

**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

Одеська національна академія харчових технологій, 2017 р.

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров
Богдан Вікторович
Бурдо
Олег Григорович
Атаманюк
Володимир Михайлович
Васильєв
Леонард Леонідович
Гавва
Олександр Миколайович
Гумницький
Ярослав Михайлович
Долинський
Анатолій Андрійович
Зав'ялов
Владимир Леонідович
Керш
Владимир Яковлевич
Колтун
Павло Семенович
Корнієнко
Ярослав Микитович
Малежик
Іван Федорович
Михайлов
Валерій Михайлович
Паламарчук
Ігор Павлович
Снежкін
Юрій Федорович
Сорока
Петро Гнатович
Тасімов
Юрій Миколайович
Товажнянський
Леонід Леонідович
Ткаченко
Станіслав Йосифович
Ульєв
Леонід Михайлович
Черевко
Олександр Іванович
Шит
Михайл Львович

- голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
- вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
- Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
- Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
- Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАНУ
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Одеська державна академія будівництва та архітектури, д.т.н., професор
- Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
- Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
- Вінницький національний аграрний університет, д.т.н., професор
- Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., член-кор. НАНУ
- Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
- Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
- Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
- Національний технічний університет Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
- Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.

АНАЛІЗ ОПОРІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ РЕЧОВИНИ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ ПРИ НАНОФІЛЬТРАЦІЇ ТА ЗВОРОТНОМУ ОСМОСІ

Гулієнко С.В., к.т.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ

ANALYSIS OF PROTECTION OF SUBSTANCE TRANSFER BY MEMBRANE IN NANOFILTRATION AND REFRACTORY OSMOS

Gulienko SV, Ph.D.

National Technical University of Ukraine

"Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Kyiv

Анотація: Наведено аналіз найбільш поширених моделей концентраційної поляризації та процесу перенесення речовини через мембрану з урахуванням цього явища та відмічено межі їх ефективного використання. Розглянуто опір перенесенню речовини через мембрану та існуючі методи їх визначення. Встановлено перспективні напрямки подальших досліджень в цій галузі.

Abstract: The analysis of most common models of concentration polarization and process of mass transfer through the membrane with taking in to account of this phenomenon are represented and the limits of its using are lined up. The resistance of mass transfer through the membrane and existing methods of its determination are considered. The perspective directions in this field are determinated.

Ключові слова: мембранне розділення; концентраційна поляризація, опір, перенесення маси, осад.

Key words: membrane separation; Concentration polarization, resistance, mass transfer, precipitate.

Вступ. При моделюванні та прогнозуванні роботи баромембранних процесів, в першу чергу зворотного осмосу та нанофільтрації, необхідно враховувати всі ключові фактори, що впливають на процес. При цьому необхідно враховувати, що одним з основних обмежень в роботі мембранного обладнання є явища концентраційної поляризації та утворення неорганічних та органічних осадів на поверхні мембрани [1, 2]. Ці явища не лише погіршують техніко-економічні показники процесів мембранного розділення, але й ускладнюють моделювання процесів. Зокрема, як зазначається в [2], незважаючи на екстенсивні дослідження, фундаментальні механізми та процеси, що включені до утворення шару концентраційної поляризації та осадів на поверхні мембрани повністю залишаються не визначеними.

В останні роки були розвинені методи визначення опору шару осаду [3], тоді як надійних методів визначення опору шару концентраційної поляризації в джерелах не було виявлено. Більшість теоретичних робіт присвячених явищу концентраційної поляризації розглядають закономірності зміни концентрації в та перенесення маси в пограничному шарі [4, 5].

Метою роботи є аналіз опорів перенесення речовини через мембрану в процесах нанофільтрації та зворотного осмосу, а також методів їх визначення, та встановлення ефективності існуючих методів та визначення перспективних напрямків досліджень в цій галузі.

Теоретичний аналіз.

Для аналізу явища концентраційної поляризації було запропоновано ряд моделей [1, 2], найбільш поширеними при розгляді баромембранних процесів є плівкова модель та модель осмотичного тиску.

Згідно плівкової моделі концентрація в пограничному шарі може бути визначена зі співвідношення [1]:

$$\frac{c_m}{c_b} = \frac{\exp\left(\frac{J}{k}\right)}{R + (1 - R) \exp\left(\frac{J}{k}\right)} \quad (1)$$

де c_m – концентрація розчинених речовин біля поверхні мембрани, кг/м^3 ; c_b – концентрація розчинених речовин ядрі потоку, кг/м^3 ; J – потік речовини через мембрану, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; K – коефіцієнт масовіддачі, м/с ; R – коефіцієнт розділення.

