02 [Текст] / Малежик І.Ф., Дубковецький І.В., Бандуренко Г.М., Стрельченко Л.В. – а 201511035; заявл. 11.11.2015; опубл. 10.02.17, Бюл. № 3, с. 5.

6. I. Malejik Investigation of drying apple snack convection-termoradiatsiynym energy to wrap different power heaters [Text]/ I. Malejik, L. Strelchenko, I. Dubkovetsky / Proceeding of International Conference "Modern Technologies in the food Industry" – Chisinau, 2016, Pages 64-68.

References

1. Doymaz, İbrahim. (2010). Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples. *Food and Bioproducts Processing* – Amasya, , 88(2–3), Pages 124–132.

2. María José Tavera-Quiroz, Marina Urriza, Adriana Pinotti, Nora Bertola. (2014). Development and Characterization of a Baked Snack from Rings of Green Apples. *Food and Bioprocess Technology*, 7(8), Pages 2218–2227.

3. María José Tavera-Quiroz, Marina Urriza, Adriana Pinotti,, Nora Bertola. (2015) Baked snack from green apples formulated with the addition of isomalt. *Food Science and Technology*, 62 (2), Pages 1004–1010.

4. Mishlenovich, Nevena. (2010). Comparison of the kinetics of osmotic dehydration of apple in sugar beet molasses and sucrose. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 14(1), Pages 32-35.

5. Malezhik I.F., Dubkovetsky I.V., Bandurenko G.M., Strelchenko L.V. (2017) Method of production of apple snails. *Patent for the invention of Ukraine № 113587 IPC A23L 19/8, A23B 7/02*.

6. Malejik I., Strelchenko L., Dubkovetsky I. (2016) Investigation of drying apple snack convection-termoradiatsiynym energy to wrap different power heaters. *Proceeding of International Conference "Modern Technologies in the food Industry"* – Chisinau, , Pages 64-68.

Отримано в редакцію 07.05.2018 Received 07.05.2018
Прийнято до друку 24.06.2018 Approved 24.06.2018

УДК 661.015:542.61 DOI: http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1002

КІНЕТИКА ЕКСТРАГУВАННЯ КУПРУМУ СУЛЬФАТУ З ОДИНАРНОГО КАПІЛЯРА В УМОВАХ ВАКУУМУВАННЯ СИСТЕМИ

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

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 си-*

стеми, 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 нестаціонарності, 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^{0}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: купруму сульфат, екстрагування, інтенсифікація, вакуумування, коефіцієнт дифузії

KINETICS OF EXTRACTION OF COPPER SULFATE FROM A SINGLE CAPILLAR UNDER CONDITIONS OF VACUUMING OF THE SYSTEM

Symak D.M., PhD in Tech.Sci., Sklabinskyi V.I., Dr. of Tech.Sci., prof.
Sumy State University, Sumy, Ukraine

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^{0}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 цією мето використовуються різні метода, 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

