

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



**Матеріали
V Міжнародної
науково-практичної конференції**

***«Мембранні процеси
та обладнання в харчових
технологіях та інженерії»***

3 – 4 листопада 2020 р.

НУХТ, Київ 2020

Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Мембранні процеси та обладнання в харчових технологіях та інженерії», 3 – 4 листопада 2020 р. – К.: НУХТ 2020. – 54 с.

Видання містить матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Мембранні процеси та обладнання в харчових технологіях та інженерії». Розглянуто проблеми застосування мембранних технологій в переробній та харчовій промисловості: теоретичні засади застосування мембранних технологій в харчовій промисловості; розробка та застосування полімерних та керамічних мембран в харчовій промисловості; сучасне обладнання для реалізації мембранних процесів; застосування мембранних технологій в підготовці питної води та в очищенні промислових стічних вод.

Розраховано на науковців, дослідників та інженерно-технічних працівників, які займаються означеними проблемами в переробній та харчовій промисловості.

Редакційна колегія: Шевченко О.Ю., Барига А., Бурбан А.Ф., Дейниченко Г.В., Дзязько Ю.С., Кучерук Д.Д., Левич Л., Мельник Л.О., Мирончук В.Г., Змієвський Ю.Г., Корнієнко Л.В., Захаров В.В.

Організаційний комітет

Голова комітету – *Шевченко О.Ю.*, д.т.н., проф., проректор з наукової роботи Національного університету харчових технологій;

Заступник голови – *Мирончук В.Г.*, д.т.н., проф., зав. кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування Національного університету харчових технологій;

Члени організаційного комітету:

Блаженко С.І. – к.т.н., доц., директор ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого Національного університету харчових технологій;

Змієвський Ю.Г. – д.т.н., доц. кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування Національного університету харчових технологій;

Дзязько Ю.С. – д.х.н., пров.н.с. лабораторії сорбційних та мембранних матеріалів Інститут загальної та неорганічної хімії ім.В.І. Вернадського НАН України;

Дейниченко Г.В. – д.т.н., проф. зав. кафедри процесів та устаткування харчової та готельно-ресторанної індустрії ім. М.І. Беляєва Харківського державного університету харчування та торгівлі;

Корнієнко Л.В. – к.т.н., доц. кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування Національного університету харчових технологій;

Захаров В.В. – к.т.н., асистент кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування Національного університету харчових технологій;

Акутіна Н.В. – пров. інж. відділу Інтелектуальної власності НУХТ;

Відповідальний секретар: *Вересоцька Н.В.* – завідувач лабораторії САПР кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування Національного університету харчових технологій.

ЗМІСТ

1.	APPLICATION OF NANOFILTRATION METHODS FOR DESALINATION OF WEAKLY MINERALIZED WATERS <i>Тетяна Верещук</i>	6
2.	THE PRE-TREATMENT METHODS IN REVERSE OSMOSIS SYSTEMS <i>Hlushchuk Valeria, Inna Trus</i>	9
3.	МОДИФІКУВАННЯ ПОЛІВІНІЛІДЕНФЛУОРИДНИХ МЕМБРАН ДОФАМІНОМ <i>Г.С. Бубела, В.В. Коновалова, І.С. Колесник, А.Ф. Бурбан</i>	12
4.	УТОЧНЕННЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА ПЕРЕНЕСЕННЯ МАСИ ПРИ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ <i>Сергій Гулієнко, Марина Метліна</i>	14
5.	PRELIMINARY HYDRODYNAMIC WATER SOLUTIONS TREATMENT IN THE TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTION <i>Iryna Dubovkina</i>	17
6.	ВПЛИВ СУПУТНИХ ІОНІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЗНЕФТОРЕННЯ ВОДИ МОДИФІКОВАНОЮ КЕРАМІЧНОЮ МЕМБРАНОЮ <i>Тетяна Дульнева, Людмила Деремешко, Дмитро Кучерук</i>	18
7.	ВСТАНОВЛЕННЯ ВИДУ ЗАКУПОРКИ ПОР ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ УЛЬТРАФІЛЬТРУЮЧОЇ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНОЇ ВОДИ <i>Василь Дячок</i>	21
8.	ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РОБОЧОГО ТИСКУ НА ПРОЦЕС УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ БІЛКОВО-ВУГЛЕВОДНОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ <i>Захар Мазняк, Інна Золотухіна, Ілля Соломаха</i>	22
9.	МЕМБРАННІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВОДООЧИЩЕННЯ <i>Софія Існюк, Інна Трус</i>	25
10.	ВИКОРИСТАННЯ МЕМБРАННОЇ ЕМУЛЬСИФІКАЦІЇ ДЛЯ ІММОБІЛІЗАЦІЇ КАЛЬЦІЙ ПАНТОТЕНАТУ В МІКРОЕМУЛЬСІЇ НА ОСНОВІ ХІТОЗАНУ <i>Тамара Михайлова, Вікторія Коновалова, Сергій Царик, Тетяна Мешкова, Маринін Андрій Іванович</i>	28
11.	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ ПРИ РОЗДІЛЕННІ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПЕРМЕАТУ ПІСЛЯСПИРТОВОЇ ЗЕРНОВОЇ БАРДИ <i>Андрій Музиченко, Людмила Корнієнко</i>	32
12.	КОМПОЗИТНІ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНІ МЕМБРАНИ З ІНКОРПОРОВАНИМИ ДИСПЕРГОВАНИМИ ОКСИДНИМИ НАНОЧАСТИНКАМИ	

	<i>Людмила Рождественська, Олег В'юнов, Катерина Куделко, Людмила Пономарьова, Олександр Більдюкевич, Тетяна Пліско, Володимир Захаров.....</i>	34
13.	ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОДИ ВІД ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ МОДИФІКОВАНОЮ КЕРАМІЧНОЮ МЕМБРАНОЮ <i>Тетяна Дульнева, Людмила Деремешко, Юлія Поварова.....</i>	37
14.	ЗНЕСОЛЕННЯ ТА ГРАНИЧНЕ КОНЦЕНТРУВАННЯ ХЛОРИДНИХ СОЛОНУВАТИХ ВОД ЕЛЕКТРОДІАЛІЗАТОРОМ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ <i>Людмила Деремешко, Маргарита Балакіна, Дмитро Кучерук.....</i>	40
15.	БІОТЕСТУВАННЯ ВОДИ Р. ДНІПРО <i>Ольга Семінська, Маргарита Балакіна, Олександра Осмалена.....</i>	42
16.	СТАБІЛІЗАЦІЙНА ОБРОБКА РОЗЧИНІВ ПЕРЕД НАНОФІЛЬТРАЦІЙНИМ ЗНЕСОЛЕННЯМ <i>Інна Трус, Микола Гомеля.....</i>	43
17.	TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF SORGHUM SACCHARATUM SYRUP PRODUCTION BY MEMBRANE TECHNOLOGIES <i>Vadym Chibrikov, Polina Vakuliuk, Natalia Hryhorenko, Sergiy Gunko.....</i>	46
18.	ПЕРЕРОБКА НАНОФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПЕРМЕАТУ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ПРИРОДНИХ КОНЦЕНТРАТІВ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН <i>Юрій Змієвський, Володимир Захаров, Валерій Мирончук, Людмила Корнієнко.....</i>	49
19.	ДІАНАНОФІДТРАЦІЯ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ЕЛЕКТРОДІАЛІЗУ В ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБЛЕННЯ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ <i>Юрій Змієвський, Валерій Мирончук.....</i>	52

1. APPLICATION OF NANOFILTRATION METHODS FOR DESALINATION OF WEAKLY MINERALIZED WATERS

Тетяна Верещук

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

tatianakoren2000@gmailcom

Introduction. Water pollution is the contamination of [water bodies](#), usually as a result of human activities. Water bodies include for example [lakes](#), [rivers](#), [oceans](#), [aquifers](#) and [groundwater](#). Water pollution results when [contaminants](#) are introduced into the natural environment. For example, releasing inadequately treated [wastewater](#) into natural water bodies can lead to [degradation](#) of [aquatic ecosystems](#). In turn, this can lead to [public health](#) problems for people living downstream. They may use the same polluted river water for drinking or bathing or [irrigation](#). Water pollution is the leading worldwide cause of death and disease, e.g. due to [water-borne diseases](#) [1].

Water pollution can be classified as [surface water](#) or [groundwater](#) pollution. [Marine pollution](#) and [nutrient pollution](#) are subsets of water pollution. Sources of water pollution are either [point sources](#) or [non-point sources](#). Point sources have one identifiable cause of the pollution, such as a [storm drain](#) or a [wastewater treatment plant](#). Non-point sources are more diffuse, such as [agricultural runoff](#). Pollution is the result of the cumulative effect over time. All plants and organisms living in or being exposed to polluted [water bodies](#) can be impacted. The effects can damage individual [species](#) and impact the natural [biological communities](#) they are part of.

The causes of water pollution include a wide range of [chemicals](#) and [pathogens](#) as well as physical parameters.

Contaminants may include [organic](#) and [inorganic](#) substances. Elevated temperatures can also lead to polluted water. A common cause of [thermal pollution](#) is the use of water as a [coolant](#) by [power plants](#) and industrial manufacturers. Elevated water temperatures decrease oxygen levels, which can kill fish and alter [food chain](#) composition, reduce species [biodiversity](#), and foster invasion by new [thermophilic](#) species. Water pollution is measured by analysing water samples. Physical, chemical and biological tests can be conducted. Control of water pollution requires appropriate [infrastructure](#) and management plans.

To date, existing wastewater treatment technologies provide a fairly effective treatment of colloidal and suspended solids, but the issue of purification from mineral substances remains unresolved. Therefore, in the surface water bodies of densely populated regions, the level of mineralization is constantly increasing. Baromembrane processes are widely used for water desalination. The advantages of baromembrane separation processes are low energy consumption due to the absence of phase transformations (membrane desalination of water requires 10-15 times less energy consumption than distillation); low temperatures allowing the separation of thermally unstable compounds. Their disadvantages include high operating pressures (especially for reverse osmosis), as well as a drop in selectivity and permeability with increasing concentration of solutions, due to concentration polarization - an increase

in the concentration of a solute at the membrane surface. To reduce the concentration polarization, flow turbulization, stirring, vibration can be used, which leads to concentration equalization [2–4]. The main problem in the implementation of these methods is the disposal of saline concentrates. In case of accumulation of sulfate anions in the concentrate, it is advisable to use reagent methods [1]. Since the concentration of sulphates in mine waters is much higher than the concentration of chlorides, which does not exceed 100–200 mg/dm³, the use of nanofiltration is a fairly effective method, since sulphates are extracted from the water at permissible concentrations of chlorides in the permeate [5, 6].

Materials and methods. For water desalination, an OPMN-P membrane was used. For research, we used tap water (Hardness = 3,9 mEq/dm³, $C_{Ca^{2+}}$ = 2,90 mEq/dm³, $C_{Mg^{2+}}$ = 1,00 mEq/dm³, Alkalinity = 3,75 mEq/dm³, $C_{SO_4^{2-}}$ = 25,67 mg/dm³, C_{Cl^-} = 20,08 mg/dm³, pH = 7,90) and the model solution is close in composition to low-mineralized water from the Isakievskoe reservoir in Alchevsk (Hardness = 9,40 mEq/dm³, $C_{Ca^{2+}}$ = 2,85 mEq/dm³, $C_{Mg^{2+}}$ = 6,55 mEq/dm³, Alkalinity = 4,40 mEq/dm³, $C_{SO_4^{2-}}$ = 600,00 mg/dm³, C_{Cl^-} = 106,00 mg/dm³, pH = 8,50).

Results. During desalination of tap water, the selectivity for sulfates in the first sample becomes 75–88 %, and with an increase in the degree of permeate sampling, it decreases to 50–70 %. For hardness ions only in the first sample, the selectivity exceeds 35 %, and with an increase in the degree of permeate sampling, it decreases to values less than 30%.

When desalting the model solution, the concentration of sulfates decreases from 600 mg/dm³ to 50–100 mg/dm³, while the hardness decreases from 12.5 mg-eq/dm³ to 1.0–3.1 mg-eq/dm³. Thus, the selectivity of the membrane for sulfates became 90–93 %, for hardness ions – 83–89 %. It should be noted that the membrane practically does not retain chlorides, and the selectivity for hydrocarbons was rather low.

The characteristics of the concentrates obtained by desalination of tap water and the model solution are given in tables 1, 2.

Table 1.

Dependence of the characteristics of concentrates of nanofiltration purification of tap water on the OPMN-P membrane depending on the operating pressure at a degree of permeate extraction of 70%.

P, MPa	$C_{SO_4^{2-}}$, mg/dm ³	C_{Cl^-} , mg/dm ³	A, mEq/dm ³	H, mEq/dm ³	$C_{Ca^{2+}}$, mEq/dm ³	$C_{Mg^{2+}}$, mEq/dm ³	pH
0,25	48,0	20,1	3,85	4,7	3,5	1,2	8,3
0,30	53,5	20,1	3,90	4,9	3,6	1,3	8,1
0,35	55,0	20,1	4,25	5,0	3,8	1,2	8,2
0,40	60,0	20,1	4,35	5,2	3,6	1,6	8,0

Demineralization of these concentrates can be carried out by reagent methods due to the precipitation of calcium sulfohydroxoaluminate, magnesium hydroxide and calcium carbonate, these processes are described in work [1]. This makes it possible

to reduce the salinity of the solutions to the levels allowed for skidding into the sewer or surface water bodies.

Table 2.

Dependence of the characteristics of the nanofiltration purification concentrates of the model solution on the OPMN-P membrane depending on the working pressure at the degree of permeate extraction of 70%

P, MPa	$C_{SO_4^{2-}}$, mg/dm ³	C_{Cl^-} , mg/dm ³	A, mEq/dm ³	H, mEq/dm ³	$C_{Ca^{2+}}$, mEq/dm ³	$C_{Mg^{2+}}$, mEq/dm ³	pH
0,25	1450	106,0	4,50	25,5	8,9	16,6	8,6
0,30	1580	106,0	4,50	26,8	8,8	18,0	8,6
0,35	1530	106,0	4,50	27,4	9,2	18,2	8,6
0,40	1490	106,0	4,50	27,0	9,5	17,5	8,6

Conclusions. During nanofiltration purification of weakly mineralized waters, their desalination occurs due to the removal of sulfates (up to 93 %) and partial softening of water (up to 89 %). Chlorides and hydrocarbons are practically not retained by the nanofiltration membrane.

References.

1. Trus I., Radovenchuk I., Halysh V., Skiba M., Vasylenko I., Vorobyova V., Hlushko O., Sirenko L. 2019. Innovative Approach in Creation of Integrated Technology of Desalination of Mineralized Water. Journal of Ecological Engineering. 20(8), 107–113.
2. Гомеля М.Д. Оцінка ефективності зворотньоосмотичного опріснення води після її пом'якшення на слабокислотному катіоніті / М.Д. Гомеля., І.М. Трус, В.М. Радовенчик // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 3. – С. 32-36.
3. Трус І.М. Вплив попереднього механічного доочищення води на ефективність зворотньоосмотичного опріснення води / І.М. Трус, М.Д. Гомеля, В.М. Радовенчик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 9 (198) Ч.2. – С. 197-202.
4. Трус І. М. Нейтралізація перміату зворотньоосмотичного опріснення води при її попередній обробці на катіоніті в кислій формі / І. М. Трус, А.І. Петриченко, М.Д. Гомеля // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 3 (67). – С. 85-90.
5. Гомеля М.Д. Нанофільтраційне опріснення слабомінералізованих вод / М. Д. Гомеля, І. М. Трус, В. М. Грабітченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2014. – № 1. – С. 98-102.
6. Гомеля Н.Д. Влияние стабилизационной обработки воды на слабокислотном катионите в кислой форме на качество нанофильтрационного опреснения шахтной воды / Н.Д. Гомеля, И.Н. Трус, Я.В. Радовенчик // Научный вестник национального горного университета. – 2014. – № 5 (143). – С. 100-105.

2. THE PRE-TREATMENT METHODS IN REVERSE OSMOSIS SYSTEMS

Hlushchuk Valeria

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

gvrmars@gmail.com

Inna Trus

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

inna.trus.m@gmail.com

Introduction. Fresh potable water resources are the most vital reservoirs in the world. It is important for all living organisms on earth to have access to adequate clean water. Available water resources are decreasing due to world population growth, developing industries, and long-time droughts. Contaminations of natural water resources with refractory pollutants discharging from industries make the water shortage worse even in rich water area. It is possible to store rainfall streams or storm water to control water shortage for a short time, but the best way is to treat and reuse wastewaters (polluted water coming from industries, businesses, and residences) [1, 2]. That is why this article describes such a cleaning method as baromembrane method. Advantages of reverse osmosis have led to its widespread in the last 30 years in the processes of preparation of drinking and technological water, primarily desalination, and in some regions of consumption prepared reverse osmosis is 60-70 % of the total water consumption. Given that freshwater reserves in Ukraine are only 0.0003 % of the world, as well as relatively low values sustainable development indices for water consumption (national average 0.8, for abdominal regions below 0.5), studies on use of baromembrane processes for drinking and technological preparation water in the southern regions of Ukraine. Another area of application of such processes is the cleaning of utilities and industrial wastewater [3–5]. The properties of membranes for baromembrane processes depend on the type separation process and tasks.

Materials and methods. Today, four basic ones are used on an industrial scale designs of devices for carrying out baromembrane processes – flat-frame, tubular, rolled and hollow-wool. Flat-frame and Tubular membrane modules due to relatively high manufacturing cost and a relatively low specific surface area ($100\text{--}400\text{ m}^2/\text{m}^3$ and up to $300\text{ m}^2/\text{m}^3$, respectively) are used only in specific industries with small productivity. However, their surface is available for mechanical methods sludge removal, so these structures will not be detailed in detail. The most common design is rolled or spiral the design of the membrane module. Rolled module contains a perforated central tube around which the package is wound membrane package and mesh separator, which forms a pressure channel for movement raw materials fed from the end of the roll.

Permeate through drainage material enters the central tube, and the concentrate is removed from the opposite end roll. The advantage of such modules is the high specific surface area of the membranes (up to $1000\text{ m}^2/\text{m}^3$), as well as simplicity and

reliability in operation and capability regeneration. Diameter of household rolled modules is 0.0445 m (1.75 inches), the length of the pressure channel – 0.26 m, height pressure channel – $0.35 \cdot 10^{-3}$ m. For industrial diameter can reach 0.25 m, length – 1.5 m, and the height of the pressure channel – 0.001 m. In the processes of microfiltration, ultrafiltration and nanofiltration membranes with a porous structure are used. At the same time the structure of reverse osmosis membranes can be considered as porous, nonporous, or intermediate between porous and nonporous (nonporous with defects).