Рівняння (1) дозволяє визначати профіль концентрації в пограничному шарі, однак для цього необхідно знати параметри мембрани (питому проникненість) та масообміну в напірному каналі мембранного модуля (коефіцієнт масовіддачі). Подальший розвиток така модель набула в роботах [4, 5] в тому числі розширенням до розгляду процесу у двовимірному просторі. Однак, плівкова модель не дозволяє прогнозувати потік речовини через мембрану, тому в таких випадках доцільно використати моделі, що враховують опір перенесенню [1, 2]: для ультрафільтрації модель селевого шару, для зворотного осмосу – модель осмотичного тиску. Згідно останньої потік через мембрану може бути представлений [2]:

$$J = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu R_T} \quad (2)$$

де Δp – трансмембранний тиск, Па; $\Delta \pi$ – трансмембранна різниця осмотичних тисків, Па; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості розділюваного розчину, $\text{Па} \cdot \text{с}$; R_T – загальний опір перенесенню речовини через мембрану, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Загальний опір перенесенню визначається як сума таких складових [1, 2]:

$$R_T = R_m + R_{cp} + R_c + R_p \quad (3)$$

де R_m – опір мембрани $\text{м}^2/\text{м}^3$; R_{cp} – опір шару концентраційної поляризації $\text{м}^2/\text{м}^3$; R_c – опір шару осаду, $\text{м}^2/\text{м}^3$; R_p – опір заблокованих пор.

Опір мембрани може визначатися властивостями самої мембрани та мембранного матеріалу і, як правило, в ході розділення його зміна нехтовно мала. Його значення може бути визначене експериментально [2] або, залежно від властивостей мембран з використанням рівнянь Хагена-Пуазейля або Козені-Карамана [1].

Опір шару осаду залежить від товщини шару осаду і може бути представлений у вигляді [2]:

$$R_c = \alpha \cdot \delta \quad (4)$$

де δ – товщина шару осаду, м; α – питомий опір осаду, $\text{м}^2/\text{м}^4$.

Для нестисливих осадів, питомий опір може бути визначений на основі рівняння Кармана [2]:

$$\alpha = \frac{180(1 - \varepsilon)}{\rho d_p^2 \varepsilon^2} \quad (5)$$

де ε – пористість шару осаду; ρ – густина шару осаду, кг/м^3 ; d_p – діаметр частинок осаду, м.

У випадку стисливих осадів процес дещо ускладнюється, однак роботі [3] були розглянуті методи врахування цього явища. Зокрема відмічається, що зміна питомого опору шару осаду, може бути врахована, наприклад, за допомогою залежності [3]:

$$\alpha = \alpha_0 \left(1 + \frac{\Delta p_c}{p_0} \right) \quad (6)$$

де α_0 – питомий опір шару осаду при стандартному тиску, $\text{м}^2/\text{м}^4$; p_0 – початковий тиск, Па; Δp_0 – перепад тиску через шар осаду, Па.

Крім того, в роботі [3] отримані кореляційні залежності для визначення величин, що входять до складу рівняння (5) як функції потоку речовини через мембрану.

Отже, опір шару мембрани та опір шару осаду може бути відносно легко визначеним за існуючими методами. Враховуючи, блокування пор для процесів нанофільтрації та зворотного осмосу не характерний, тому за умов наявності методик визначення опору шару концентраційної поляризації рівняння (2) стає ефективним та зручним засобом прогнозування потоку речовини через мембрану. Однак надійних залежностей для визначення опору шару концентрації на разі відсутні, крім того,

виникає додаткова складність, пов'язана з тим, що опір шару осаду і опір шару концентраційної поляризації не є незалежними один від одного [3].

В роботі [6] відмічається, що відсутні відомі методи для визначення опору шару концентраційної поляризації, однак відомо, що його величина залежить від кількості відділених частинок в шарі концентраційної поляризації, що в свою чергу є функцією потоку пермеату. Отже опір шару концентраційної поляризації зв'язаний з потоком пермеату. Більш того, в [6] вказується, що на відміну від опору шару концентраційної поляризації, перепад тиску через цей шар визначити відносно просто. Зокрема показано, що перепад тиску через шар концентраційної поляризації (названий критичним тиском) є постійним (названий критичним тиском), коли на поверхні мембрани наявний шар концентраційної поляризації. Критичний тиск не залежить від прикладеного тиску та потоку пермеату і визначається виключно термодинамічними властивостями розділюваної системи. Для монодисперсної системи критичний тиск може бути визначений за рівнянням [6]:

$$\Delta p_c = \frac{3kT}{4\pi a_p^3} N_{Fc} \quad (7)$$

де k – стала Больцмана, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – абсолютна температура, К; a_p – радіус частинки, м; N_{Fc} – критичне число фільтрації, яке визначається залежно від форми частинок та їх концентрації.