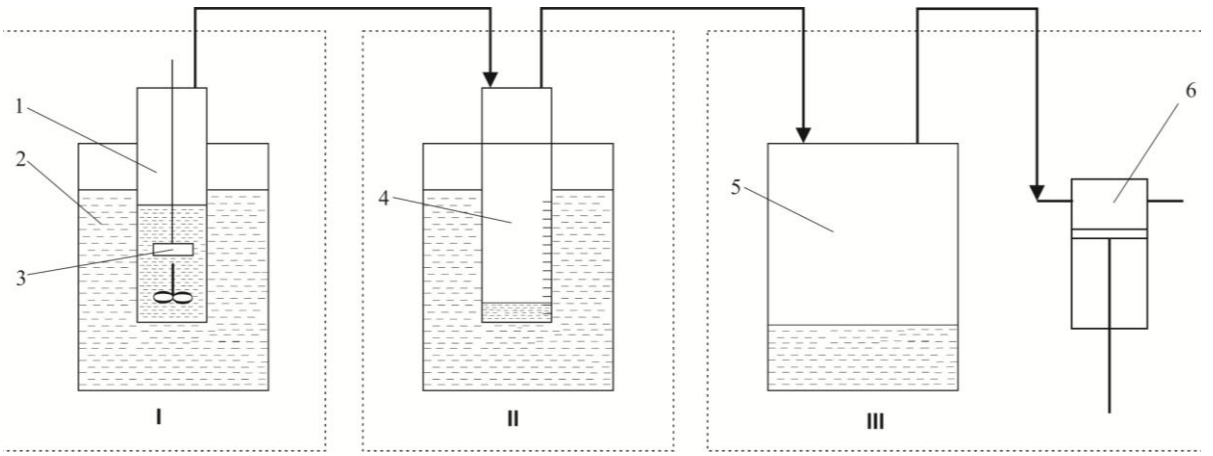
масообміну у системах з твердою фазою та їх закономірності наведено у [2]. Дослідження процесів екстрагування свідчить про низькі значення кінетичних коефіцієнтів і, відповідно, великий час на їх проведення [3-4]. Введення у систему тверде тіло – рідина газової фази перетворює її у трифазну. Газова фаза 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 купруму 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 купруму сульфату з капілярів циліндричної форми. Нами досліджувався процес екстрагування з капіляру, внутрішній діаметр якого становив 0,8 мм. Капіляр заповнювався порошкоподібним купрумом сульфату та набивка утрамбовувалась тонкою стальною проволокою з метою наближення густини набивки до густини монолітної твердої речовини. Зважуванням капіляру з набивкою та вільного визначалась дійсна густина набивки ρ_S .

Досліди проводились на експериментальній установці (рис.1). Установка 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 75^0C, 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 купруму сульфату у капілярі.

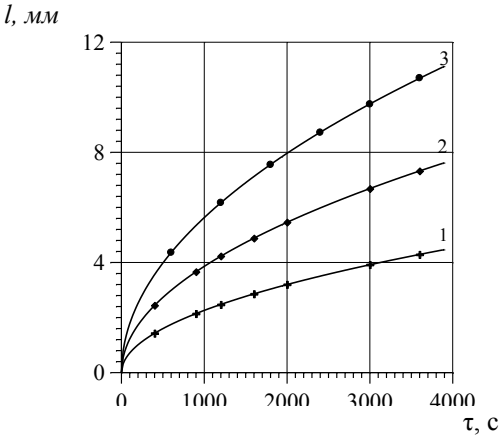
Блок II використовувався для заміру кількості випареної води через конденсацію пари у конденсаторі- вимірнику 4 , який поміщався у ємкість з холодною водою. Вакуум у системі створювався за допомогою вакуум-насоса 6, який з'єднаний з конденсатором- вимірником 4 через буферну ємкість 5, яка убезпечувала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



1 –апарат-екстрактор; 2-термостат, 3 – капіляр з набивкою купрум сульфату; 4-конденсатор-вимірник сконденсованої пари; 5 – буферна ємкість, 6 – вакуум-насос

Рис.1. Схема експериментальної установки.

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 дифузією. 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 відірвалась, приходить свіжа рідина з концентрацією екстрагованої речовини, що наближається до нуля. Це створює значну рушійну силу і, відповідно, збільшується масовіддача.



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

Рис. 2. Границя розчинення купруму сульфату *l* у залежності від часу екстрагування τ за умов проведення процесу.

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 75^0С. Ця температура підтримувалась протягом усього процесу екстрагування. Перемішування рідини здійснювалось магнітною мішалкою. Звичайно підвищення температури є одним із методів інтенсифікації екстрагування твердих компонентів з інертної твердої фази. Процес екстрагування під час вакуумування проводився для двох випадків: підтримування 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 τ**.**

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

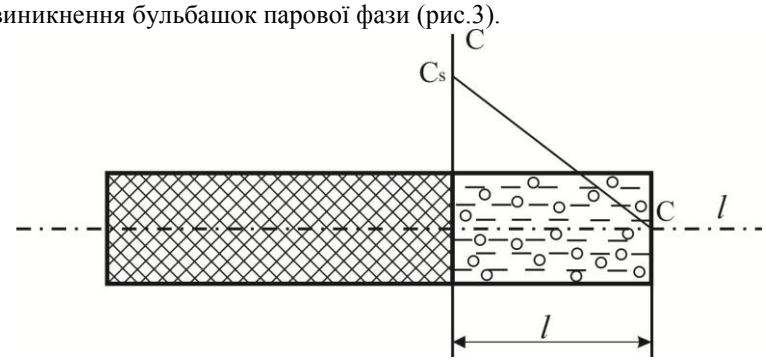


Рис. 3. Схема процесу екстрагування з одинарного капіляра та розподіл концентрацій.