In microfiltration processes, membranes can be used as with symmetric (isotropic) and asymmetric (anisotropic) structure structure, in other baromembrane processes asymmetric are used membranes, including composite. The vast majority of membranes are made of polymeric materials, in mainly hydrophilic (cellulose acetate, polysulfones, polyamides and others). Hydrophobic polymers can also be used membranes (usually polyvinylidene fluoride and tetrafluoroethylene) that have slightly worse separating properties and are used mainly in microfiltration processes.

Results. The most negative consequence of polarization phenomena is the formation of the surface of the membranes of sediments that occur due to the formation in the boundary layers of supersaturated solutions. In particular, as shown in reduction performance of membrane installations by 95–97 % is determined by pollution the surface of the membranes and only 3–5 % of their capillary-porous compaction structures. The most common types of sediments: mineral sediments, metal hydroxides, colloidal films of organic and biological origin, which can be localized in different parts membrane installation [6, 7]. The causes of membrane contamination are determined physicochemical and surface properties of the membrane and particles polluting phase. In works [8–10] a complex composition is noted pollution in industrial reverse osmosis plants.

The reduction of concentration polarization includes pre-treatment methods, change of hydrodynamic regimes in the membrane module, as well as modification of membrane properties. Pre-treatment methods can be divided into traditional treatment methods, membrane treatment methods (use of microfiltration or ultrafiltration as a pretreatment for reverse osmosis) as well specific methods. In addition, it demonstrates high efficiency use of antiscalants. In some cases, coagulation allows completely eliminate pollution. The combination of traditional methods, for example, is effective coagulation / flocculation and adsorption or ion exchange. However, in most cases, coagulation processes allow only mitigate pollution and in some cases they are inferior to others treatment methods, such as microfiltration and ultrafiltration. Among other methods of pre-treatment is the most common ozone treatment. Ozonation is effective only to combat organic contamination and suitable only for inorganic membranes, as it can lead to chemical destruction of polymer membranes. Quite a simple method of preventing the appearance of inorganic contamination is the dosing into the stream of purified water antiscalants substances that prevent crystallization (inhibit the crystallization process) of sparingly soluble compounds from supersaturated solutions, as well as, according, are able to destroy and disperse already formed crystals. But the use of antiscalants effective only when

they are adapted to the specific type of membranes and their dosage is calculated. In addition, it was noted that antiscalants can lead to increased levels of biopollution.

Conclusions. Microfiltration and ultrafiltration are the most common membrane pre-treatment methods in reverse osmosis systems. These processes are able to consistently reduce turbidity and completely eliminate bacteria and viruses. In recent years, it has been proposed to use for pre-treatment process of direct osmosis, but the method is currently small researched.

References.

1. Trus, I. Comprehensive Saltwater Clearing Technology / I. Trus, H. Fleisher, M. Gomelya, V. Halysh, Y. Radovenchik // Metallurgical and Mining Industry. – 2018. – №2 . – P. 17-21.

2. Buzylo V. Ecological aspects of managing the stressed-deformed state of the mountain massif during the development of multiple coal layers [Текст] / V. Buzylo, A. Pavlychenko, T. Savelieva, & O. Borysovska // Paper presented at the E3S Web of Conferences. – 2018. – №60 doi:10.1051/e3sconf/20186000013.

3. Гомеля М.Д. Нанопільтраційне опріснення слабомінералізованих вод / М. Д. Гомеля, І. М. Трус, В. М. Грабітченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2014. – № 1. – С. 98-102.

4. Гомеля М.Д. Застосування баромембранних методів в процесі очищення води від іонів важких металів / М.Д. Гомеля, В.П. Іванова, І.М. Трус, Є.С. Булгаков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 3 С. 23-27.

5. Liu D. Introducing the hydrate gel membrane technology for filtration of mine tailings / D. Liu, M. Edraki, A. Malekizadeh, P. M. Schenk, & L. Berry // Minerals Engineering. – 2019. – № 135. – С. 1–8.

6. Трус І.М. Вплив попереднього механічного доочищення води на ефективність зворотньоосмотичного опріснення води / І.М. Трус, М.Д. Гомеля, В.М. Радовенчик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 9 (198) Ч.2. – С. 197-202.

7. Гомеля Н.Д. Влияние стабилизационной обработки воды на слабокислотном катионите в кислой форме на качество нанопольтрационного опреснения шахтной воды / Н.Д. Гомеля, И.Н. Трус, Я.В. Радовенчик // Научный вестник национального горного университета. – 2014. – № 5 (143). – С. 100-105.

8. Гомеля М.Д. Оцінка ефективності зворотньоосмотичного опріснення води після її пом'якшення на слабокислотному катіоніті / М.Д. Гомеля, І.М. Трус, В.М. Радовенчик // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 3. – С. 32-36.

9. Трус І. М. Нейтралізація перміату зворотньоосмотичного опріснення води при її попередній обробці на катіоніті в кислій формі / І. М. Трус, А.І. Петриченко, М.Д. Гомеля // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 3 (67). – С. 85-90.

10. Korniyenko Y., Gulienko S., Lialka M. Mathematical simulation of fouled modules regeneration // Ukrainian Food Journal. – 2015. – № 4(3). – P. 481-493.

3. МОДИФІКУВАННЯ ПОЛІВІНІЛІДЕНФЛУОРИДНИХ МЕМБРАН ДОФАМІНОМ

Г.С. Бубела, В.В. Коновалова, І.С. Колесник, А.Ф. Бурбан
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
halyna.bubela@ukma.edu.ua

Полімерні полівініліденфлуоридні (ПВДФ) мембрани широко використовуються у процесах концентрування, розділення та фракціонування речовин різної хімічної природи, а також у процесах водоочищення та водопідготовки. Основними їх недоліками є низька поверхнева енергія і сильні гідрофобні властивості, що спричиняють забруднення поверхні і призводять до падіння об'ємного потоку через мембрану [1]. Хімічна модифікація дофаміном є перспективним способом надання бажаних властивостей та морфології поверхні мембрани, завдяки простоті та універсальності методу. Оскільки дофамін здатен до самополімеризації в лужному середовищі (рис.1), занурення мембрани в основний розчин дофаміну дозволяє створити гідрофільний шар на поверхні мембрани [2]. Окрім того, завдяки наявності аміно- та гідроксильних груп у структурі, дофамін можна використовувати як функціональний мономер для подальшої іммобілізації хімічних сполук на поверхні мембрани [3].

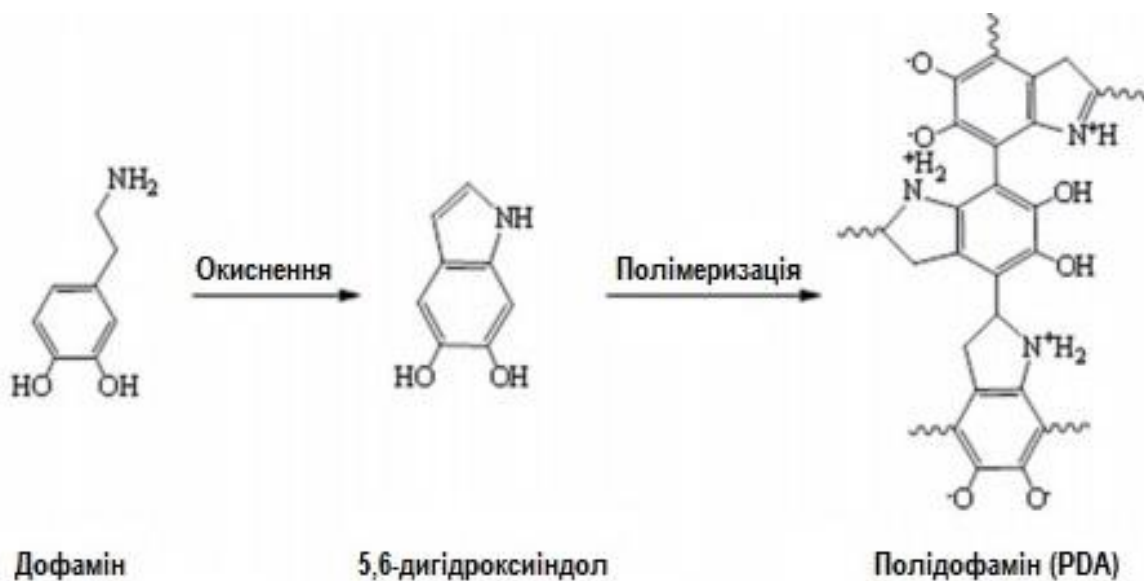


Рис. 1. Реакція самополімеризації дофаміну

Метою даного дослідження є розробка простих і зручних методів модифікації ПВДФ мембран для гідрофілізації поверхні мембрани і покращення її транспортних властивостей. У роботі використовували промислові мембрани (ПВДФ) Microdyn Nadir (Німеччина) з cut-off 150 кДа. Для підтвердження модифікації дофаміном використали інфрачервону спектроскопію (рис.2). У результаті іммобілізації на мембранах дофаміну в ІЧ-спектрі з'являється широка смуга поглинання в області $3100\text{--}3500\text{ см}^{-1}$, яка є

характерною для валентних коливань N-H зв'язків аміногруп. Транспортні властивості модифікованої мембрани вивчені у процесі ультрафільтрації.

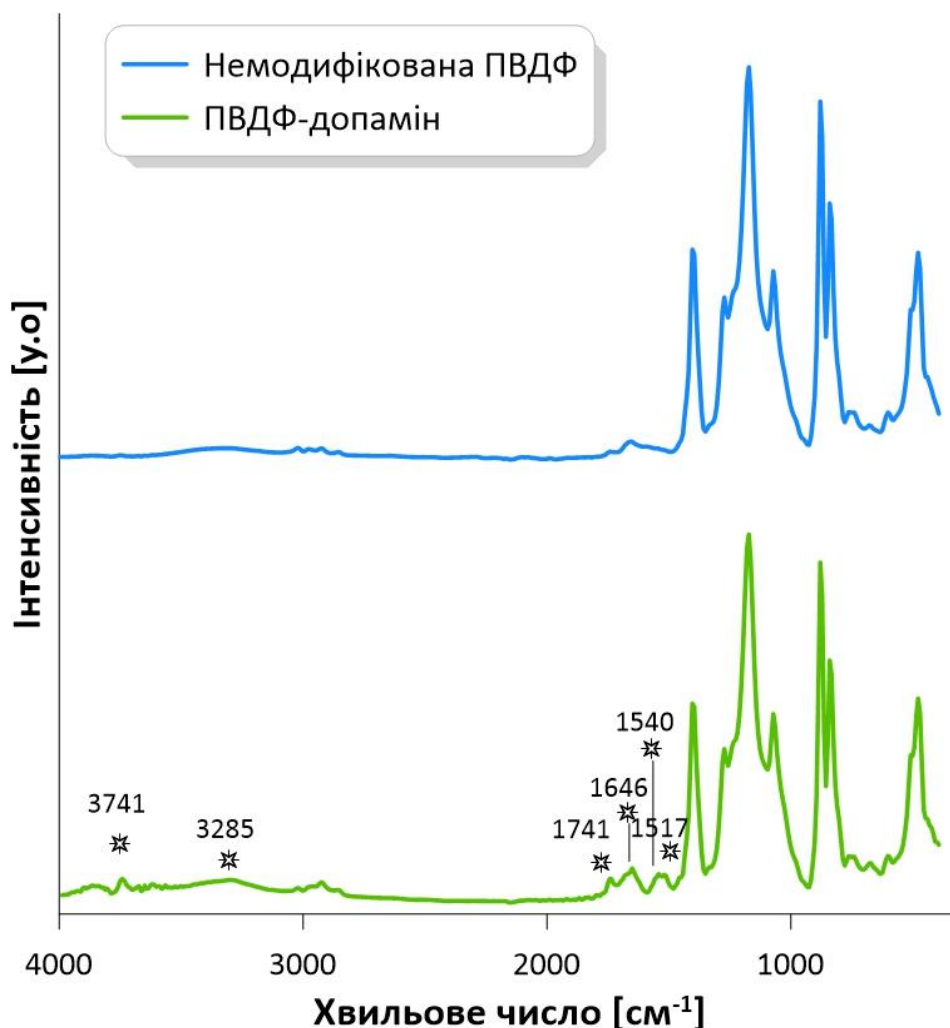


Рис. 2. ІЧ-спектри модифікованої та немодифікованої ПВДФ мембрани.

Загалом, одержання модифікованих ПВДФ мембран з покращеними поверхневими властивостями і посиленими транспортними характеристиками, та вивчення їхніх властивостей створить передумови для конструювання нових економічних модулів, що не потребуватимуть витрат на очищення мембран у процесі фільтрації.

Література:

1. V. Konovalova, I. Kolesnyk, A. Burban, W. Kujawski, K. Knozowska, J. Kujawa, Coll. Surf A. **569** (2019) 67.
1. 2.Y. Qi, L. Zhu, C. Gaoa, J. Shen, RSC Adv. **9** (2019) 6107.
2. 3.H. Shi, L. Xue, A. Gao, Y. Fu, Q. Zhou, L. Zhu, J. Membr. Sci. **498** (2016) 39.

4. УТОЧНЕННЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА ПЕРЕНЕСЕННЯ МАСИ ПРИ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

Сергій Гулієнко

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
sergiigulienko@gmail.com

Марина Метліна

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
marynametlina@gmail.com

Вступ.

Забруднення поверхні мембран є однією з основних проблем при експлуатації мембранних установок, в тому числі і зворотного осмосу [1]. Незважаючи на розвиток мембран з властивостями опору до забруднення [2], методів попередньої обробки [3] та оптимізації робочих параметрів в модулі [4], потреба в періодичній регенерації мембран залишається актуальною [5].

При реалізації процесу регенерації важливим і недостатньо вивченим питанням є прогнозування властивостей мембрани після закінчення процедури, чому була присвячена попередня робота [6]. Однак в цій роботі використовувалося критеріальне рівняння, яке було отримане з рядом припущень, які не до кінця відповідають реальним умовам.

Тому метою даного дослідження є уточнення критеріальної залежності для розрахунку коефіцієнта перенесення маси при регенерації мембранних модулів з використанням як нових, так і раніше отриманих експериментальних даних.

Матеріали і методи.

Дослідження проводилися з побутовими мембранними модулями типу ТФС-75, на поверхні яких наносився штучний осад NaCl. Процес регенерації здійснювався шляхом промивання під розрідженням. В якості промивної рідини використовувалася деіонізована вода. Витрата промивного розчину вимірювалася ваговим методом. Концентраціям NaCl на вході і виході в мембранний апарат вимірювалася кондуктометричним методом.

Обробка результатів вимірювань здійснювалася з використанням методів теорії подібності [7], а критеріальне рівняння шукалося у вигляді:

$$\text{Sh} = A \text{Re}^m \text{Sc}^n \left(\frac{d_e}{l} \right) \quad (1)$$

Варіювання значень критерію Шмідта досягалося за рахунок зміни температури промивного розчину.

Результати. При обробці результатів експериментів, як і в попередній роботі [7], показник степеня при критерії Шмідта приймався рівним $n = 0,33$. В

такому разі задача отримання критеріального рівняння зводилася до визначення показника степеня при критерії Рейнольдса m та множника A .

Залежно від значень критерію Шмідта весь діапазон результатів був розбитий на 17 груп, в межах яких величина Sc змінювалася не більш ніж на 10%. Для кожної з груп методом найменших квадратів згідно методики наведеної в роботі [8], було проведено апроксимацію залежності $Sh = f(Re)$, було знайдено середнє значення показника m' , яке було уточнено шляхом апроксимації залежності $Sh = f(Re^{m'} Sc^n)$, в результаті чого було встановлено значення показника $m = 0,8$. Після чого проводилася апроксимація узагальнюючої залежності (рисунок 1).

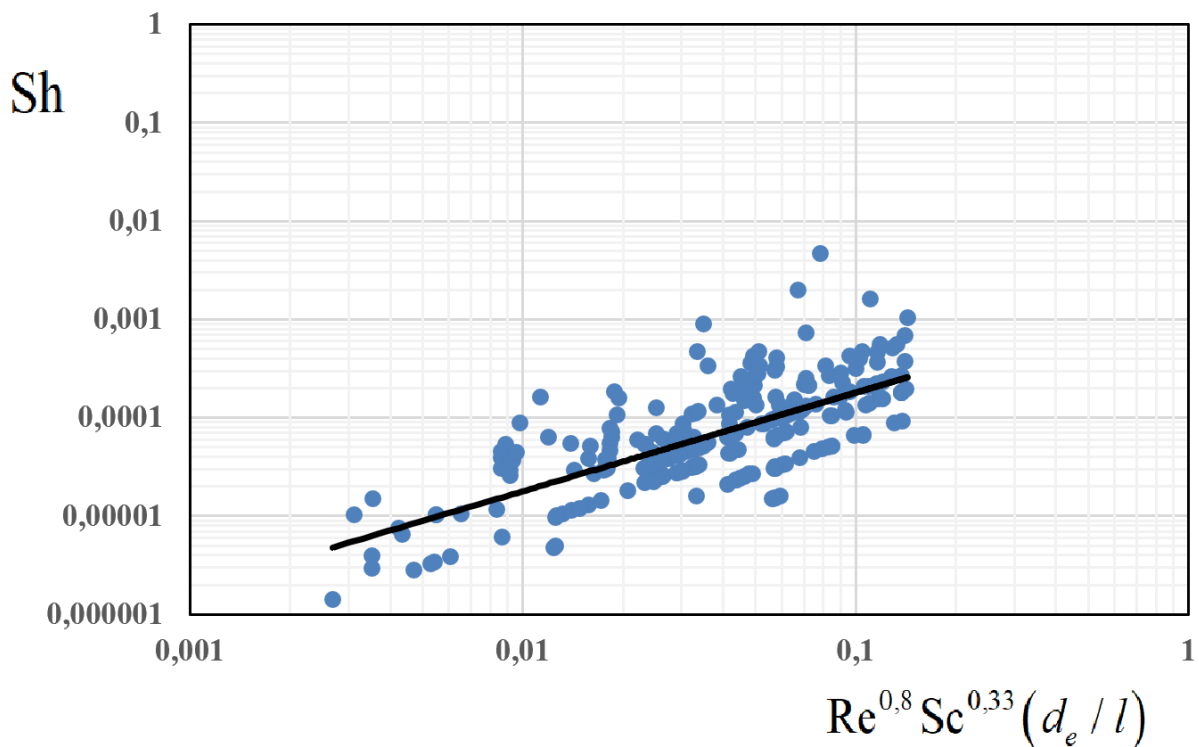


Рис. 1. Узагальнена критеріальна залежність

Апроксимація узагальненої критеріальної залежності дозволяє отримати залежність у вигляді:

$$Sh = 0,0018 Re^{0,8} Sc^{0,33} \left(\frac{l}{d_e} \right) \quad (2)$$

При цьому показник степеня узагальнюючої залежності в результаті апроксимації отримується 1,0023, що свідчить про те, що немає потреби в подальшому уточненні коефіцієнтів в критеріальному рівнянні

Вибірковий коефіцієнт кореляції залежності (2) становить $r^* = 0,712$, а статистичний аналіз підтверджує існування залежності [8].