В такому разі рівняння (2) може бути модифіковане і потік через мембрану з урахуванням опору концентраційної поляризації може бути представлений у вигляді (без врахування опору заблокованих пор):

$$J = \frac{\Delta p - \Delta \pi - \Delta p_c}{\mu(R_m + R_c)} \quad (8)$$

Рівняння (7) виявляється ефективним лише для випадків мікро фільтрації суспензій, оскільки такий процес наближений до традиційної фільтрації, а величина критичного тиску достатньо точно може бути визначена лише для випадку монодисперсних суспензій. В той же час, при нанофільтрації та зворотному осмосі розділяється розчини низькомолекулярних частинок. Крім того, в цьому рівнянні не враховуються гідродинамічні параметри, які визначають інтенсивність масообміну в напірному модулі, що, згідно рівняння (2) визначає профіль концентрації в пограничному шарі. Також не враховується взаємний вплив шару осаду і шару концентраційної поляризації. Тому для розглядуваного випадку така методика є ненадійною.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Модель осмотичного тиску є може бути ефективним засобом прогнозування продуктивності мембранних установок для процесів зворотного осмосу і нанофільтрації, з урахуванням усіх можливих опорів перенесенню речовини через мембрану. Основною складністю використання цієї моделі є відсутність надійних залежностей для розрахунку опору шару концентраційної поляризації. Тому важливим напрямком подальших досліджень є визначення величини цього опору, зокрема з урахуванням параметрів масообміну та гідродинамічних умов в модулі. Зокрема доцільно експериментально перевірити можливість представлення цієї величини для визначення цієї величини методів теорії подібності та аналізу розмірності.

Попередній аналіз дозволяє встановити таке. Концентрація розчинених речовин біля поверхні мембрани, зростання якої обумовлює опір перенесенню, згідно рівняння (2) є функцією від коефіцієнта масовіддачі, який в свою чергу залежить від гідродинамічних умов в модулі. Тому логічним є припущення, що величина опору шару концентраційної поляризації може бути функцією критерію Рейнольда та критерію Шмідта. Крім того, на величину концентрації в пограничному шарі впливає величина потоку, яка може бути врахована за допомогою модифікованого критерію Пекле [7].

Висунуті в результаті переднього аналізу, дозволяють розробити методику експериментальних досліджень та перевірки висунутих гіпотез.

Визначення закономірностей зміни опору шару концентрації в різних умовах проведення процесу та встановлення надійних залежностей для визначення опору шару концентраційної поляризації дозволить більш ефективно використовувати модель осмотичного тиску для прогнозування продуктивності мембранних установок.

Література

1. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – 513 с. ил.
2. Shirazi S., Lin C.-J., Chen D. Inorganic fouling of pressure-driven membrane processes – A critical review // Desalination. – 2010. – Vol. 250. – p. 236-248.
3. Sioutopoulos D., Karabelas A. The effect of permeation flux on specific resistance of polysaccharide fouling layers developing during dead-end ultrafiltration // Journal of Membrane Science. – 2015 – Vol. 473. – P. 292-301.
4. Amokranea M., Sadaoui D., Koutsou C.P., Karabelas A.J., Dudeck M. A study of flow field and concentration polarization evolution in membrane channels with two-dimensional spacers during water desalination // Journal of Membrane Science. – 2015 – Vol. 477. – P. 139-150.
5. Nekhamkina O., Sheintuch M. Approximate models of concentration-polarization in Pd-membrane separators. Fast numerical analysis // Journal of Membrane Science. – 2016 – Vol. 500. – P. 136-150.
6. Song L. Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration mechanism and modeling of membrane fouling // Journal of Membrane Science. – 1998 – Vol. 139. – P. 183-200.
7. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы: теория и расчет. – М. Химия, 1986

УДК 663.938

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПРОТИТЕЧІЙНОГО ЕКСТРАКТОРА

Левтринська Ю.О., аспірант, Зиков А.В., к.т.н., доцент, Терзієв С.Г., д.т.н., доцент
Одеська національна академія харчових технологій

MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF MICROWAVE COUNTER FLOW EXTRACTOR

Levtrinska Yu.O., postgrad. stud., Zykov A.V., Ph.D., assoc. prof.,
Terziev S.G., d.t.sc., assoc. prof.
Odessa National Academy of Food Technologies

Анотація. Проаналізовано проблеми моделювання процесу екстрагування у умовах протитечієного руху екстрагенту і твердої фази в умовах мікрохвильового поля. Обґрунтовано доцільність розрахунку та оптимізації мікрохвильових екстракторів. Визначено основні параметри для розрахунку масопереносу в екстракторі. За допомогою методики аналізу розмірностей 12 шуканих параметрів зведено до 3. Узагальнено результати серії досліджень, проведених з використанням меленої кави. Отримано математичну модель у критеріальному вигляді для мікрохвильового екстрактора. Проведено порівняння чисел Стантона розрахункових та отриманих на основі експериментальних даних. Обґрунтовано вибір параметрів оптимізації. Визначено цільову функцію оптимізації. Розроблено програму оптимізації створену на базі мови програмування Borland Delphi.