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 τ зона розчинення всередині капіляра перемістилась на довжину ***l***. Кінетичне рівняння, що описує розчинення елементарної ділянки твердої фази ***dl***, має вид

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

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.

Виразивши масу твердої речовини через її об'єм та густину

$$dM = \rho_S \cdot F \cdot dl, \tag{2}$$

одержуємо диференціальне рівняння, що встановлює швидкість переміщення зони розчинення

$$\frac{dl}{d\tau} = \frac{D^*}{\rho_S}\frac{C_S - C_n}{l}. \tag{3}$$

Інтегрування рівняння (3) дає результат

$$\frac{l^2}{2} = \frac{D^*}{\rho_S}(C_S - C_n)\cdot\tau. \tag{4}$$

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^*.

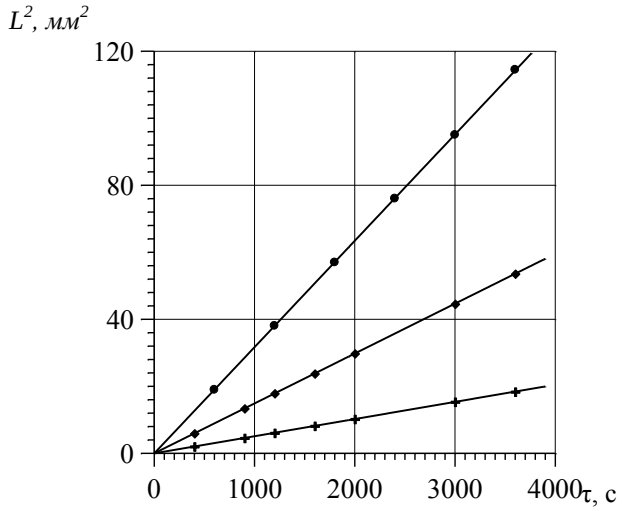


Рис.4. Залежність $l^2 = f(\tau)$ (позначення відповідають рис.2).

Використовуючи фізичні характеристики даної системи: концентрація насичення купруму сульфату за температури 75 °С складає 550 г/дм^3 та густину набивки капіляра з рис.4, визначався тангенс кута нахилу прямих α, який дорівнює

$$tg\,\alpha = 2\cdot\frac{D^*}{\rho_s}\cdot(C_S - C_n). \tag{5}$$

Визначений згідно залежності (5) ефективний коефіцієнт дифузії для трьох розглянутих випадків має наступні значення для температури 75°С

Процес екстрагування	$D^*\cdot 10^9,\ м^2/с$	$D^*/D_{мех.\ пер.}$
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 ukladzie cialo stale – ciecz/ **G.** Aksielrud, W. Lysianski. **–** Warszawa: Wydaw, Nauk.- Techn., 1978.- 275s.

2. Натареев С.В. Массоперенос в системе с твердым телом/Н.С.Натареев, Н.Р. Кокина, О.С. Натареев, 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.Коляновська// 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., Гумницькмй 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. Гумницкий Я.М. Экстрагирование твердого вещества из линейных капилляров при периодическом кипении под вакуумом // Я.М.Гумницкий, В.Н.Сенькив - Теор. основы хим. технологии - 2006.- т.40, № 3.- С.1-6.

14. Гумницкий Я.М. Исследование влияния гидродинамических условий на экстрагирование вещества из линейных капиляров // Я.М.Гумницкий, В.Н.Сенькив – Вопросы химии и хим. технологии. – 2006.- №3.- С.157-161.

15.Gumnitsky J., Yurym M., Osman A. The transfer during dissolring solids in condition of gas supply and in vacuum / Konferencija naukowa Inzenerija chemiczna. – Krakow. – 1994. – T.1. - S. 319-326.