Висновки. В результаті уточнюючих експериментів отримане уточнене критеріальне рівняння для визначення коефіцієнтів масовіддачі при регенерації мембранних модулів. Отримане рівняння дозволить більш точно визначати тривалість регенерації за методикою, наведеною в роботі [6]. Залежність (2) потребує подальшого уточнення, а саме уточнення показника степеня n , тобто уточнення впливу хімічного складу осаду на інтенсивність масообміну при регенерації, що є задачею подальших досліджень в цьому напрямку.

Література.

1. Tow E. W., Warsinger D. M., Trueworthy A. M., Swaminathan J., Thiel G. P., Zubair S. M., Myerson A. S., Lienhard V J. H. (2018). Comparison of fouling propensity between reverse osmosis, forward osmosis, and membrane distillation. *Journal of Membrane Science*. Vol. 556, pp. 352-364, doi: 10.1016/j.memsci.2018.03.065
2. Qi Y., Tong T., Zhao S., Zhang W., Wang Zh., Wang J. (2020). Reverse osmosis membrane with simultaneous fouling- and scaling-resistance based on multilayered metal-phytic acid assembly. *Journal of Membrane Science*. Vol. 601. 117888. doi: 10.1016/j.memsci.2020.117888
3. Shon H.K., Vigneswaran S., Cho J. (2008). Comparison of physico-chemical pretreatment methods to seawater reverse osmosis: Detailed analyses of molecular weight distribution of organic matter in initial stage. *Journal of Membrane Science*. Vol. 320, Issues 1–2, pp. 151-158, doi: 10.1016/j.memsci.2008.03.063
4. Nguyen Th.-T., Kook S., Lee Ch., Field R. W., Kim I. S. (2019). Critical flux-based membrane fouling control of forward osmosis: Behavior, sustainability, and reversibility. *Journal of Membrane Science*. Vol. 570–571, pp. 380-393, doi: 10.1016/j.memsci.2018.10.062
5. Jafari M., D'haese A., Zlopasa J., Cornelissen E.R., Vrouwenvelder J.S., Verbeken K., Verliefde A., van Loosdrecht M.C.M., Picioreanu C. (2020). A comparison between chemical cleaning efficiency in lab-scale and full-scale reverse osmosis membranes: Role of extracellular polymeric substances (EPS). *Journal of Membrane Science*. Vol. 609, 118189, doi: 10.1016/j.memsci.2020.118189
6. Korniyenko Y., Gulienko S., Lialka M. (2015). Mathematical simulation of fouled membrane modules regeneration. *Ukrainian Food Journal*. 2015. Vol. 4. Is. 3, pp. 481-493.
7. Радченко Л.Б. Моделювання процесів хімічної технології: Навч. Посібн. / Л.Б. Радченко, І.О. Мікульонок. – К.: ВПІ ВПК «Політехінка», 2005. – Ч.1. – 126 с.
8. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. // Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк, 1985.- 327 с.: ил.

5. PRELIMINARY HYDRODYNAMIC WATER SOLUTIONS TREATMENT IN THE TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTION

Iryna Dubovkina

*Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

dubovkinai@ukr.net

Introduction. Water is an special, universal substance that is a major component of all living things, which has anomalous in many of its physical and chemical parameters and properties. Pure water and different liquid solutions and systems are plenty complicated associate systems, which are susceptible to the nominal quantity power influences and used in many branches of industries including food production. There are many methods of water treatment for changing chemical and physical properties and parameters. The processes implicated in treating water and liquid aqueous systems and solutions rationale may be chemical, biological, physical and different combination between of them.

Materials and methods. The electrochemical methods of analytical chemistry were used for determination of physical and chemical parameters and properties of liquid samples of water solutions which received throughout the experimental investigation. Equipped examples of water and water solutions were used as the model mediums. Determination of alteration of potential of hydrogen and reduction-oxidation potential of liquid samples of water and water solutions is approved out with apply analogue pH-meter-millivoltmeter pH-150 M with electrodes.

Results and discussion. Preliminary hydrodynamic water and water solutions treatment can influence on structural and energy transformation in different liquid mediums on micro- and nano- level and gives opportunity to begin physical and chemical alteration in these mediums. The aim of the research investigations is to study the modification of physical and chemical parameters and properties of samples with application of preliminary hydrodynamic water solutions treatment in the technologies of food production. Throughout of research investigation was accepted that the potential of hydrogen of the water samples obtained with preliminary hydrodynamic water solutions treatment increases on 15-17%. It gives the possibility to apply such treatment in the technological processes of food production. Besides, was found the decreasing of reduction-oxidation potential of water and water solutions. The application of the preliminary hydrodynamic water and water solutions treatment gives the ability to decrease reduction-oxidation potential on 10-60%. The decreasing of reduction-oxidation potential takes place throughout the treatment for the duration of 100-150 seconds.

Conclusions. As a result of research, it was found that the application of the preliminary hydrodynamic water and water solutions treatment could improve the water treatment process more environmentally. As a result of investigation work, it was established that such hydrodynamic water treatment can extensively decrease energy, power and resource expenses, reduce duration of the technological processes of food production.

6. ВПЛИВ СУПУТНИХ ІОНІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЗНЕФТОРЕННЯ ВОДИ МОДИФІКОВАНОЮ КЕРАМІЧНОЮ МЕМБРАНОЮ

Тетяна Дульнева, Людмила Деремешко, Дмитро Кучерук
Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України
t_dulneva@ukr.net

Вступ. Одним із показників, що визначають фізіологічну повноцінність мінерального складу питної води, є вміст у ній фтору. Згідно вимог ДСТУ 7525:2014 гранично-допустима концентрація (ГДК) фтору у питній воді повинна становити 0,7 – 1,5 мг/дм³ [1]. Однак, природні води, як правило, містять разом з фторидами інші супутні іони, що впливають на параметри процесу її знефторення. З огляду на це досліджено вплив супутніх іонів, зокрема, Cl^- , HCO_3^- і SO_4^{2-} , що містилися у знефторюваному розчині, на затримувальну здатність до фторидів мікрофільтраційної трубчастої керамічної мембрани, яка модифікована гідроксосолюками Al(III) .

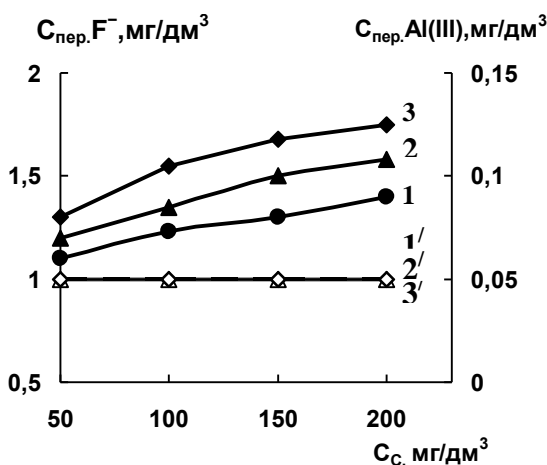
На сьогодні альтернативою існуючим методам знефторення питної води є баромембранні процеси з використанням керамічних мембран, особливо у галузях, де до якості питної води пред'являються підвищені вимоги. У роботі [2] показана висока ефективність процесу знефторення розчинів мікрофільтраційною трубчастою керамічною мембраною з глинистих мінералів, яка модифікована гідроксосолюками Al(III) . Механізм цього процесу полягав в утворенні алюмофторидних комплексів, їх адсорбції гідроксидом алюмінію і подальшій фільтрації такого колоїдного розчину крізь модифікуючий шар у вигляді динамічної мембрани з гідроксосополук Al(III) .

Матеріали і методи. Дослідження проведено на стаціонарній лабораторній баромембранній проточно-рециркуляційній установці, у якій використовували новітню керамічну мембрану з глинистих мінералів, що розроблена в ІКХХВ ім. А.В. Думанського НАН України (ТУ У29.2-05417348-014:2014 Мембрани керамічні «Керама»). Очищенню піддавали модельні розчини солі NaF . Аналіз іонів F^- у початковому розчині й пермеаті визначали за допомогою фторселективного електрода Еліс-131F та іоніміра I-160MI, концентрацію іонів Al^{3+} – фотоколориметрично з алюміноном.

Результати і обговорення. Модифікування мембрани проводили формуванням на її зовнішній поверхні динамічної мембрани з гідроксосополук Al(III) за умов, які забезпечували найкращі параметри знефторення розчинів. Після цього мембраноформуєчий розчин заміняли на робочий з необхідними концентраціями фторидів і гідроксосополук Al(III) як мембранопідтримуючої добавки.

На рис. 1, криві 1–3 показано, що з підвищенням концентрації супутніх іонів (C_c) Cl^- , HCO_3^- і SO_4^{2-} при додаванні до розчину NaF з початковою концентрацією (C_0) іонів F^- 10,0 мг/дм³, концентрацією гідроксосополук Al(III) у мембранопідтримуючій добавці (C_d) 12,5 мг/дм³, рН₀ 7,0, робочому тиску (P) 1,0 МПа і тривалості процесу (τ) окремо однієї із солей NaCl , NaHCO_3 і Na_2SO_4 ,

зростала концентрація у пермеаті ($C_{пер.}$) іонів F^- . Зниження ефективності процесу знефторення розчину у ряду супутніх іонів $Cl^- < HCO_3^- < SO_4^{2-}$ пов'язано, очевидно, зі збільшенням їх конкурентної дії при формуванні алюмофторидних комплексів. Найбільший негативний вплив на цей процес проявляли супутні іони SO_4^{2-} внаслідок більшого заряду порівняно з іонами Cl^- і HCO_3^- . Із ряду досліджуваних супутніх аніонів тільки хлориди забезпечували ГДК іонів F^- у питній воді (рис. 1, крива 1). При цьому $C_{пер.} Al(III)$ практично не змінювалася і була нижчою, ніж ГДК іонів $Al(III)$ ($0,2 \text{ мг/дм}^3$) у питній воді (рис. 1, криві 1'-3'), що свідчило про високу затримувальну здатність модифікованої керамічної мембрани до гідроксосполук $Al(III)$ незалежно від наявності супутніх іонів у розчині.



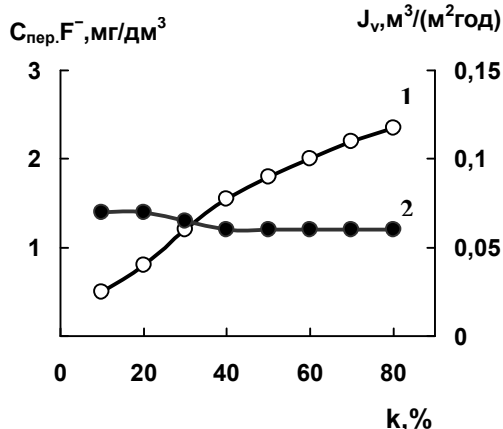
$C_0 F^- = 10,0 \text{ мг/дм}^3$; $C_d Al(III) = 12,5 \text{ мг/дм}^3$; $pH = 6,5$; $P = 1,0 \text{ МПа}$; $\tau = 120 \text{ хв}$.

Рис. 1. Залежність $C_{пер.} F^-$ (1-3) та $Al(III)$ (1'-3') від концентрації супутніх іонів (C_0) Cl^- (1,1'), HCO_3^- (2,2') і SO_4^{2-} (3,3'), які окремо додавали до розчинів

У зв'язку з тим, що у фторидних водах можуть міститися не тільки окремі супутні іони, але й їх суміші, доцільно було дослідити вплив цих сумішей на ефективність процесу

знефторення води модифікованою керамічною мембраною.

Із рис. 2, крива 1 видно, що зі збільшенням коефіцієнта відбору (k) пермеату (відношення об'ємів пермеату і початкового розчину) при наявності у розчині суміші супутніх іонів Cl^- , HCO_3^- і SO_4^{2-} (додавання кожного із зазначених іонів окремо забезпечувало ГДК іонів F^- у питній воді, рис. 1, криві 1-3) зростала концентрація іонів F^- у пермеаті.



$C_0 F^- = 10,0 \text{ мг/дм}^3$; $C_d Al(III) = 12,5 \text{ мг/дм}^3$; $pH = 7,0$; $P = 1,0 \text{ МПа}$; C_c іонів Cl^- , HCO_3^- і SO_4^{2-} , мг/дм³: відповідно 200,0, 150,0 і 75,0.

Рис. 2. Вплив коефіцієнту відбору (k) пермеату на концентрацію у ньому іонів F^- ($C_{пер.}$) (1) і питому продуктивність (J_v) керамічної мембрани (2) при наявності у розчині суміші супутніх іонів Cl^- , HCO_3^- і SO_4^{2-}

Норму ГДК фтору у питній воді у експерименті досягали тільки при $k < 40 \%$ (рис. 2, крива 1), що недостатньо для практичного використання. При

цьому питома продуктивність мембрани дещо зменшувалася і становила $0,6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Такі результати обумовлені тими ж причинами, що і в попередньому експерименті.

Враховуючи негативний вплив суміші супутніх іонів на характеристики процесу знефторення розчину керамічною мембраною, що модифікована гідроксосолюками Al(III), необхідно було визначити умови, за яких можна було б досягти ГДК іонів F^- у питній воді.

Встановлено, що ефективність процесу знефторення розчину модифікованою керамічною мембраною можна повисити при наявності у ньому суміші супутніх аніонів, якщо збільшити концентрацію іонів Al(III) у мембранопідтримуючій добавці. Як видно з табл., при $C_0\text{F}^- 10 \text{ мг/дм}^3$ і $(C_{\text{д.}})\text{Al(III)} 25 \text{ мг/дм}^3$ за інших аналогічних умов (як і в попередньому експерименті) було досягнуто ГДК фтору у питній воді в інтервалі досліджуваних значень коефіцієнта відбору. При цьому питома продуктивність мембрани зменшувалася, а значення $C_{\text{пер. Al(III)}}$ залишалося постійним та нижчим, ніж їх ГДК у питній воді з тих же причин, що і в попередньому експерименті.

Таблиця

Залежність коефіцієнта затримки (R) іонів F^- , концентрації F^- і Al(III) у пермеаті ($C_{\text{пер.}}$) і питомої продуктивності (J_v) керамічної мембрани від коефіцієнта відбору (k) пермеату при наявності у розчині суміші супутніх іонів

k, %	R F^- , %	$C_{\text{пер. F}^-}$, мг/дм ³	$C_{\text{пер. Al(III)}}$, мг/дм ³	$J_v, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$
10	95,8	0,42	0,06	0,10
20	94,0	0,60	0,06	0,09
30	93,0	0,70	0,06	0,08
40	92,4	0,76	0,05	0,08
50	91,4	0,86	0,05	0,07
60	90,0	1,00	0,05	0,07
70	88,0	1,20	0,05	0,07
80	87,5	1,25	0,05	0,07

Примітка. $C_0\text{F}^- - 10,0 \text{ мг/дм}^3$; $C_{\text{д. Al(III)}} - 25,0 \text{ мг/дм}^3$; pH – 7,0; P – 1,0 МПа; суміш супутніх іонів Cl^- , HCO_3^- і SO_4^{2-} – їх концентрації відповідно 200,0, 150,0 і 75,0 мг/дм³.

Висновки. Таким чином, щоб досягти ГДК іонів F^- у питній воді керамічною мембраною, що модифікована гідроксосолюками Al(III), при наявності у розчині супутніх іонів, необхідно варіювати співвідношення концентрації іонів F^- у розчині й іонів Al(III) у мембранопідтримуючій добавці.

Література.

1. ДСТУ 7525: 2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 30 с.
2. Dulneva T.Yu., Deremeshko L.A., Kucheruk D.D., Goncharuk V.V. Defluorination of water by modified ceramic membranes from clayey minerals. Journal of Water Chemistry and Technology. 2017. V. 39, N 5. P. 263–267.

7. ВСТАНОВЛЕННЯ ВИДУ ЗАКУПОРКИ ПОР ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ УЛЬТРАФІЛЬТРУЮЧОЇ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНОЇ ВОДИ

Василь Дячок

Національний університет «Львівська політехніка»
dyachokvasil@gmail.com

Вступ. На сьогоднішній день очищення стічних вод, раціональне їх використання, тобто вилучення цінних компонентів з використанням новітніх технологій є одним з найпріоритетніших завдань, які ставлять перед собою науковці. Світові тенденції засвідчують, що для вирішення цих та подібних завдань все більше застосовуються мембранні технології. Це методи очищення води без фазових переходів тому вимагають старанної попередньої підготовки, а саме передочищення, найчастіше традиційним методом фільтрування.

Матеріали і методи. Вивчення кінетики процесу очищення стічних вод методом ультрафільтрування проводяться на лабораторній установці, яка складається із насоса, ультрафільтрувального елемента в сталевому корпусі, ємностей для вихідної води, перміату і концентрату, контрольно-вимірювальних приладів. В ході експерименту визначалися: вміст забруднень у вихідній воді, перміаті та концентраті, продуктивність мембранного апарата, об'єми перміатів та концентратів. Як модельний розчин було вибрано аспарагінат заліза, сполука яка застосовується у лікарських засобах для лікування залізодифіцитної анемії. Значна кількість таких стоків утворюється на фармацевтичних підприємствах, що створює серйозну загрозу навколишньому середовищу.

Результати. На основі одержаних даних отримано графік залежності об'єму перміату від часу проходження процесу. Як засвідчує експериментальний матеріал з часом об'єм перміату зростає аналогічно для трьох досліджуваних концентрацій аспарагінату заліза. Спочатку об'єм перміату різко зростає, що характеризується кривою на відрізок часу від 5 до 150 хв. процесу, але в подальшому на відрізок часу від 160 хв. його об'єм збільшується на незначну постійно однакову кількість. Це говорить про те, що з часом продуктивність мембрани спадає, внаслідок закупорення її пор аспарагіном заліза. Крім того, чим більша концентрація, тим меншим є об'єм перміату за один і той самий проміжок часу процесу. На початкових стадіях забруднення мембрани на хід процесу падіння продуктивності впливає поверхнева і внутрішня пористість мембран, наявність взаємопов'язаних пор. Тому досить часто важко чітко визначити, за яким механізмом проходить процес ультрафільтрування.

Проте за результатами багаторічних досліджень, характер кривої на графіку залежності в координатах $t/q=f(q)$ чи $t/q=f(t)$ дозволяє встановити тип закупорення пор мембрани. Тут q – об'єм перміату, t – час перебігу процесу.