Abstract. The problems of modeling the extraction process under the conditions of the countercurrent motion of the extractant and the solid phase in the conditions of the microwave field are analyzed. The expediency of calculation and optimization of microwave extractors is substantiated. The basic parameters for calculation of mass transfer in the extractor are determined. On input – indicators characterizing the extractant (initial and final temperature, viscosity, specific heat, density), solid phase (concentration of extractives, density, porosity and thickness of the layer, equivalent diameter of the particle), apparatus (mass and dimensions, extraction of extractant and product), power supply system (rated power, frequency and number of radiators). At the output – the concentration of the extract and specific power. The parameters for calculating the microwave extractor are determined. Using the method of analysis of the dimensions of 12 required parameters is reduced to 3. The results of a series of studies conducted with ground coffee are summarized. The results are presented in the form of tables and charts. The calculations were carried out with using the theory of similarity and dimensional analysis method. The results of calculations of the concentration differences in the solid phase and in the extract, relative error, mass flow, effective mass transfer coefficient, Reynolds and Stanton numbers, etc. are presented, under the influence of the microwave field. Dependences of the parameters of the coefficient of mass deducing on the power of the microwave field and on the thickness of the product layer. A mathematical model is obtained in a criterion for a microwave extractor. A comparison was made between Stanton numbers calculated and obtained based on experimental data. The choice of optimization parameters has been discussed. The target optimization function has been determined by traditional methods of coordinate descent and Gauss-

Безбах И. В., Кепин Н. И.	
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЭКСТРАКЦИИ, ИСПОЛЗУЮЩИХСЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ	
Недбайло А. Є.	285
КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	
Тришин Ф. А., Терзиев С. Г., Орловская Ю. В.	289

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОНВЕКТИВНО – ТЕРМОРАДІАЦІЙНОГО СУШІННЯ	
Малежик І. Ф., Бурлака Т. В., Дубковецький І. В., Деканський В. Є.	296
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОМІРЧАСТОЇ МОДЕЛІ ІЗ ЗВОРОТНИМИ ПОТОКАМИ В ВІБРОЕКСТРАКТОРАХ	
Мистюра Т. Г., Зав'ялов В. Л., Лобок О. П., Попова Н. В., Запорожець Ю. В.	302
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІННОВАЦІЙНИХ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ПОЛІМЕРІВ	
Бухкало С. І.	309
ДОСВІД РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНО - ІНТЕГРОВАНОГО СТЕНДУ ДЛЯ СУПРОВОДУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОДНЕННЯ В СЕРЕДОВИЩІ МІКРОХВИЛЬОВОГО-ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ	
Яровий І. І.	313
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВОГО КЛАСТЕРА В ПРОЦЕССАХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ	
Иваницкий Г. К.	319
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭКСТРАКТА СТЕВИИ В МИКРОВОЛНОВОМ ВАУУМ-ВЫПАРНОМ АППАРАТЕ	
Бурдо О. Г., Ружицкая Н. В., Резниченко Т. А., Резниченко Д. Н.	322
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ РОЗПЛАВУ КОМПОЗИЦІЇ ПОЛІЕТИЛЕН – КАУЧУК	
Гоцький Я. Г., Двойнос Я. Г.	327
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	
Бурдо О. Г., Давар Ростами Пур	335
ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ ТА ПІКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОТИ	
Остапенко О. П.	331
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ТОРФА И БИОМАССЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВ	
Снежкин Ю. Ф., Коринчук Д. Н.	337
ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ВЫМОРАЖИВАНИЯ БЛОКА ЛЬДА	
Тришин Ф. А., Трач А. Р.	343
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	
Бурдо О. Г., Давар Ростами Пур, Масельская Я. А.	347
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИКРОВОЛНОВОЙ ЛЕНТОЧНОЙ СУШИЛКИ	
Бурдо О. Г., Маренченко Е. И., Пилипенко Е. А., Балагура В. В.	355
АНАЛІЗ ОПОРІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ РЕЧОВИНИ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ ПРИ НАНОФІЛЬРАЦІЇ ТА ЗВОРОТНОМУ ОСМОСІ	
Гулієнко С. В.	364
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОТИТЕЧІЙНОГО ЕКСТРАКТОРА З ПІДВОДОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ	
Левтринська Ю. О., Зиков А. В., Терзів С. Г.	367
К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ КАПЕЛЬ ХЛАДАГЕНТА В ФИЛЬТРЕ ЭЖЕКТОРЕ	
Когут В. Е., Бушманов В., Хмельнюк М. Г.	374