Referenses

1. Aksielrud **G.**, Lysianski W. **(**1978) Ekstrakcja w ukladzie cialo stale (in ciecz) Warszawa: Wydaw, Nauk.- Techn., 275.

2. Natareev, S. V., Kokina, N. R., Natareev, O. S., & Dubkova, E. A. (2015). Massoperenos v sisteme s tverdyim telom. Teoreticheskie osnovyi himicheskoy tehnologii, 49(1), 74-74.

3. Semenishin, E. M., Trotskiy, V. I., & Fedorchuk-Moroz, V. I. (2004). OsoblivostI ekstraguvannya tsIlovih komponentIv z poristih struktur. Naukoviy vIsnik NLTU UkraYini, 14(4). 317 – 321.

4. Bandura, V. M., & Kolyanovska, L. M. (2014). Rozrobka tehnologIchnoyi shemi ekstraguvannya oliyi z dopomogoyu mIkrohvilovogo intensifIkatora. *Naukovi Pratsi* [Sci. Works. Odessa national academy of food technologies], (45 (3)), 39-42.

5. Simak, D. M., Gumnitskiy, Ya. M., & Petrus, R. (2015). IntensifIkatsiya masoobminnih protsesiv za dopomogoyu gazovoyi fazi. *Materials of the XVIII International Conference "Problems and Prospects for the Realization of Scientific Research".* Chernivtsi, Bukovina Economic Foundation. -Chernivtsi. 31-34.

6. Burdo, O. G. (2008). Energeticheskiy monitoring pischevyih proizvodstv. Odessa: Poligraf, 244.

7. Burdo, O. G., & Ryashko, G. M. (2007). Ekstragirovanie v sisteme «kofe-voda». 176.

8. Yurim I.M., Gumnitskmy Ya.M. (1998) GIdrodinamIka paroutvorennya v umovah vakuumuvannya. *VIsnik Derzh. un-tu «LvIvska polI-tehnIka».* LvIv. 339. 126-128.

9. Gumnitskiy, Ya. M., & Maystruk, I. M. (1999). IntensifIkatsIya protsesu fIzichnogo rozchinennya v trohfaznIy sistemI pri rozrIdzhennI. *Himichna promislovist Ukrayini*, (2), 23-26.

10. Gumnitskiy, Ya. M., Simak, D. M., & Nagurskiy, O. A. (2015). Rozchinennya tverdih tIl u trifaznIy sistemI, utvorenIy vakuumuvannyam. *Naukovi Pratsi* [Sci. Works. Odessa national academy of food technologies], (47 (1)), 130-133.

11. Gumnitskiy Ya.M., Atamanyuk V.M., Simak D.M. (2017) KInetika ekstraguvannya mIdI sulfatu z poristih chastinok. IntegrovanI tehnologiyi ta energozberezhennya. 4. 23-27

12. Gumnitskiy Ya.M., Venger L.O., Yurim M.F. (2003) KInetika ekstraguvannya tsilovogo komponentu z poodinokogo kapIlyaru v umovah vakuumuvannya sistemi. *Visnik NU»Lvivska politehnika».* LvIv,. 488. 220-222..

13. Gumnitskiy, Ya. M., & Senkiv, V. N. (2006). Ekstragirovanie tverdogo veschestva iz lineynyih kapillyarov pri periodicheskom kipenii pod vakuumom. *Teoreticheskie osnovyi himicheskoy tehnologii*, 40(3), 272-277.

14. Gumnitskiy Ya.M., Senkiv V.N. (2006) Issledovanie vliyaniya gidrodinamicheskih usloviy na ekstragirovanie veschestva iz lineynyih kapilyarov. *Voprosyi himii i him. tehnologii*. 3. 157-161.

15.Gumnitsky J., Yurym M., Osman A. (1994) The transfer during dissolring solids in condition of gas supply and in vacuum. *Konferencija naukowa Inzenerija chemiczna*. – Krakow. 1. 319-326.

Отримано в редакцію 17.05.2018 Received 17.05.2018
Прийнято до друку 26.06.2018 Approved 26.06.2018