Висновок. В результаті досліджень встановлено, що в нашому випадку має місце процес ультрафільтрування «проміжного типу», тобто коли розмір пор є співмірний з розмірами молекул аспарагінату заліза, яке супроводжується

поступовим закупорюванням пор з подальшим можливим утворенням осаду на поверхні мембрани. Для запобігання такого явища доцільно проводити регенерацію мембрани методом промивки дистильованою водою у зворотньому напрямку.

8. ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РОБОЧОГО ТИСКУ НА ПРОЦЕС УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ БІЛКОВО-ВУГЛЕВОДНОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ

Захар Мазняк

z.mazniak@gmail.com

Інна Золотухіна

i.zolotukhina@hduht.edu.ua

Ілля Соломаха

zolotce5@gmail.com

Харківський державний університет харчування та торгівлі, м Харків

Вступ. В даний час в харчовій промисловості мембранні методи застосовують для очищення і концентрування фруктових і овочевих соків в консервному виробництві, дифузійного соку в цукровому виробництві, для концентрування молока і молочних продуктів тощо [1-6].

З усіх баромембранних процесів для обробки білково-вуглеводної молочної сировини (БВМС) найбільшою мірою підходить ультрафільтрація (УФ). Процесу УФ притаманні такі переваги, як висока економічність, низька енергоємність, відсутність фазових перетворень білка [7]. На відміну від зворотного осмосу і нанофільтрації процес УФ протікає при набагато більш низькому тиску і в той же час забезпечує набагато більш високу селективність, ніж мікрофільтрація [8]. Одночасно з концентрацією харчових розчинів УФ здійснює їх очищення від низькомолекулярних речовин, бактерій, зберігаючи постійне значення рН. Все вищевикладене зумовило використання процесу ультрафільтрації при переробці БВМС, з метою використання УФ-концентратів у виробництві десертної продукції.

Матеріали і методи. Метою роботи є визначення впливу робочого тиску на процес ультрафільтрації знежиреного молока, сколотин та сироватки з-під кислого сиру.

З метою вивчення основних закономірностей УФ-концентрування БВМС за допомогою мембран типу ПАН і впливу на нього додаткових інтенсифікуючих факторів дослідження проводили наступним чином. При визначенні залежності швидкості ультрафільтрації від робочого тиску концентрат, що утворюється, повертали назад в ємність для вихідного продукту [9]. Потрібний тиск в надмембранному просторі ультрафільтраційного модуля створювали за допомогою компресора і вимірювали в межах 0,2...0,5 МПа. Створення необхідних гідродинамічних умов потоку БВМС в міжмембранному каналі в режимі барботування здійснювали наступним чином.

Включали перистальтичний насос, з'єднаний через гнучкий патрубок з барботуючим пристроєм. Насос подавав стиснене повітря під тиском, що перевищує величину тиску в УФ-модулі, від зовнішнього джерела до дроселюючого сопла, яке рівномірно впорскує стиснене повітря перед гумовою дрібноперфорованою мембраною барботуючого пристрою. Навіть стиснене повітря продавлювалося крізь пори гумової дрібноперфорованої мембрани і надходило у БВМС, що розділяється, у вигляді дрібних бульбашок, які турбулізували її і створювали необхідні гідродинамічні умови над поверхнею напівпроникної УФ-мембрани. Шляхом регулювання продуктивності перистальтичного насоса змінювали частоту пульсуючої подачі стисненого повітря в УФ-модуль. За допомогою додаткового компресора змінювали тиск подачі стисненого повітря в УФ-модуль в заданих межах.

Результати. Залежність продуктивності УФ-мембран ПАН-50 і ПАН-100 в тупиковому режимі від тиску мембранної обробки БВМС при температурі 20 °С приведена на рис. 1. З даних рисунка витікає, що характер змін продуктивності з підвищенням тиску фільтрації ідентичний для обох досліджуваних мембран. При значеннях тиску від 0,2 до 0,35 МПа відбувається інтенсивне збільшення продуктивності мембран для всіх видів БВМС.

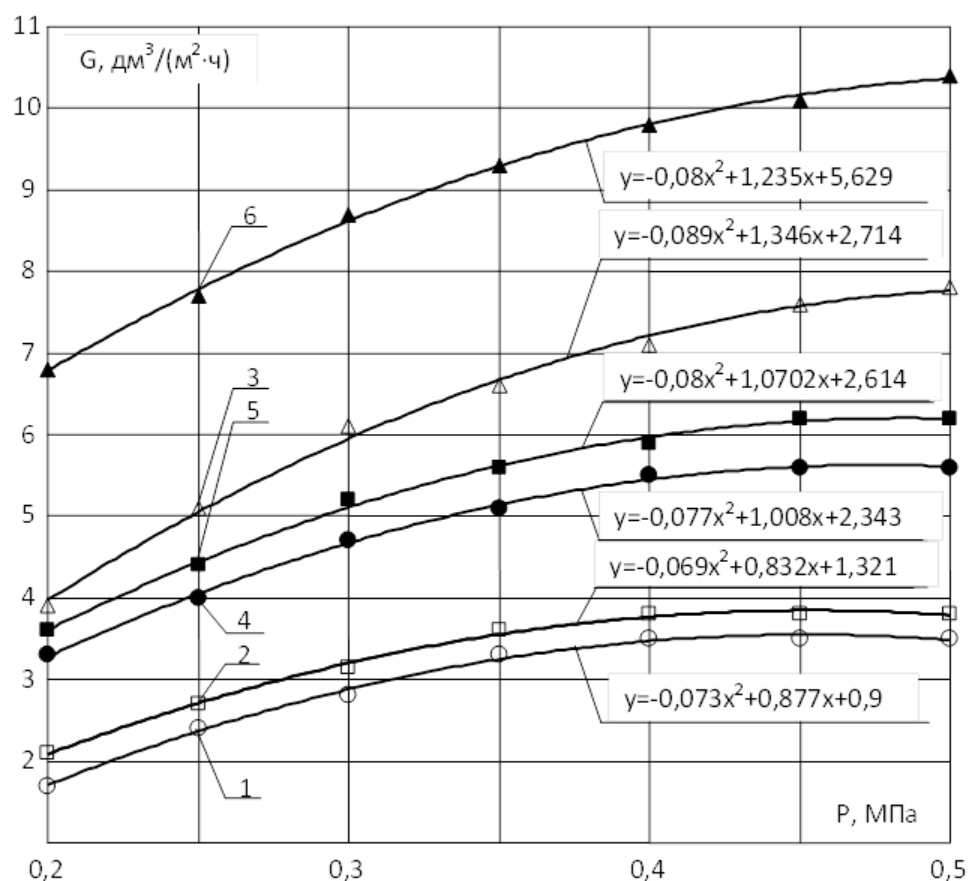


Рис. Залежність продуктивності (G) ультрафільтраційних мембран ПАН-50 (1, 2, 3) і ПАН-100 (4, 5, 6) від тиску фільтрації (P) при мембранному поділі скотин (1, 4), знежиреного молока (2, 5) і сироватки з-під кислого сиру (3, 6) при температурі 20 °С в тупиковому режимі.

На ділянці значень тиску від 0,35 МПа до 0,5 МПа продуктивність обох мембран стабілізується при ультрафільтрації склотин і знежиреного молока і значно сповільнюється при ультрафільтрації сироватки з-під кислого сиру.

Так, для тупикового режиму робоче значення продуктивності при $P = 0,2$ МПа складає для мембран ПАН-50 при ультрафільтрації склотин $1,8 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$, при ультрафільтрації знежиреного молока - $2,0 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$, при УФ сироватки з-під кислого сиру - $3,9 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Для УФ-мембрани ПАН-100 значення продуктивності при зазначеній величині тиску складають відповідно $3,3 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $3,6 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ і $6,8 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$. При підвищенні тиску до $P = 0,35$ МПа продуктивність мембран ПАН-50 збільшується на 94% при УФ-обробці склотин, на 90% при УФ-обробці знежиреного молока, на 62% при УФ-обробці сироватки з-під кислого сиру. Для УФ-мембран ПАН-100 при аналогічних умовах продуктивність збільшується на 54,5%, 52,8%, 35,5% відповідно. У той же час на ділянці значень тиску фільтрації від 0,35 МПа до 0,5 МПа зростання значень продуктивності мембран значно знижується. Так, зростання абсолютних значень продуктивності мембран ПАН-50 на цій ділянці становить 8,6% при УФ-обробці склотин, 4,2% при УФ-обробці знежиреного молока, 20,1% при УФ обробці сироватки з-під кислого сиру. Збільшення значень продуктивності мембран ПАН-100 на даній ділянці значень тиску фільтрації відповідно становить 11,8%, 12,7% і 14,1%.

Висновки. На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що робочим інтервалом тиску фільтрації є значення 0,4...0,5 МПа. Збільшувати тиск перевищує зазначені величини недоцільно, тому що це не призводить до значного підвищення продуктивності досліджуваних УФ-мембран.

Література.

1. Брык М. Т. Мембранная технология в пищевой промышленности / М. Т. Брык, В. Н. Голубев, А. П. Чагаровский – К.: Урожай, 1991. – 224 с.
2. Лысова В. Н. Использование методов мембранной технологии в пищевой промышленности / В. Н. Лысова, Ю. И. Никулин, Е. Е. Иноземцев и др. // Вестник Астраханского государственного технологического университета. – 1996. – № 2. – С. 144–146.
3. Бабёнышев С. П. Мембранные технологии очистки растительного масла / С. П. Бабёнышев, И. А. Евдокимов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 4. – С. 78–80.
4. Гранев И. Н. Мембранные технологии в молочной промышленности / И. Н. Гранев, С. В. Зверев // Молочное дело. – 2005. – № 2. – С. 78–80.
5. Ribeiro A. The optimisation of soybean oil degumming on a pilot scale using a ceramic membrane / A. Ribeiro, B. Ning, G. Goncalves // J. Food Eng. – 2008. – V. 87. – № 4. – P. 514–521.
6. Кудрявцев В. А. Ультрафильтрация диффузионного сока сахарной свеклы на мембранном элементе трубчатого типа / В. А. Кудрявцев, В. В. Спичак, П. А. Ананьева и др. // Сахар. – 2008. – № 1. – С. 33–35.
7. Lipp P. Stand der Membrantechnik in der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland / P. Lipp G. Baldauf // DVGW Energ. Wasser-Prax. – 2008. – v. 59 – № 4 – P. 60–64.

8. Al – Jeshi S. An experimental evaluation of reverse osmosis membrane performance in oily / S. Al – Jeshi A.Neville // Desalination. – 2007. – v. 228 – № 1–3. – P. 287–294.

9. Deynichenko G. Membrane concentration of non-fat milk stuff // G. Deynichenko, Z. Maznyak, I. Zolotukhina, O. Gafurov // Industrial Engineering Journal «RECET». – Vol. 12 (2011), No. 3 (33). – P. 245–248.

9. МЕМБРАННІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВОДООЧИЩЕННЯ

Софія Існюк

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

sonechka4241@gmail.com

Інна Трус

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

inna.trus.m@gmail.com

Вступ. На сьогодні, актуальною проблемою для всіх регіонів України є нерівномірність розподілу прісної води, що призводить до певних труднощів, пов'язаних із водопостачанням підприємств різноманітних виробництв. Інтенсивний розвиток промисловостей в Україні спричиняє значне зростання споживання питної води.

Виклад основного матеріалу. Водопідготовка – це процес попереднього очищення питної води від надлишку механічних домішок і катіонів. В процесах водоочищення використовують один із видів фільтраційних процесів – мембранну фільтрацію. Мембранні системи водопідготовки, промислове освоєння яких розпочалося приблизно з 1985 року, на даний час застосовуються практично у всіх галузях, які споживають очищену воду.

Перед подачею на мембрану, воду, як правило, очищають від грубодисперсних домішок, а також від тих розчинених речовин, які можуть або пошкодити мембрану (активний хлор), або стати причиною відкладень на її поверхні (солі жорсткості). Така попередня підготовка води дозволяє значно збільшити термін служби мембрани і тривалість її роботи між хімічними промивками [1, 2]. Однією з головних причин забруднення мембран є формування на їх поверхні карбонатних осадів, утворення яких визначається умовами рівноваги, інтенсивністю масообміну при кристалізації, а також наявністю домішок. Щоб зменшити швидкість забруднення, розчини перед поданням в мембранний апарат піддають попередній обробці: проводять коагуляцію з подальшим осадженням, здійснюють фільтрування на піщаному фільтрі, а потім на мікрофільтрі, підкислюють, щоб запобігти випаданню солей

жорсткості і так далі [3–5]. Проте, рано чи пізно виникає необхідність очищення мембрани від забруднень [6].

З точки зору технологічних можливостей розрізняють мембрани для мікрофільтрації, нанофільтрації, ультрафільтрації і зворотного осмосу. Мікрофільтрування застосовують для відокремлення від розчинника (води) завислих та колоїдних часточок розміром 0,1-10 мкм. Нанофільтраційні елементи, які мають пори від 5 до 50 нм, використовують для пом'якшення води з підвищеною жорсткістю та для видалення іонів важких металів [4, 7, 8]. Ультрафільтраційні мембрани мають найбільш великі пори діаметром від 1 до 0,05 мікрон. Вони застосовуються для доочищення питної водопровідної води від колоїдних і високомолекулярних забруднень, якщо не потрібне коригування її сольового складу. Використання ультрафільтрації в побуті обмежене через те, що в цьому процесі не відбувається видалення домішок іонного розміру (солі твердості, важкі метали, нітрати), що складають чималу небезпеку для людини. Зворотньоосмотичні мембрани мають пори діаметром менше 10 нанометрів і забезпечують видалення забруднень іонного розміру (іони жорсткості, важких металів, нітрати, сульфати та ін.) [1–3, 8].

Ефективність баромембранного очищення води залежить від властивостей мембран, робочого тиску, температури, природи і концентрації очищуваних домішок, концентраційної поляризації, гідродинамічних умов.

Результати. Суть всіх мембранних методів полягає у фільтруванні оброблюваної води під певним тиском за допомогою елементів, що фільтрують та володіють різним ступенем затримання забруднень. Кожен метод має свої переваги та недоліки. Наприклад, до переваг ультрафільтрації можна віднести: високу ефективність за знебарвленням і стерилізацією води, низький робочий тиск, тривалий термін служби мембранних елементів, а також, повну автоматизацію. До недоліків – неефективність проти вірусів і мінеральних забруднень (солей твердості, важких металів), високу вартість обладнання [1].

Зворотний осмос на даний час є найбільш популярним методом очищення води від усіх забруднень. Пориста структура мембрани набагато щільніша від мембрани ультрафільтрації. Зворотний осмос є досить ефективним методом видалення розчинених речовин, каламутності, азбесту, свинцю та інших токсичних важких металів. Саме тому його перевагами є: ефективне видалення всіх видів забруднень (частки, мікроорганізми, колоїди й розчинені неорганічні речовини), а також те, що він відбувається без фазових перетворень і енергія здебільшого витрачається на створення підвищеного тиску над розчином та його продавлювання крізь мембрану. А от недоліками є те, що технологія очищення води зворотним осмосом дуже водо затратна: при роботі системи зворотного осмосу в дренаж скидається до 75% води і на виході користувач отримує лише 25-30% води, втім з води також вилучаються такі корисні мінерали, як кальцій і магній. [2, 8]. Найбільшою перевагою нанофільтрації над ультрафільтрацією є те, що нанофільтруючі мембрани видаляють з води все: суспензії, колоїди, бактерії і віруси, катіони важких металів і частину високомолекулярних органічних сполук. Крім того, відбувається ефективне зниження загальної жорсткості, загальної лужності і солевмісту вихідної води

[10]. За допомогою мембран для мікрофільтрації відбувається високоефективна очистка води, під час якої мінеральний склад останньої не змінюється [11, 12].

Висновки. Таким чином, нами було визначено, що очищення води мембранними методами є одними з найпрогресивніших технологій водопідготовки, що включає в себе такі типи мембран як: для мікрофільтрації, нанофільтрації, ультрафільтрації і зворотного осмосу. Серед зазначених методів найефективнішим є зворотній осмос. Важливою особливістю застосування цього методу в технологіях підготовки води є ретельне очищення шляхом пропускання крізь напівпроникну мембрану лише молекул води, блокуючи при цьому потрапляння до води забруднюючих речовин. Загалом, значною перевагою мембранних процесів над іншими альтернативними технологіями є те, що вони відбуваються, зазвичай, без енергоємних фазових переходів речовин.

Література.

1. Гулієнко С. В. Забруднення мембран та методи їх регенерації: критичний огляд / С. В. Гулієнко. // Международный научный журнал «Интернаука». – 2018. – №5. – С. 2,3.

2. Гомеля М.Д. Оцінка ефективності зворотньоосмотичного опріснення води після її пом'якшення на слабокислотному катіоніті / М.Д. Гомеля., І.М. Трус, В.М. Радовенчик // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 3. – С. 32-36.

3. Трус І.М. Вплив попереднього механічного доочищення води на ефективність зворотньоосмотичного опріснення води / І.М. Трус, М.Д. Гомеля, В.М. Радовенчик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 9 (198) Ч.2. – С. 197-202.

4. Гомеля Н.Д. Влияние стабилизационной обработки воды на слабокислотном катионите в кислой форме на качество нанофильтрационного опреснения шахтной воды / Н.Д. Гомеля, И.Н. Трус, Я.В. Радовенчик // Научный вестник национального горного университета. – 2014. – № 5 (143). – С. 100-105.

5. Трус І. М. Нейтралізація перміату зворотньоосмотичного опріснення води при її попередній обробці на катіоніті в кислій формі / І. М. Трус, А.І. Петриченко, М.Д. Гомеля // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 3 (67). – С. 85-90.

6. Царёв Д. А. Мембранные технологии очистки воды / Д. А. Царёв – Новополюцк, 2012. – (Полоцкий государственный университет). – С. 2.

7. Гомеля М.Д. Нанофільтраційне опріснення слабомінералізованих вод / М. Д. Гомеля, І. М. Трус, В. М. Грабітченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2014. – № 1. – С. 98-102.

8. Трус І.М. Очистка води від іонів важких металів відстоюванням, нанофільтруванням та флотацією / І. М. Трус, М.Д. Гомеля, Є.В. Мельниченко, В.О. Мігранова // Технічні науки та технології. – 2019. - № 1(15). – С. 204-213.

9. Trus I., Radovenchuk I., Halysh V., Skiba M., Vasylenko I., Vorobyova V., Hlushko O., Sirenko L. 2019. Innovative Approach in Creation of Integrated

Technology of Desalination of Mineralized Water. Journal of Ecological Engineering. 20(8), 107–113.

10. Trus I.M., Gomelya M.D., Makarenko I.M., Khomenko A.S., Trokhymenko G.G. The Study of the particular aspects of water purification from heavy metal ions using the method of nanofiltration / Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychoho Universytety. – 2020. – №4. – P.117–123.

11. Дейниченко Г. В. Сучасні процеси водопідготовки та водоочищення / Г. В. Дейниченко, В. В. Гузенко. // Харківський державний університет харчування та торгівлі. – 2016. – №34. – С. 4,6.

12. Буртна І. А. Огляд мембранних технологій очистки води у водопостачанні та водопідготовці / І. А. Буртна, Д. В. Литвиненко. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – С. 2,3.

10. ВИКОРИСТАННЯ МЕМБРАННОЇ ЕМУЛЬСИФІКАЦІЇ ДЛЯ ІММОБІЛІЗАЦІЇ КАЛЬЦІЙ ПАНТОТЕНАТУ В МІКРОЕМУЛЬСІЇ НА ОСНОВІ ХІТОЗАНУ

Тамара Михайлова, Вікторія Коновалова, Сергій Царик, Тетяна Мєшкова

Національний університет «Києво-Могилянська академія»
tomamikhailova96@gmail.com, v.konovalova@ukma.edu.ua

Маринін Андрій Іванович
Національний університет харчових технологій м. Київ
andrii_marynin@ukr.net

Вступ

Мікроемульсії використовують як носії для доставки лікарських засобів, зокрема, для трансдермальної доставки. Як носії лікарських засобів, мікроемульсії мають наступні переваги: біосумісність, простота отримання, можливість капсулювання гідрофільних і гідрофобних речовин, підвищення розчинності лікарського засобу.

Загальновідомі методи одержання емульсій за допомогою колоїдних млинів, гомогенізаторів високого тиску та ультразвукових гомогенізаторів, мають ряд недоліків, зокрема синтез полідисперсних систем, високі енерговитрати процесу та негативний вплив високої напруги зсуву на чутливі компоненти, що інкапсульовані в отримані системи. Проте, розмір частинок та їх розподіл за розміром є одними із ключових факторів, які визначають властивості отриманих емульсій [1-2]. Технологія мембранної емульсифікації ґрунтується на використанні мембран для отримання монодисперсних емульсій, шляхом пропускання дисперсійної фази до дисперсійного середовища крізь пори мембрани певного розміру при накладанні тиску [3]. Низька напруга зсуву впродовж отримання емульсій даним методом, яка нівелює вплив на втрату терапевтичної активності діючої речовини, можливість отримати частинки з

вужьким діапазоном розподілу за розміром, що збільшує стабільність новоутворених систем – це основні фактори, які обумовлюють актуальність розвитку і впровадження методу мембранної емульсифікації для одержання емульсій [4].

Матеріали і методи.

Для отримання мікроемульсій використовували промислова трекова мембрана (PETF), діаметр пор $d = 0,1$ мкм виготовлена з поліетилентерефталату (Інститут ядерних досліджень, ІЯД, Російська Федерація)

Для одержання мікроемульсій, дисперсійну фазу пропускають через пори мембрани в дисперсійне середовище. Для приготування дисперсійної фази на аналітичних вагах зважують 0,25 г пантотенату кальцію, який розчиняють у 5 мл 0,5 об. % розчину хітозану. Загальний об'єм дисперсійної фази для отримання мікроемульсій, який відбирають у шприц 2 становить $V = 5$ мл. Дисперсійне середовище складається з емульгаторів Tween 80, олеїнової кислоти з концентраціями 1 об. % і 2 об. % відповідно і соняшникової олії. Загальний об'єм дисперсійного середовища $V = 20$ мл. Тиск 10 – 15 кПа. Швидкість перемішування – 400 об/хв. Час перемішування $t = 10$ хв.

Метод динамічного розсіювання світла використано для дослідження стабільності мікроемульсій. Кінетику вивільнення кальцій пантотенату, імібілізованого до мікроемульсій на основі хітозану, отриманих методом мембранної емульсифікації, досліджено на спеціально розробленій установці (рис.1). До діалізної мембрани 5 відбирають 5 мл попередньо приготованої мікроемульсії. Мембрану поміщають до мірного стакану (500 мл) з буферним розчином відповідного рН. Температуру контролюють за допомогою водяної бані. Методом УФ-спектроскопії досліджено кінетику вивільнення кальцій пантотенату з полімерних оболонок хітозану залежно від рН середовища і температури ($\lambda = 220$ нм).

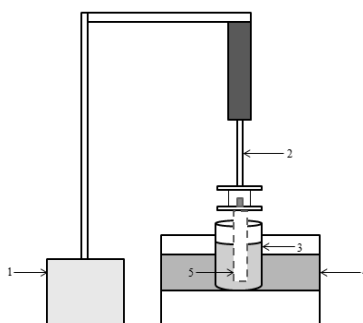


Рис.1. Установа для вимірювання кінетики вивільнення кальцій пантотенату з хітозанових мікроемульсій: 1 – блок живлення; 2 – магнітна мішалка; 3 – мірний стакан; 4 – водяна баня; 5 – діалізна мембрана.

Результати та їх обговорення.

Дослідження стабільності мікроемульсій, отриманих методом мембранної емульсифікації

Методом динамічного розсіювання світла досліджено стабільність мікроемульсій хітозану, отриманих методом мембранної емульсифікації

(рис. 2, рис. 3, рис. 4). Чим більша стабільність одержаної емульсії, тим більший термін придатності таких систем і тим більша їх ефективність. Вимірювання стабільності отриманих систем проведено в день отримання, через два тижні і через сорок днів. Упродовж вказаного часу розмір частинок мікроемульсії коливався у діапазоні від 250 до 320 нм. Незначне відхилення у розмірах частинок свідчить про те, що мікроемульсії хітозану до яких іммобілізовано пантотенат кальцію є стабільними.

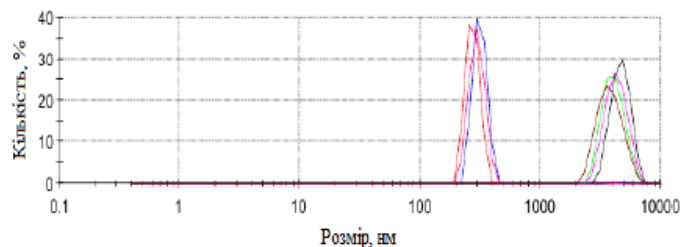


Рис. 2. Стабільність мікроемульсій у перший день отримання.
Склад емульсії: 280 нм – 99,3 %, 4490 нм – 0,7%.

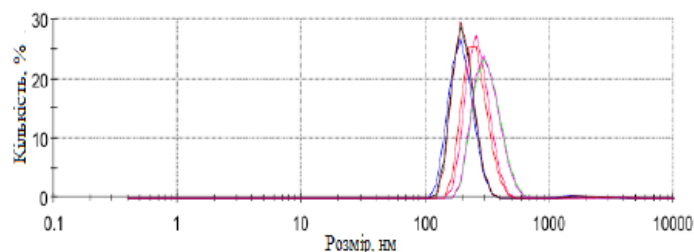


Рис. 3. Стабільність мікроемульсій через два тижні.
Склад емульсії: 250 нм – 99,8 %, 3360 нм – 0,2%.

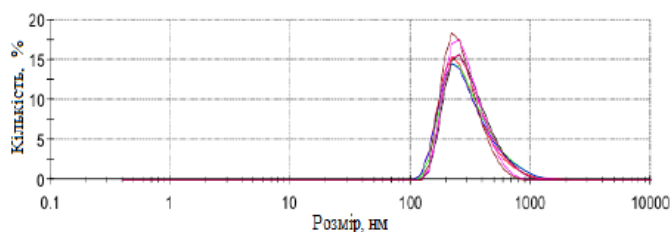
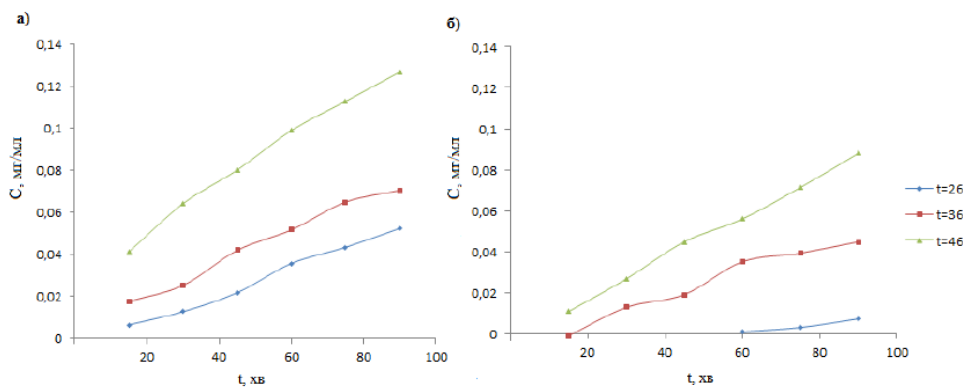


Рис. 4. Стабільність мікроемульсій через сорок днів.
Склад емульсії: 320 нм – 100%.

Дослідження кінетики вивільнення пантотенату кальцію залежно від температури

Дослідження температурної залежності дозволило розрахувати значення енергії активації E_A , величина якої дозволяє встановити характер взаємодії між інкапсульованою речовиною (кальцій пантотенатом) і полімерною оболонкою (хітозаном). Встановлено, що при $pH = 5,5$ середнє значення енергії активації дорівнює $E_A = 58,66$ кДж/моль. Це означає, що вивільнення лікарського препарату відбувається у кінетичній області та свідчить про наявність хімічної взаємодії між хітозаном і пантотенатом

кальцію, що забезпечує пролонговану дію препарату. При зменшенні рН до 2,0, величина середнього значення енергії активації також зменшується і дорівнює $E_A = 24,07$ кДж/моль. За таких умов хімічні зв'язки між хітозаном і пантотенатом кальцію послаблюються, лімітуючою стадією вивільнення лікарського препарату є дифузія, тобто вивільнення препарату відбувається значно швидше, а його терапевтична дія зменшується (рис. 5а і рис. 5б).



Висновки. Відпрацьовано методику іммобілізації кальцій пантотенату до мікроемульсій на основі хітозану, отриманих методом мембранної емульсифікації. Методом динамічного розсіювання світла досліджено стабільність емульсій в день отримання, через два тижні і через сорок днів. Упродовж вказаного терміну середній розмір частинок мікроемульсії варіювався у діапазоні від 250 до 320 нм, що в цілому свідчить про стабільність отриманих мікроемульсій. Розроблено апартурне оформлення для вимірювання кінетики вивільнення кальцій пантотенату з мікроемульсій хітозану. Досліджено вплив рН середовища на швидкість вивільнення кальцій пантотенату з мікроемульсій на основі хітозану методом УФ-спектороскопії. Пролонгована дія препарату збільшується від рН=2 до рН=9. Досліджено вплив температури на кінетику вивільнення кальцій пантотенату. Показано, що в кислому середовищі (рН=2) вивільнення відбувається у дифузійній області, а при збільшенні рН (рН=5,5) вивільнення відбувається у кінетичній області.

Література.

1. S.Gehrmann, H.Bunjes, Influence of membrane material on the production of colloidal emulsions by premix membrane emulsification// [European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics](#). -2018. - V.126/ -P. 140-148.
2. J.Wu, Q.Fan , G. Ma, Uniform-sized particles in biomedical field prepared by membrane emulsification technique// [Chemical Engineering Science](#). -2015. – V. 125. - P. 85-97.
3. Vladislavljević G.T. Preparation of microemulsions and nanoemulsions by membrane emulsification // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2019. – Vol. 579 . – P. 1–45.
4. E. Piacentini, M.M. Dragosavac, L. Giorno, Pharmaceutical particles design by membrane emulsification: preparation methods and applications in drug deliver// *Current Pharmaceutical Design*. – 2017. – Vol. 23. – P. 302–318.

11. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ ПРИ РОЗДІЛЕННІ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПЕРМЕАТУ ПІСЛЯСПИРТОВОЇ ЗЕРНОВОЇ БАРДИ

Андрій Музиченко, Людмила Корнієнко
Національний університет харчових технологій
KornienkoLV@ukr.net

Вступ. Питання удосконалення процесів і технологій переробки післяспиртової барди є актуальним на сьогоднішній день. Послідовне використання процесів ультрафільтрації та зворотного осмосу, з вилученням високо- та низькомолекулярних сполук з фугату барди, дає можливість отримати чисту воду, що має природоохоронне значення.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на установці тупікового типу. Ефективна площа мембрани становила $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Експериментальні дослідження були проведені на зразках післяспиртової зернової барди, отриманої на заводі ДП «Червонослобідський спиртзавод» Київської обл. при виробництві спирту етилового. Використовували зворотно осмотичні мембрани НаноРо серії К (ЗАТ «РМ Нанотех»).

Результати. Пермеат, отриманий в результаті ультрафільтраційного розділення фугату післяспиртової барди міститься від 0,8 до 1,2% сухих речовин, а також мінеральні речовини в діапазоні від 1043 до 1376 мл/дм^3 , тому його на нашу думку доцільно доочищувати [1].

Дослідження процесу зворотного осмосу паралельно проводили як для розділення ультрафільтраційного пермеату, так і для фугату післяспиртової барди. На першому етапі експеримент проводили при сталій температурі розчинів 20°C , об'єм становив 100 мл, тиск змінювали в діапазоні від 2 до 8 МПа. Результати представлені на рис.1.

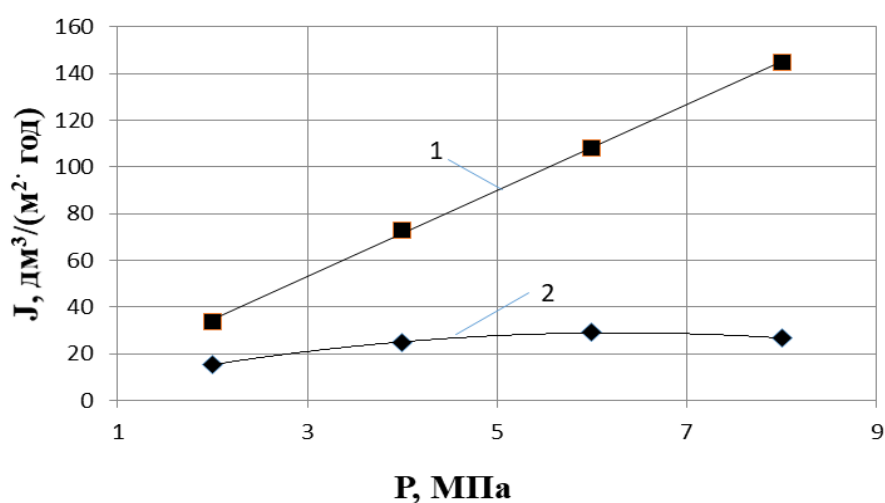


Рис.1. Залежність питомої продуктивності від тиску під час процесу зворотного осмосу: 1- ультрафільтраційний пермеат; 2-фугат післяспиртової зернової барди

Із збільшенням тиску продуктивність мембрани при розділенні ультрафільтраційного пермеату пропорційно зростає (рис.1, крива 1).Що стосується розділення фугату післяспиртової барди (рис 4.1, крива 2), то збільшення тиску мало впливає на продуктивність мембрани. Можна припустити, що відбувається явище концентраційної поляризації тому, що високомолекулярні сполуки, які не були затримані в процесі ультрафільтрації, осідають на поверхні мембрани, в наслідок чого формується динамічна мембрана. Точкою гелеутворення в нашому випадку можна вважати тиск 6 МПа. На поверхні мембрани формується гелевий шар, який призводить до різкого зростання гідравлічного опору мембрани. Із збільшенням тиску відбувається ущільнення, внаслідок чого питома продуктивність зменшується.

Однією з найважливіших характеристик мембран є затримувальна здатність мембрани. На рис.2 зображені залежності затримувальної здатності мембрани NanoPo від тиску.

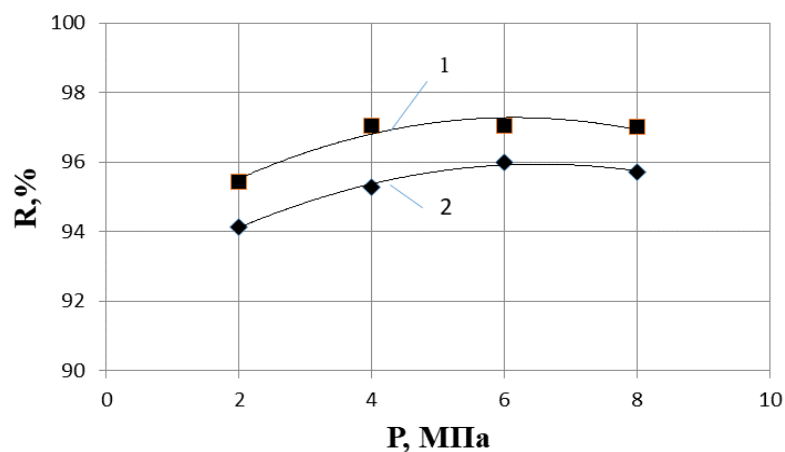


Рис.2. Залежність селективності мембрани по мінеральним речовинам від тиску: 1- ультрафільтраційний пермеат зернової барди; 2-фільтрат зернової барди після центрифугування

З підвищенням робочого тиску затримувальна здатність мембрани зростає, що спричинено зменшенням концентрації розчиненого компонента в пермеаті. Найбільша селективність досягається при тиску в діапазоні від 4 до 6 МПа. Разом з тим, із збільшенням робочого тиску зростають енерговитрати, тому в подальших дослідженнях приймаємо робочий тиск 4 МПа.

Висновки. Встановлено, що найбільш інтенсивно процес зворотного осмосу ультрафільтраційного пермеату та фугату післяспиртової барди відбувається за умов тиску 4,0 МПа, при цьому селективність мембрани марки NanoPo по мінеральним речовинам становить 95-97 %.

Література.

1.Корнієнко Л.В. Дослідження процесу ультрафільтрації післяспиртової зернової барди /Л.В. Корниенко, Ю.Г. Змієвський , В.Г. Мирончук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». - Харків, 2014. Вип.152. С. 156-161.

12. КОМПОЗИТНІ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНІ МЕМБРАНИ З ІНКОРПОРОВАНИМИ ДИСПЕРГОВАНИМИ ОКСИДНИМИ НАНОЧАСТИНКАМИ

Людмила Рождественська

Інститут загальної та неорганічної хімії ім.В.І. Вернадського
ludar777@ukr.net

Олег В'юнов

Інститут загальної та неорганічної хімії ім.В.І. Вернадського
vyunov@gmail.com

Катерина Куделко

Інститут загальної та неорганічної хімії ім.В.І. Вернадського
kathykudelko@gmail.com

Людмила Пономарьова

Сумський національний аграрний університет
ponomarovva@gmail.com

Олександр Більдюкевич

Інститут фізико-органічної хімії Національної академії наук Беларусі
uf@ifoch.bas-net.by

Тетяна Пліско

Інститут фізико-органічної хімії Національної академії наук Беларусі
plisko.v.tatiana@gmail.com

Володимир Захаров

Національний Університет Харчових Технологій
saharoff.911@gmail.com

Вступ. Ультрафільтраційне очищення широко застосовується для видалення колоїдних частинок з водних та неводних середовищ. У харчовій промисловості ультрафільтрація використовується при виробництві напоїв, для знежирення молока, концентрування соків, як етап, що передує зворотньому осмосу. Основною проблемою фільтрації є зменшення проникності мембран через забруднення органікою. Мембрани потребують хімічної регенерації, яка передбачає агресивні реагенти. Змінюючи гідрофільність поверхні полімерних мембран, досягають покращення опору мембрани до забруднення. Застосовується ряд неорганічних сполук в якості модифікаторів, наприклад, гідрофосфат цирконію, гідратований діоксид цирконію [1], оксид заліза (III). Модифікування дозволяє підвищити проникність рідини та збільшити стійкість до забруднення без достатніх змін мембранної структури.

Магнітні частинки - модифікатор, який покращує функціональні властивості полімерних мембран. Мембрана, що містить наночастинки Fe_3O_4 та частинки оксиду графену, демонструє високу пропускну здатність та високий ступінь розділення. Адсорбційна здатність збільшується за рахунок поліпшення гідрофільності, з одного боку, та нуклеофільних функціональних груп на поверхні наночастинок, з іншого. Метою роботи було отримання органо-неорганічних мембран, що містять неорганічний магнітний модифікатор, та

встановлення впливу наповнювача на роздільчу здатність композиційних мембран та їх стійкість проти забруднення.

Матеріали і методи. Ультрафільтраційні мембрани (виготовлені Інститутом фізико-органічної хімії Національної академії наук Республіки Білорусь) використовувались в якості вихідної підкладки. Матеріали складаються з макропористого субстрату, який містить надтонкий активний шар (полісульфону (PS) або поліакрилонітрилу (PAN)). Магнітні наночастинки (MNP) $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ синтезовано згідно з [2]. Фіксували частинки у порах мембрани за допомогою гідратованого діоксиду цирконію (HZD). MNP диспергували в золі HZD при застосуванні ультразвукової активації (30 кГц). HZD і MNP спільно осаджували безпосередньо в полімері з 0,1М розчином NH_4OH . Мембрану сушили при 50°C і очищали ультразвуком для видалення осаду з зовнішньої поверхні. Отримано мембрани, що містять лише частинки HZD. Морфологію мембран досліджували за допомогою скануючої електронної мікроскопії. Значення фрактальної розмірності агрегатів у макропористості підкладки оцінювали методом підрахунку кубів, триангуляції та за силою спектра. Для тестувань пропускної здатності мембран використовували водопровідну воду. Концентрацію Ca^{2+} , Mg^{2+} визначали атомно-абсорбційним методом. Використовували сік цукрового буряку (ПАТ "Саливонківський цукровий завод"). Вміст рослинних білків визначали у використанні барвника Coomassie brilliant blue G-250. Оцінювали селективність мембран ϕ , та пропускну здатність мембрани, потік перміату J .

Результати. SEM-зображення мембрани PAN наведені на рис. 1 а, б. Мікропориста підкладка складається з волокон, розмір яких становить 10-20 мкм. Активний шар, який нанесено на підкладку, утворює мембрану, здатну затримувати колоїдні частинки.

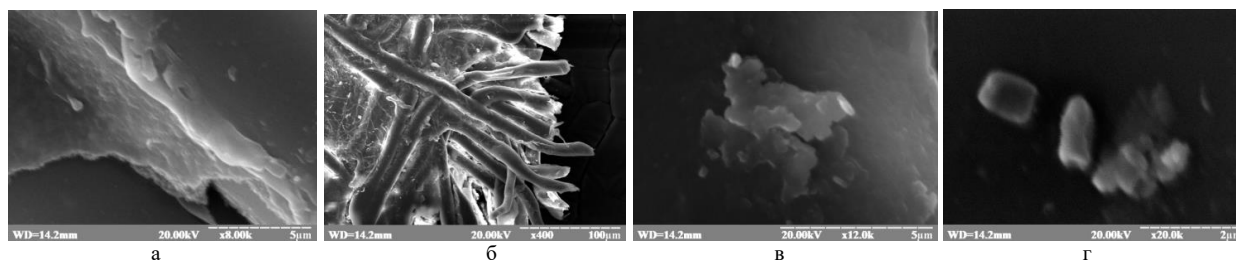


Рис. 1. SEM зображення вихідної (а, б) та модифікованої (в, г) PAN мембрани: активний шар (а) та макропориста підкладка (б-г). Модифікатор: однокомпонентний HZD (в) та двокомпонентний HZD з диспергованими частинками MNP (г).

У випадку осадження у мембрані модифікатору HZD, частинки, розмір яких становить до 5 мкм, знайдені у макропористій підкладці (рис. 1в). У випадку двокомпонентного модифікатору, що містить MNP, розмір частинок наповнювача становить до 2 мкм (рис. 1г). Розраховано фрактальну розмірність агрегатів (2,4-2,7), таким чином, лімітуючою стадією їх утворення під час осадження є дифузія первісних наночастинок. Механізм передбачає прилипання частинок до невеликих агрегатів (модель DLA). У нашому випадку

частинки MNP, вочевидь, є додатковими центрами осадження. При баромембранному очищенні соку цукрових буряків з використанням модифікованих мембран були досягнуті підвищенні значення селективності по відношенню до рослинних білків (РБ). Фільтрацією соку досягнуто його освітлення. Рослинні білки частково дифундували у пермеат. Показано, що модифікація наночастинками покращує здатність мембран відділяти ці цінні компоненти (див. Таблицю). Вищими значенням селективності охарактеризувались мембрани, що містять MNP. Крім того, модифікування підвищило селективність мембран до іонів жорсткості.

Таблиця

Фільтрування при тиску 2 бар.

Мембрана	Вода		Сік цукрового буряка	
	$J (m^3 m^{-2} c^{-1})$	$\varphi (\%),$ $Ca^{2+},$ Mg^{2+}	$J (m^3 m^{-2} c^{-1})$	$\varphi (\%),$ РБ
PAN	1.1×10^{-5}	6-7	1.1×10^{-6}	16-26
PAN+HZD	5.9×10^{-7}	8-19	3.8×10^{-7}	58-77
PAN+HZD+MNP	9.5×10^{-7}	7-20	4.3×10^{-7}	78-87
PS	2.3×10^{-5}	2-3	2.4×10^{-6}	6-13
PS+HZD	5.7×10^{-7}	5-7	5.5×10^{-7}	38-49
PS+HZD+MNP	3.6×10^{-6}	5-6	5.7×10^{-7}	55-60

Висновки. При модифікуванні ультрафільтраційних полімерних мембран частинками HZD компонент осідає і утворює агрегати як в макропористій підложці, так і в активному шарі. Додавання компоненту MNP на стадії золя забезпечує утворення менших часток HZD. Виявлено, що функція MNP прискорює дифузію осаджених наночастинок HZD. В результаті модифікації композитна мембрана демонструє незначне поліпшення розділення Ca^{2+} , Mg^{2+} та вище розділення рослинних білків порівняно з вихідними мембранами. Модифікуючий ефект найбільш виражений для полімерної мембрани PAN, яка характеризується меншими порами через свій активний шар порівняно з мембраною PS. Неорганічні композити демонструють антифаулінгові властивості завдяки додатковій гідрофілізації полімерної основи. Мембрани можна рекомендувати для очищення води та переробки сировини та відходів харчової промисловості.

Література.

1. Myronchuk V.G., Dzyazko Yu.S., Zmievskii Yu.G. et al Organic-inorganic membranes for filtration of corn distillery // Acta Periodica Technologica- 2016.- Vol. 47. - P. 153-165.
2. [Belous A.G.](#), [V'yunov O.I.](#), [E.V. Pashkova](#), [Ivanitskii V.P.](#), [Gavrilenko O.N.](#) Mössbauer Study and Magnetic Properties of M-Type Barium Hexaferrite Doped with Co+ Ti and Bi + Ti Ions // J. Phys. Chem. B - 2006. - Vol 110. - №51. – P. 26477–26481.

13. ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОДИ ВІД ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ МОДИФІКОВАНОЮ КЕРАМІЧНОЮ МЕМБРАНОЮ

Тетяна Дульнева, Людмила Деремешко

Інститут колоїдної хімії і хімії води ім. А.В. Думанського НАН України

t_dulneva@ukr.net, cola13@ukr.net

Юлія Поварова

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

povarova97@gmail.com

Вступ. Відомо [1], що наявність органічних речовин у природній воді погіршує її якість – колір, смак і запах, перешкоджає біологічному балансу і самоочищенню. Для оцінки вмісту у природних водах органічних речовин використовують на практиці найчастіше визначення загального органічного вуглецю (ЗОВ). Згідно з ДСТУ 7525:2014 значення гранично-допустимої концентрації (ГДК) ЗОВ у питній воді централізованого водопостачання становить 8,0 мгС/дм³, а нецентралізованого – 1,5 мгС/дм³ (ДСТУ 7525: 2014. Вода питна). Природні води містять органічні речовини в порівняно невисоких концентраціях. Середня концентрації органічного вуглецю в річкових і озерних водах найчастіше не перевищує 20 мг/дм³ [2].

Для очищення води від природних органічних забруднень, включаючи гумінові речовини, білки, вуглеводні, лігніни й інші сполуки, що синтезовані гідробіонтами, використовують коагуляцію, хімічне окислення, адсорбцію, іонообмінні та мембранні технології. Однак, такі методи або є дорогими, або не завжди забезпечують ГДК ЗОВ у питній воді. Тому виникає необхідність розробки нових ефективніших процесів очищення води від органічних речовин. Перспективними у цьому відношенні є баромембранні методи, які реалізуються на керамічних мембранах [3]. Такі мембрани мають низку переваг над полімерними: вони міцніші, стійкіші до дії тиску та температури, агресивних середовищ, мікроорганізмів, просто регенеруються зворотним потоком очищеної води (пермеатом).

Мета даної роботи полягала у визначенні параметрів процесу очищення дніпровської води від органічних речовин мікрофільтраційною трубчастою керамічною мембраною з глинистих мінералів, яка модифікована різними речовинами.

Матеріали і методи. Дослідження з очищення природної води проведені на дослідній баромембранній установці, що працювала в проточно-рециркуляційному режимі. У ній використано мікрофільтраційну керамічну трубчасту мембрану з глинистих мінералів, яка розроблена в ІКХВ ім. А.В. Думанського НАН України (ТУ У 29.2-05417348-014:2014 Мембрани керамічні «Керама»). В експериментах використовували воду р. Дніпро в районі м. Києва. Аналіз розчинів на вміст в них завислих речовин здійснювали згідно ДСТ 3351. Концентрацію ЗОВ визначали методом каталітичного спалювання на приладі Shimadzu TOC-V CSN.

За результатами експериментів розраховували коефіцієнт затримки R (%) ЗОВ і питому продуктивність J_v ($\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$) мембрани.

Результати. Для очищення дніпровської води (ДВ) від органічних речовин використовували керамічні мембрани, попередньо модифіковані різними речовинами (гідроксосолюками Al(III) , кукурудзяним крохмалем, монтморилонітом), що формували на її поверхні динамічну мембрану (ДМ), для забезпечення стабільної роботи якої необхідно постійно додавати до розчину мембранопідтримуючу добавку з концентрацією в кілька разів меншою, ніж концентрація мембраноформуючої добавки.

У табл. 1 показано, що динамічно модифікована гідроксосолюками Al(III) керамічна мембрана затримувала за оптимальних умов органічні речовини на 66,1 – 70,6 %. Такі результати давали змогу очищати ДВ до норми ГДК ЗОВ у питній воді для централізованого водопостачання. При цьому значення концентрації завислих речовин у пермеаті ($C_{\text{пер.ЗР}}$) досягали їх ГДК для питної води.

Таблиця 1.

Вплив тривалості (τ) процесу очищення ДВ на R ЗОВ, $C_{\text{пер.ЗОВ}}$, $C_{\text{пер.ЗР}}$ та J_v керамічної мембрани, що модифікована гідроксосолюками Al(III)

τ , год.	R ЗОВ, %	$C_{\text{пер.ЗОВ}}$, мгС/дм ³	$C_{\text{пер.ЗР}}$, мг/дм ³	J_v , м ³ /(м ² ·год)
0,5	70,6	3,3	0,2	0,20
1,0	70,6	3,3	0,2	0,15
2,0	68,7	3,5	0,1	0,12
4,0	66,1	3,8	0,1	0,11

Примітка: $C_{\text{м.ф.д. Al(III)}}$ – 80,0 мг/дм³; $C_{\text{м.п.д. Al(III)}}$ – 16,0 мг/дм³;
 C_0 ЗОВ – 11,2 мг/дм³, pH_0 – 6,5; P – 1,0 МПа.

При модифікуванні у динамічному режимі керамічної мембрани кукурудзяним крохмалем результати очищення ДВ були дещо іншими (табл. 2). Особливістю цього процесу було те, що значення C_0 ЗОВ у ДВ зростало до 20,1 мгС/дм³ за рахунок наявності у ній мембранопідтримуючої добавки з крохмалю. Значення $C_{\text{пер.ЗОВ}}$ досягало норми ГДК ЗОВ для централізованого водопостачання протягом усього експерименту, а $C_{\text{пер.ЗР}}$ – після 1,0 год від початку експерименту (табл. 2). Однак, така мембрана характеризувалася набагато нижчою питомою продуктивністю, ніж попередня.

Враховуючи, що молекули крохмалю відносяться до електронейтральних, механізм дії динамічної мембрани із цієї речовини можна вважати стеричним. Про це також свідчили результати, що отримані іншими авторами при очищенні розчинів від солей динамічною мембраною з крохмалю [4, 5].

Низькою була затримка ЗОВ (R 20,6 %) при очищенні ДВ (C_0 ЗОВ – 10,0 мг/дм³, pH_0 – 7,3; P – 1,0 МПа; τ – 120 хв.) керамічною мембраною, що модифікована у динамічному режимі глинистим мінералом – монтморилонітом. Це можна пояснити його низькою адсорбційною ємністю до органічних речовин, які містилися в ДВ. При цьому така модифікована

керамічна мембрана проявляла досить високу питому продуктивність ($0,10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$). Після 120 хв. експерименту затримка завислих речовин цією мембраною досягала норми їх ГДК у питній воді.

Таблиця 2.

Залежність від тривалості (τ) процесу значень R ЗОВ, $C_{\text{пер.ЗОВ}}$, $C_{\text{пер.ЗР}}$ та J_v керамічної мембрани, що модифікована кукурудзяним крохмалем

τ , год.	R ЗОВ, %	$C_{\text{пер.ЗОВ}}$, мгС/дм ³	$C_{\text{пер.ЗР}}$, мг/дм ³	J_v , м ³ /(\text{м}^2 \cdot \text{год})
0,5	69,6	6,1	0,5	0,05
1,0	68,6	6,9	0,3	0,03
2,0	67,7	6,5	0,3	0,02
4,0	66,2	6,8	0,2	0,02

Примітка: $C_{\text{м.ф.д.}}$ крохмалю – $100,0 \text{ мг/дм}^3$; C_0 ЗОВ – $20,1 \text{ мгС/дм}^3$, pH_0 – $7,7$; P – $1,0 \text{ МПа}$.

Висновки. Таким чином, досліджено закономірності процесу очищення води мікрофільтраційними трубчастими керамічними мембранами з глинистих мінералів, які модифіковані різними речовинами: гідроксосополуками алюмінію, кукурудзяним крохмалем і монтморилонітом. Показано, що для очищення дніпровської води від органічних речовин до норми їх ГДК у питній воді для централізованого водопостачання доцільно використовувати керамічну мембрану з глинистих мінералів, яка модифікована у динамічному режимі гідроксосополуками алюмінію при концентрації іонів Al(III) у мембраноформуючій і мембранопідтримуючій добавках відповідно $80,0$ і $16,0 \text{ мг/дм}^3$, pH_0 – $6,5$; P – $1,0 \text{ МПа}$. Керамічні мембрани, що були модифіковані іншими зазначеними речовинами, мали за оптимальних умов гірші розділові властивості.

Література.

1. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды / Под ред. В.В. Гончарука. Киев: Наукова Думка, 2005. 400 с.
2. Клименко В.Г. Загальна гідрологія. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2012. 254 с.
3. [Goncharuk V.V.](#), [Dulneva T.Yu.](#), [Kucheruk D.D.](#), [Baranov A.I.](#) Purification of natural water by ceramic microfiltration membranes from clayey minerals. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2017. 39, N 3. P. 161–165.
4. Цапюк Е.А., Бадеха В.П., Кучерук Д.Д. Исследование образования динамических мембран из крахмала. *Химия и технология воды*. 1980. 2, № 1. С. 30–32.
5. Цапюк Е.А., Бадеха В.П., Кучерук Д.Д. Современные представления о кинетике образования динамических мембран. *Химия и технология воды*. 1980. 2, № 2. С. 224–229.

14. ЗНЕСОЛЕННЯ ТА ГРАНИЧНЕ КОНЦЕНТРУВАННЯ ХЛОРИДНИХ СОЛОНУВАТИХ ВОД ЕЛЕКТРОДІАЛІЗАТОРОМ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Людмила Деремешко, Маргарита Балакіна, Дмитро Кучерук

Інститут колоїдної хімії і хімії води ім. А.В. Думанського НАН України
cola13@ukr.net

Вступ. Отримання питної води з вод типу солонуватих за допомогою знесолення широко практикується в регіонах, які відчують її гостру нестачу. Орієнтовно, при загальному солевмісті води 1,5–15 г/дм³ рекомендується застосовувати зворотний осмос або електродіаліз. Однак, однією з найважливіших стадій мембранної технології є переробка концентрату, тоді як у процесі зворотноосмотичного знесолення хоча і утворюється концентрат з солевмістом значно вищим, ніж вихідна вода, але недостатнім для подальшої переробки, тоді як концентрування розчинів – одне з основних властивостей електродіалізної технології. Проте електродіалізатори, що випускаються промисловістю, малопридатні для цілей значного концентрування солей у розсолі внаслідок його розрідження вихідною водою, яка прокачується через розсолні камери. Мета даної роботи полягала у дослідженні процесу електродіалізного знесолення та граничного концентрування модельних розчинів хлоридних солонуватих вод електродіалізатором вдосконаленої конструкції, особливість якої полягає в тому, що в камери концентрування не подається вихідний розчин, завдяки чому не відбувається розбавлення розсолів, що дозволяє отримувати концентрат з високим солевмістом і в мінімальному об'ємі (граничне концентрування), що значно спрощує його подальшу переробку.

Матеріали та методи. Дослідження проведені на дослідному зразку електродіалізатора-концентратора вдосконаленої конструкції (ЕДК), розробленої в ІКХХВ ім. А.В. Думанського НАН України. В експериментах використовували іонообмінні мембрани МК-40 і МА-40 з робочою поверхнею 1,0 дм² кожна. Вихідний розчин подавали в камери знесолення ЕДК в проточно-рециркуляційному режимі, його об'єм становив 1,0 дм³. Для приготування модельних розчинів використовували хлорид натрію класифікації «х.ч.». Вміст іонів Cl⁻ у вихідних розчинах, ділюаті та розсолі визначали титруванням нітратом срібла.

Результати. При вивченні процесу електродіалізу (ЕД) було встановлено, що з підвищенням густини струму (i) від 0,4 до 1,0 А/дм² в результаті знесолення розчину хлориду натрію з вихідною концентрацією (C_0) 6,9 г/дм³ при тривалості процесу $\tau = 105$ хв різко знижувалася концентрація ділюата (C_d), і при $i = 1,0$ А/дм² досягала ГДК і нижче за іонами Cl⁻ у питній воді (рис. 1, крива 1). В аналогічних умовах підвищувався вміст хлориду натрію в розсолі (C_p) від 91,3 до 125,7 г/дм³ (рис. 1, крива 2) в результаті збільшення рушійної сили процесу ЕД.

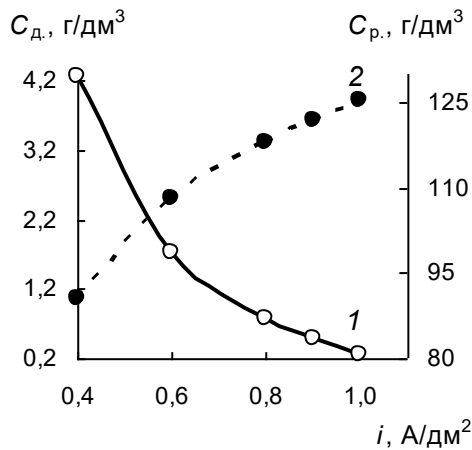


Рис. 1. Залежність електродіалізного знесолення (C_d) (1) і концентрування (C_p) (2) від густини струму при вихідному вмісті хлориду натрію $6,95 \text{ г/дм}^3$ і тривалості процесу $\tau = 105$ хв

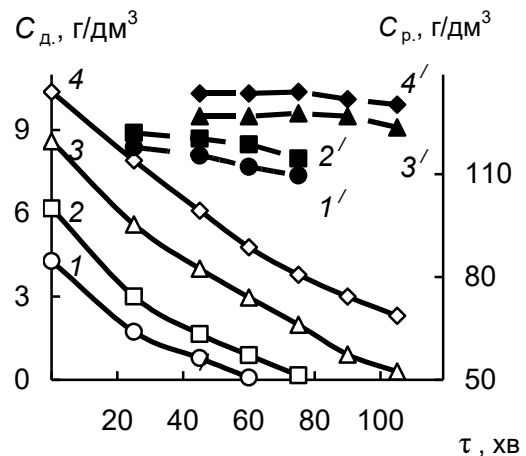


Рис. 2. Кінетика електродіалізного знесолення (C_d) (1–4) і концентрування (C_p) (1'–4') при вихідному вмісті хлориду натрію, $г/дм^3$: 4,3 (1–1'); 6,2 (2–2'); 8,6 (3–3') і 10,4 (4–4')

Зі збільшенням тривалості процесу ЕД розчинів хлориду натрію в інтервалі його вихідних концентрацій C_0 від 4,3 до 10,4 $г/дм^3$ при густині струму $i = 1,0 \text{ А/дм}^2$ зменшувався його вміст в ділюаті (рис. 2, криві 1–4). Однак, якщо вміст іонів Cl^- нижче їх ГДК у питній воді (250 мг/дм^3) забезпечувався при $C_0 = 4,3 \text{ г/дм}^3$ за 65 хв (крива 1), при $C_0 = 6,2 \text{ г/дм}^3$ за 75 хв (крива 2), при $C_0 = 8,6 \text{ г/дм}^3$ за 105 хв (крива 3), то при $C_0 = 10,4 \text{ г/дм}^3$ (крива 4) ГДК за цей же час не досягалася, що можна пояснити недостатньою величиною рушійної сили процесу в останньому випадку.

В аналогічних умовах вміст хлориду натрію в розсолі (C_p) змінювався в інтервалі 110,7–135,8 $г/дм^3$, при цьому чим вищою була вихідна концентрація, тим більшим був солеміст розсолу (рис. 2, криві 1'–4'). Деяке зменшення C_p з часом, очевидно, обумовлено посиленням осмотичного та дифузійного переносу відповідно води й іонів через мембрани.

Висновки. Показано високу ефективність процесу знесолення і граничного концентрування імітатів хлоридних солонуватих вод в ЕДК удосконаленої конструкції, розробленої в ІКХХВ ім. А.В. Думанського НАН України. Встановлено, що при густині струму $1,0 \text{ А/дм}^2$ протягом 65–105 хв можна знесолити розчин хлориду натрію з вихідної концентрацією 4,3–8,6 $г/дм^3$ до вмісту хлорид-іонів нижче їх ГДК у питній воді при одночасному концентруванні в розсольних камерах до 110,7–135,8 $г/дм^3$. Використання запропонованого ЕДК для знесолення мінералізованих хлоридних вод з граничним концентрування розсолу дозволяє в подальшому ефективно переробляти отримані розсоли.

15. БІОТЕСТУВАННЯ ВОДИ Р. ДНІПРО

Ольга Семінська, Маргарита Балакіна, Олександра Осмалена

Інститут колоїдної хімії та хімії води

ім. А.В. Думанського НАН України, м. Київ

olya.sunshine@gmail.com

Вступ: Питне водопостачання України приблизно на 80 % здійснюється за рахунок поверхневих водних джерел. В той же час, визначальним фактором для здоров'я населення є якість води, яку воно споживає. Найбільша водна артерія України – р. Дніпро, тому дуже важливим є її екологічний стан. При цьому, навіть на законодавчому рівні, відмічається забрудненість поверхневих вод країни [1], тому актуальною є проблема забезпечення населення України якісною (хімічно та генетично безпечною) питною водою [2]. Методи біотестування є комплексними та стандартними, надійними та універсальними, тому їх все частіше використовують для оцінки токсичності води. Вони прості у проведенні та дозволяють прогнозувати інтегральний вплив досліджуваної води на живі організми [3], в тому числі і людський.

Матеріали і методи: Біологічне тестування проводили на зразках води р. Дніпро без її попередньої обробки та після її очищення нанофільтрацією з використанням мембрани ОПМН-П на основі піперазину (виробник ЗАТ НТЦ «Полимерсинтез», м. Владимир) [4] з наступною ремінералізацією отриманого пермеату доломітом. Рівень токсичності зразків вихідної води та води після її ремінералізації проводили методами біотестування (*Hydra* тест та *Daphnia* тест) [5, 6] із використанням стандартних тест-організмів *Hydra attenuata* та *Daphnia magna*. Як контроль використовували синтетичну прісну воду, виготовлену у відповідності із [6].

Результати: Отримані дані біологічного тестування зразків вихідної води показали зміну морфології обох досліджуваних тест-організмів (на рівні організму гідри та дафнії), що свідчить про наявність хронічної токсичності води. Зразок води, що був очищений методом нанофільтрації із наступною ремінералізацією не виявив ані гострої, ані хронічної токсичності по відношенню до обраних тест-систем.

Висновки: Для забезпечення населення якісною питною водою доцільно проводити очищення дніпровської води запропонованим методом, що дозволяє отримати воду, яка відповідає нормативам якості питної води за біологічними показниками.

Література.

1. Закон України станом на 28.02.2019 р. «Про Основні засади (стратегію) державної економічної політики України на період до 2030 року». – Відомості Верховної Ради України. 2019. № 16.

2. Генетически безопасная питьевая вода. Требования и методы контроля ее качества / Гончарук В.В., Пшинко Г.Н., Руденко А.В., Плетнева Т.В., Сыроежкин А.В., Успенская Е.В., Сапрыкина М.Н., Злацкий И.А. Химия и технология воды. 2018. 40, № 1, С. 32 – 41.

3. Гончарук В.В., Коваленко В.Ф. Теоретические аспекты биотестирования природных и питьевых вод. Химия и технология воды. 2012. 34. № 2. С. 171 – 178.
4. Полимерные мембраны «Владипор». ЗАО НТЦ «Владипор»: Владимир, 1999. 23с.
5. А.В. Наниева, А.В. Пелишенко, В.Ф. Коваленко, В. В. Гончарук // Использование *Hydra Attenuata (Pallas)* для определения острой летальной и хронической токсичности питьевых, природных вод и водных растворов химических веществ. Химия и технология воды. 2019. Т.41, №5. С. 555-562.
6. ДСТУ 4174:2003 Якість води. Визначання хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea). К.: Держспоживстандарт України, 2004. 22 с.

16. СТАБІЛІЗАЦІЙНА ОБРОБКА РОЗЧИНІВ ПЕРЕД НАНОФІЛЬТРАЦІЙНИМ ЗНЕСОЛЕННЯМ

Інна Трус

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

inna.trus.m@gmail.com

Микола Гомеля

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

m.gomelya@kpi.ua

Вступ. Нині спостерігається погіршення якості води в природних джерелах, крім того встановлюються більш жорсткі вимоги до якості питної та технічної води. Внаслідок чого нанофільтраційні та зворотньоосмотичні мембрани мають величезні перспективи при застосуванні їх в промисловості, комунальних господарствах та побуті [1–4]. Особливо ефективний процес нанофільтрації при обробці вод з високими показниками кольоровості. Для широкомасштабного застосування мембранних технологій необхідно спрощення і здешевлення технологій очищення води, підвищення їх надійності та ефективності. Основні досягнення у вдосконаленні систем нанофільтрації, полягають в області синтезу нових мембран, нових конструкцій апаратів, вивчення процесів забруднення мембран та продовження терміну їх експлуатації [5, 6]. Тому необхідно вирішити проблему стабілізаційної обробки води перед стадією мембранного очищення для запобігання осадовідкладенням на мембранах [7, 8].

Матеріали і методи. В роботі було вивчено процеси очищення слабомінералізованих вод при використанні нанофільтраційної мембрани ОПМН–П в статичних умовах при перемішуванні розчину, властивості якої наведено в таблиці 1.

Властивості нанофільтраційної мембрани ОПМН–П

Показник	Значення
Максимальна температура, °С	45
Робочий діапазон рН	2–12
Робочий тиск, МПа	1,6
Мінімальна продуктивність по фільтрату при температурі 25 °С, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$	100
Селективність, %:	
По 0,2% MgSO_4 , не менше	98,5
По 0,15% NaCl , не менше	55,0
Стійкість з Cl^- , млн^{-1} , не менше	1

При проведенні досліджень досліджень нанофільтраційного знесолення води був використаний модельний розчин: $\text{Ж} = 9,5 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{C}(\text{Ca}^{2+}) = 2,9 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{C}(\text{Mg}^{2+}) = 6,6 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{Л} = 4,5 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{C}(\text{SO}_4^{2-}) = 13,0 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{C}(\text{Cl}^-) = 3,0 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{pH} = 8,50$ та розчин після його стабілізаційної обробки на слабокислотному катіоніті.

Результати. При фільтруванні слабомінералізованого розчину та розчину після його стабілізаційної обробки на слабокислотному катіоніті через нанофільтраційну мембрану ОПМН–П визначили зміну продуктивності мембрани в залежності від робочого тиску та ступеню відбору перміату (табл. 2). При очищенні слабомінералізованого розчину продуктивність залежить від робочого тиску і в меншій мірі від ступеню відбору перміату. Отже, зростання осмотичного тиску розчину відіграє більш значну роль. Зниження продуктивності мембрани з часом в даному випадку при тиску 0,30, 0,35 та 0,40 МПа становить відповідно 1,65, 1,67 та 2,58 $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Таблиця 2.

Залежність продуктивності нанофільтраційної мембрани ОПМН–П від ступеню відбору перміату при фільтруванні слабомінералізованого розчину (I) та розчину після його обробки на слабокислотному катіоніті (II)

Z, %	J, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$					
	I			II		
	P, МПа					
	0,30	0,35	0,40	0,30	0,35	0,40
10	4,58	5,59	8,17	5,77	7,17	8,85
20	4,11	5,26	6,63	4,42	5,36	7,58
30	3,64	4,62	5,77	4,35	5,26	7,27
40	3,45	4,35	6,03	4,21	5,15	7,17
50	3,09	4,28	5,83	4,15	4,96	6,89
60	2,94	4,15	5,59	4,11	4,87	7,08
70	2,93	3,92	5,59	4,08	4,78	6,80

При фільтруванні розчину після його стабілізаційної обробки на слабокислотному катіоніті через нанофільтраційну мембрану ОПМН-П продуктивність мембрани зростає із підвищенням робочого тиску від 0,3 до 0,4 МПа та знижується із підвищенням ступеню відбору перміату від 10 до 70 %. Очевидно, що даний ефект обумовлений в першу чергу зростанням солевмісту в концентраті та підвищенням осмотичного тиску.

При тривалому фільтруванні води через нанофільтраційні мембрани на їх поверхнях утворюються відкладення, що призводять до зниження продуктивності мембран. Але при фільтруванні некатіонованого модельного розчину час використання мембрани був досить малий для утворення на її поверхні значних відкладень, що перешкоджали б фільтруванню води. При більш тривалому фільтруванні необробленого розчину продуктивність мембрани значно зменшилась би. Тому при підкисленні розчину на катіоніті продуктивність мембрани змінюється практично в тих же межах, що і при фільтруванні некатіонованого вихідного розчину.

Концентрати нанофільтраційного знесолення води доцільно очищати за рахунок висадження сульфатів та пом'якшення при застосуванні реагентних методів. При такій обробці концентратів можна знизити вміст сульфатів, мінералізацію розчину до рівнів, допустимих на скид в каналізацію або поверхневі водойми [7].

Висновки. Розроблено методи стабілізаційної обробки води при нанофільтраційному її опрісненні для підвищення ефективності та терміну експлуатації мембран, що забезпечують високу якість води.

Визначили зміну продуктивності нанофільтраційної мембрани ОПМН-П в залежності від робочого тиску та ступеню відбору перміату при фільтруванні слабо мінералізованого розчину та розчину після його стабілізаційної обробки на слабокислотному катіоніті.

Література.

1. Гомеля М.Д. Оцінка ефективності зворотньоосмотичного опріснення води після її пом'якшення на слабокислотному катіоніті / М.Д. Гомеля., І.М. Трус, В.М. Радовенчик // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 3. – С. 32-36.

2. Гомеля М.Д. Нанофільтраційне опріснення слабомінералізованих вод / М. Д. Гомеля, І. М. Трус, В. М. Грабітченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2014. – № 1. – С. 98-102.

3. Трус І.М. Очистка води від іонів важких металів відстоюванням, нанофільтруванням та флоатацією / І.М. Трус, М.Д. Гомеля, Є.В. Мельниченко, В.О. Мігранова // Технічні науки та технології. – 2019. - № 1(15). – С. 204-213.

4. Гомеля М.Д. Застосування баромембранних методів в процесі очищення води від іонів важких металів / М.Д. Гомеля, В.П. Іванова, І.М. Трус, Є.С. Булгаков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 3 С. 23-27.

5. Трус І.М. Вплив попереднього механічного доочищення води на ефективність зворотньоосмотичного опріснення води / І.М. Трус, М.Д. Гомеля,

В.М. Радовенчик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 9 (198) Ч.2. – С. 197-202.

6. Трус І. М. Нейтралізація перміату зворотньоосмотичного опріснення води при її попередній обробці на катіоніті в кислій формі / І. М. Трус, А.І. Петриченко, М.Д. Гомеля // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 3 (67). – С. 85-90.

7. Trus I., Radovenchyk I., Halysh V., Skiba M., Vasylenko I., Vorobyova V., Hlushko O., Sirenko L. 2019. Innovative Approach in Creation of Integrated Technology of Desalination of Mineralized Water. Journal of Ecological Engineering. 20(8), 107–113.

8. Гомеля Н.Д. Влияние стабилизационной обработки воды на слабокислотном катионите в кислой форме на качество нанофильтрационного опреснения шахтной воды / Н.Д. Гомеля, И.Н. Трус, Я.В. Радовенчик // Научный вестник национального горного университета. – 2014. – № 5 (143). – С. 100-105.

17. TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF SORGHUM SACCHARATUM SYRUP PRODUCTION BY MEMBRANE TECHNOLOGIES

Vadym Chibrikov

National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine
v.chibrikov@ukma.edu.ua

Polina Vakuliuk

National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine
vakuliuk@ukma.edu.ua

Natalia Hryhorenko

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Sergiy Gunko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Introduction. One of the modern trends in food industry researches is creation of high-quality and safe products that contain vitamins, macro- and microelements and other biologically active nutrients. Search for alternative natural sugar substitutes that may increase biological value and diversity of food products is an essential focus of current researches [1].

Sorghum saccharatum is characterized by short ripening period, well tolerates soil-air droughts, and provides high and stable yields of grains and green biomass. *Sorghum saccharatum* stalk juice contains free soluble sugars, amino acids, vitamins, macro and microelements, which makes *Sorghum saccharatum* promising alternative material to sugar beet [2].

Traditional technologies of sugar syrups production include thermal evaporation in various modifications of installations [3]. Main disadvantages of high-temperature

concentration are decomposition of juice odorants (or necessary to operate some additional modules that are capable of recovering odorants separately from juice), increases significant energy costs of the process: occurrence of juice local overheating, which leads to caramelization of sugars and formation of coloured substances, also known as Maillard reaction [4].

One of the methods of juice concentration with reduced energy costs and maintained nutritional profile of final syrup is membrane distillation (MD), which consists in passing juice through a porous material that is selective for solutes. Among the advantages of this method, simplicity of installations, possibility to carry out the process at low temperatures, which ensures the preservation of odorants and heat-sensitive substances of juice, modular facilities and ability to adjust operating parameters of the process [5-6].

Therefore, the purpose of work was to evaluate membrane technologies for clarification and concentration of sorghum juice with the view of increasing quality of the final product and possibility of its use in various foods as a sugar-containing component or sweetener.

Materials and methods. The preparatory stage of obtaining *Sorghum saccharatum* juice consisted of stems cleaning and grinding, extraction of juice, separation of pulp, thermal coagulation of non-sugars, starch pasting, enzymatic hydrolysis. For precipitation of colloids, flocculants were added. Precipitate was separated by filtration [7]. Juice clarification was performed by ultrafiltration (UF) to eject macromolecular substances (MMS) using a laboratory baromembrane installation of a dead-end type. Concentration of clarified juice was carried out at the pilot installation of direct contact membrane distillation (DCMD). For investigations, hydrophobic microfiltration membrane was used. To confirm the effectiveness of identified methods of clarification and concentration, change of following physicochemical parameters were observed. In essence, MMS were determined by Dumansky-Harin method in Korolkov-Silin modification [8], the colority by photolorimetry, total soluble solids (TSS) content by refractometry, total sugars (TS) by Luff-Schoorl method [9].

Results and discussion. Use of UF and DCMD for *Sorghum saccharatum* juice treatment made it possible to ensure the optimal characteristics of the resulting low-concentrated syrups.

Table.

Physicochemical parameters of raw, clarified juice and concentrates

Parameters	Measurement units	Raw juice	Clarified juice	$\Delta T, ^\circ C$					
				20	30	40	50	60	70
TSS	% to mass	17.60	16.25	21.63	23.31	25.96	34.09	35.12	35.65

TS	% to mass	13.80	13.88	18.22	19.37	23.18	29.96	30.21	30.34
Sucrose	<u>% to mass</u> % to TSS	8.65	8.86	<u>11.85</u> 56.43	<u>12.20</u> 55.45	<u>14.04</u> 54.42	<u>18.23</u> 53.77	<u>18.32</u> 52.34	<u>18.14</u> 50.67
MMS	% to TSS	8.57	4.27	9.57	9.63	9.69	10.1	11.34	12.19
Colority	ICUMSA units	250.2	190.8	419.7	421.3	423.5	428.4	483.3	612.4

Thus, TSS content increases with increasing temperature difference of the experiment. It should be noted that increasing temperature difference in the range of $\Delta T = 40...50$ °C, increasing TSS is observed, at the same time a further increase of temperature difference of the process provides slight TSS increase, while the quality of product decreases significantly. As a result of increasing the temperature difference of process in the range, $\Delta T = 60...70$ °C, a gradual decrease in purity of concentrated sorghum juice is observed, which is caused by the process of oxidation of organic juice substances.

Conclusions. Sophisticated membrane technology for the production of high-quality *Sorghum saccharatum* syrups has been developed, which includes the process of thermal coagulation, enzymatic treatment, precipitation of colloidal substances by flocculants, followed by UF clarification and its subsequent concentration by DCMD.

The efficiency of UF application was proved, and optimal conditions were determined. Results of experimental studies have shown that usage of UF with juice pretreatment reduces MMS content by 50.18% and the colority by 49.4 ICUMSA units.

Efficiency of concentration by DCMD was confirmed. It was found that the level of MMS increased by 2.37 times during the concentration process and colority by 2.25 times, in case of permeate and concentrate elimination ratio 50%.

It is recommended to carry out DCMD in the temperature range $\Delta T = 40...50$ °C to attain the quality of *Sorghum saccharatum* syrup and the performance of the concentration process.

References.

1. F. Au-Yeung, A. Zurbau, T. Khan, S. Blanco Mejia, Q. Liu, S. Ayoub-Charette, R. de Souza, T. Wolever, L. Leiter, C. Kendall, J. Sievenpiper, Important food sources of fructose-containing sugars and cardiovascular outcomes: a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies, Canadian Journal of Cardiology, 34 (2018) 525-526. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2018.07.370>.

2. R. Ahmad Dar, E. Ahmad Dar, A. Kaur, U. G. Phutela, Sweet sorghum - a promising alternative feedstock for biofuel production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82.3 (2018) 4070-4090. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.066>.
3. M. R. I. Shishir, W. Chen, Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices, *Trends in Food Science & Technology* 65 (2017) 49-67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>.
4. R. Bagger-Jørgensen, A. S. Meyer, M. Pinelo, C. Varming, G. Jonsson Recovery of volatile fruit juice aroma compounds by membrane technology: Sweeping gas versus vacuum membrane distillation, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12.3 (2011) 388-397. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.02.005>
5. H. Julian, F. Yaohanny, A. Devina, R. Purwadi, I.G. Wenten, Apple juice concentration using submerged direct contact membrane distillation (SDCMD), *Journal of Food Engineering* 272 (2020) 109807. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109807>
6. K. S. Bahçeci, H. G. Akıllıoğlu, V. Gökmen, Osmotic and membrane distillation for the concentration of tomato juice: Effects on quality and safety characteristics, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31 (2015) 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.07.008>
7. B. Koo, J. Park, R. Gonzalez, H. Jameel, S. Park, Two-stage autohydrolysis and mechanical treatment to maximize sugar recovery from sweet sorghum bagasse, *Bioresource Technology*, 276 (2019) 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.112>
8. A. Ede, Colloids and quantification: the ultracentrifuge and its transformation of colloid chemistry, *Ambix* 43.1 (1996) 32-45. <https://doi.org/10.1179/amb.1996.43.1.32>
9. K.D. Dekker, The Luff-Schoorl method for determination of reducing sugar in juices, molasses and sugar, *South African Sugar Journal* 34 (1950) 157-171.

18. ПЕРЕРОБКА НАНОФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПЕРМЕАТУ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ПРИРОДНИХ КОНЦЕНТРАТІВ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН

Юрій Змієвський, Володимир Захаров, Валерій Мирончук, Людмила Корнієнко.

Національний університет харчових технологій
saharoff.911@gmail.com

Вступ. Як ніколи гостро перед науковцями та інженерами стоїть питання отримання чистої питної води з повноцінним мінеральним складом. Одним з можливих джерел мінеральних концентратів для ремінералізації та домінералізації питної води може бути нанофільтраційний пермеат молочної сироватки [1-3]. Він має у своєму складі більшість необхідних людині мінеральних речовин. На сьогодні нанофільтраційний пермеат молочної

сироватки практично не використовується і направляється у стічні води [1]. Це пов'язано з наявністю у ньому органічних сполук, які заважають його подальшому використанню [3]. Розроблення нових технологій та технічних рішень для отримання природних концентрів мінеральних речовин та одночасного глибокого використання нанофільтраційного пермеату молочної сироватки – актуальне завдання сьогодення та перспективний напрям наукових досліджень.

Матеріали і методи. В роботі використовувались оригінальні дослідні установки для дослідження процесів: озонування, розділення з допомогою мембран зворотним осмосом та електродіалізом. Для генерації озону було використано озонатор AW 0,5 продуктивністю по озону, 0,25 (використовувалось повітря) 0,5 (використовувався кисень), г О₃/год.

Результати. Експериментально встановлено доцільність обробки нанофільтраційного пермеату молочної сироватки озонуванням у поєднанні з подальшою обробкою на активованому вугіллі. Такі операції дозволили видалити органічні сполуки в межах (95 ± 1) % від початкового значення. За рахунок видалення органічних сполук збільшилась швидкості зворотноосмотичного концентрування пермеату молочної сироватки в діапазоні від 20 % до 30 %. При цьому, необхідна кількість розчиненого у пермеаті озону має бути в межах 20...28 мг О₃/(дм³ пермеату).

Подальше концентрування мінеральних солей електродіалізом проводилось із застосування композитних неорганічних керамічних мембран, - це дозволяє проводити процес електродіалізу при підвищеній густині струму, до 625 А·м⁻². Композитні мембрани також більш стійкіші до забруднення органічними сполуками та менше піддаються хімічному впливу. В результаті використання композитних неорганічних мембран для електродіалізу видалення мінеральних речовин після 35 хв оброблення становила 68...72 %.

Запропоновано гнучку апаратурно-технологічну схему (блок 2) перероблення нанофільтраційного пермеату молочної сироватки, яка включає застосування процесів зворотного осмосу та електродіалізу. Запропонована схема дозволяє отримати концентрати мінеральних речовин (концентрація в межах 120...180 г/дм³), які можуть бути використані для ремінералізації та домінералізації питної води, очищеної зворотним осмосом, а також очищену воду, придатну для застосування у технологічних процесах виробництва.

Запропонована схема концентрування молочної сироватки, в порівнянні з аналогами [1,3,4], забезпечує більш надійну роботу нанофільтраційної установки за рахунок відділення крупних домішок мікрофільтрацією (блок 1), дозволяє отримати продукт більш високої якості та в повній мірі використати мінеральні сполуки, що, як правило, скидаються в стоки.

Встановлено, що енерговитрати на знесолення нанофільтраційного пермеату молочної сироватки електродіалізом зменшуються у 5...8 разів при підвищенні вмісту розчинених речовин від 4 г/дм³ до 50 г/дм³ і складають в середньому близько 0,188 кВт·год/(кг солі), що майже в 5 разів менше, ніж при електродіалізній обробці природної води, що пов'язано з наявністю рухливих іонів у розчині (K⁺, Na⁺, Cl⁻) та відсутністю органічних комплексів, які зв'язують іони неорганічних сполук.

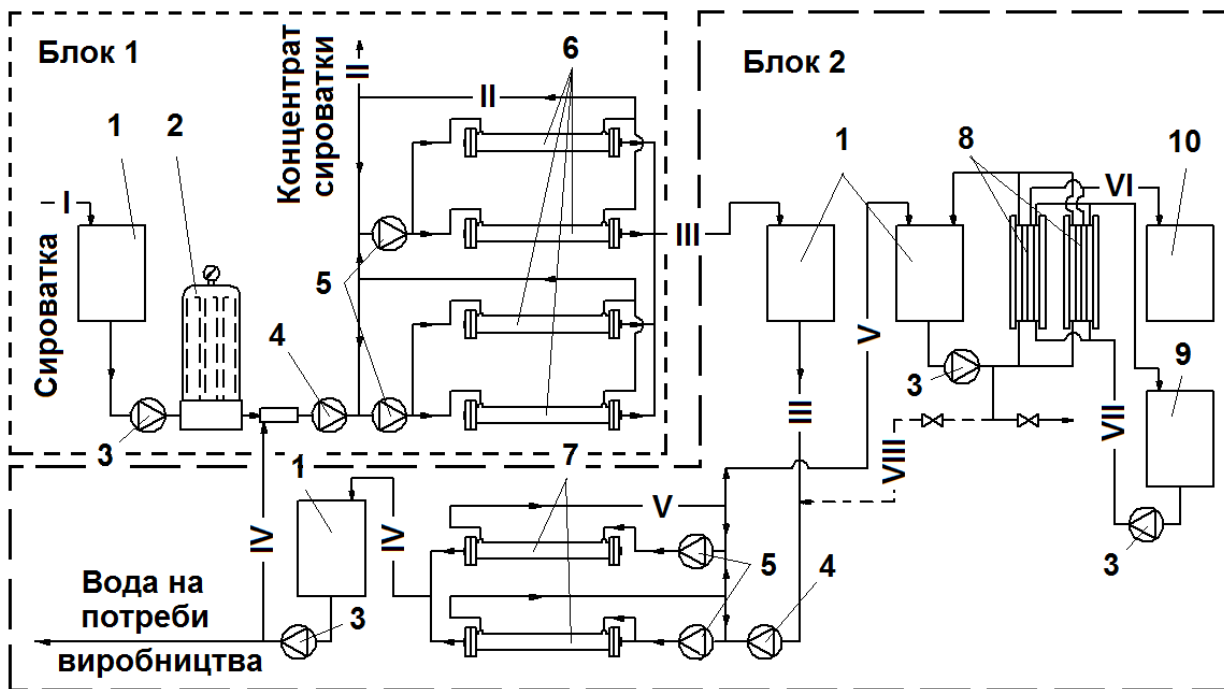


Рис. Апаратурно-технологічна схема концентрування молочної сироватки нанофільтрацією із наступною переробкою отриманого пермеату з метою отримання концентратів мінеральних речовин.

1 - буферні ємності; 2 - мікрофільтраційний модуль; 3 - живильні насоси; 4 - насоси високого тиску; 5 - циркуляційні насоси; 6 - нанофільтраційні модулі; 7 - зворотноосмотичні модулі; 8 - електродіалізатор; 9 - ємність для електродного розчину; 10 - ємність для концентрату мінеральних речовин;
 -I- молочна сироватка; -II- концентрат молочної сироватки; -III- нанофільтраційний пермеат; -IV- зворотноосмотичний пермеат (вода); -V- концентрат нанофільтраційного пермеату; -VI- концентрат мінеральних речовин; -VII- електродний розчин; -VIII- знесолений розчин із залишками органічних сполук.

Тому застосування запропонованих технічних рішень дозволить в повній мірі використовувати ресурси молочної сироватки та забезпечити повторне використання значної кількості води.

Висновки. В результат досліджень вдалося підвищити вихід нанофільтраційного пермеату молочної сироватки із зворотного осмосу з 88,0 % до 94,5 %, та більше ніж у два рази зменшити вихід концентрату: з 12 % до 5,5 %. Отриманий концентрат, з вмістом сухих речовин у 4,50 %, матиме в більшості мінеральні солі, оскільки було видалено до $(95 \pm 1) \%$ органічних складових. Це дозволить в подальшому отримувати з нього природні концентрати мінеральних солей для питної води.

Література:

1. Мирончук В.Г. Мембранні процеси в технологіях комплексної переробки молочної сироватки: монографія / В.Г. Мирончук, Ю.Г. Змієвський - К.:НУХТ, 2013. – 153 с.

2. Bidhendi G.N. Use of nanofiltration for concentration and demineralization in the dairy industry / Bidhendi G.N., Nasrabadi T. // Pakistan Journal of Biological Science. – 2006 – №9(5). – pp.991–994.

3. Власенко В.Ж. Технологія виробництва і переробки молока та молочних продуктів: / Власенко В.Ж., Малигін М.І., Бігун П.П. - Вінниця: «ГПАШС», 2000. – 353.

4. Experimental Study of the Effect of High Pressure on the Efficiency of Whey Nanofiltration Process Using an OPMN-P Membrane / V.G. Myronchuk, I.O. Grushevskaya, D.D. Kucheruk, Y.G. Zmievskii // Petroleum Chemistry. – 2013. – V. 53. – С. 439–443.

5. Змієвський Ю.Г. Дослідження процесу нанофільтрації молочної сироватки / Ю.Г. Змієвський // Наукові праці НУХТ. – 2017. – № 2. – С. 123–130.

ДІАНАНОФІДТРАЦІЯ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ЕЛЕКТРОДІАЛІЗУ В ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБЛЕННЯ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ

Юрій Змієвський, Валерій МIRONЧУК

Національний університет харчових технологій
mironchukvg@ukr.net

Вступ. Діананофільтрація у технології переробки молочної сироватки ґрунтується на різній селективності мембран до цільових та баластових сполук. Принцип діананофільтрації [1,2,4,5] у згаданій технології можна застосувати як альтернативу електродіалізу.

Мета роботи. Обґрунтування режимів діананофільтрації для підвищення рівня демінералізації молочної сироватки.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на експериментальних стендах тупикового та проточного типів. Для моделювання процесу діананофільтрації застосовували мембрани ОПМН-П. Концентрацію мінеральних речовин визначали відомим кондуктометричним методом.

Результати і обговорення. При додаванні очищеної води у молочну сироватку, відбувається її розбавлення, що має як позитивний так і негативний моменти. З одного боку, зменшення вмісту сухих речовин призводить до зростання питомої продуктивності мембран за однакових умов та покращує ступінь очищення розчину. З іншої сторони, зростає об'єм рідини, який необхідно пропустити крізь фільтрувальну перегородку (мембрану). Тому пошук раціонального співвідношення добавленої води до кількості отриманого пермеату, що характеризується коефіцієнтом кратності розбавлення α , є важливим технічним завданням [1-3]. Результати досліджень свідчать про те, що в даному випадку раціональною величиною є $\alpha = 0,8$.

Порівняльні показники до і після мембранного розділення молочної сироватки нанофільтрацією та діананофільтрацією наведені в таблиці [1].

Результати досліджень свідчать про те, що вміст сухих речовин у отриманих концентратах майже однаковий, проте вміст мінеральних речовин менший на 36 % у зразку після діананофільтрації.

Таблиця.

Показники до і після мембранного розділення молочної сироватки нанофільтрацією та діананофільтрацією

Показник	Нанофільтрація			Діананофільтрація		
	до	після		до	після	
		К	П		К	П
Вміст сухих речовин, %	5,7±0,2	14,2±1,0	0,46±0,05	5,7±0,2	13,8±1,0	0,31±0,05
Титрована кислотність, Т°	67±5	133±7	23±3	67±5	93±5	20±3
Загальний вміст мінеральних речовин, г	5,31	3,98	1,32	5,31	2,01	3,30
Демінералізація, %	-	26	-	-	62	-

Примітки: К – концентрат; П – пермеат; Т° – титрована кислотність

Отже, опираючись на дані наведені в таблиці можна стверджувати, що процес діананофільтрації доцільно застосовувати у технологіях переробки молочної сироватки, що дозволить значно зменшити вміст мінеральних речовин та кислотність. Особливо це ефективно для розділення сироватки з-під сиру кисломолочного, яка характеризується підвищеною кислотністю, що заважає на етапах згущення та сушіння.

Висновок. Процес діананофільтрації може бути альтернативою електродіалізу за умови, коли рівень демінералізації 50...60 % є достатнім з технологічної точки зору.

Література:

1. Інноваційні технології перероблення молочної сироватки мембранними методами / В.Г. Мирончук, Ю.Г. Змієвський, Ю.С. Дзязько, В.В. Захаров - К.:НУХТ, 2019. - 179 с.
2. Змієвський Ю.Г. Дослідження процесу діананофільтрації молочної сироватки / Ю.Г. Змієвський / Харчова промисловість. – 2017. – Т.22. – с. 71-78.
3. Effect of partial acidification on the ultrafiltration and diafiltration of skim milk: Physico-chemical properties of the resulting milk protein concentrates / [D. Liu, J. Li, J. Zhang et al.]// Journal of Food Engineering. – 2017. – V. 212. – P. 55–64.
4. Modeling of diafiltration processes for demineralization of acid whey: an empirical approach / [A. Roman, V. Vatai, A. Ittzes et al.] // Journal of Food Process Engineering. – 2012. – V. 35. – P. 708–714.
5. Economically optimal batch diafiltration via analytical multi-objective optimal control / [R.Paulen, M. Jelemensky, Z. Kovacs, M. Fikar] // Journal of Process Control. – 2015. – V. 28. – С. 73–82.

Наукове видання

Матеріали

**V МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ:**

***«Мембранні процеси
та обладнання в харчових
технологіях та інженерії»***

3 – 4 листопада 2020 р.

Відповідальний за випуск **В.Г. Мирончук**