

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНЬОГО ОСМОСУ
УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПЕРМЕАТУ
ПІСЛЯСПИРТОВОЇ ЗЕРНОВОЇ БАРДИ**

Л.В. Корнієнко, В.Г. Мирончук

Наведено результати досліджень процесу зворотнього осмосу на установці непроточного типу з використанням мембран марки NanoRo серії K. Установлено, що найбільш інтенсивно процес розділення ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди відбувається за тиску 4 МПа. При цьому селективність мембрани за мінеральними речовинами становить 95–97%. Проведено концентрування ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди.

Ключові слова: зворотній осмос, ультрафільтраційний пермеат, післяспиртова зернова барда.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАТНОГО ОСМОСА
УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО ПЕРМЕАТА
ПОСЛЕСПИРТОВОЙ ЗЕРНОВОЙ БАРДЫ**

Л.В. Корниенко, В.Г. Мирончук

Представлены результаты исследований процесса обратного осмоса на установке непроточного типа с использованием мембран марки NanoRo серии K. Установлено, что наиболее интенсивно процесс разделения ультрафильтрационного пермеата послеспиртовой зерновой барды протекает при давлении 4,0 МПа. При этом селективность мембраны по минеральным веществам составляет 95–97%. Проведено концентрирование ультрафильтрационного пермеата послеспиртовой зерновой барды.

Ключевые слова: обратный осмос, ультрафильтрационный пермеат, послеспиртовая зерновая барда.

**INVESTIGATION OF REVERSE OSMOSIS OF GRAIN
DISTILLERY STILLAGE ULTRAFILTRATION PERMEATE**

L. Kornienko, V. Myronchuk

This work presents the results of reverse osmosis of ultrafiltration permeate grain distillery stillage. The problem of complex utilization of distillery stillage is relevant for environmental and economic performance of enterprises. The experiments were carried out in dead-end experimental set-ups. The membrane NanoRo series K were used (ZAO STC "Nanotex", Russia). The corn stillage was used for the experiments. It was

observed, that permeate flux increased linearly with increasing the operating pressure in the range from 2 to 8 MPa. Found that the most intensive separation process ultrafiltration permeate grain distillery stillage is at a pressure of 4 MPa. Zatrzymuvalna ability membrane increases with increasing work pressure caused by a decrease in the concentration of dissolved component in the permeate. This selectivity membrane mineral substances is 95-97%. A concentration ultrafiltration permeate grain distillery stillage. With increasing concentration factor productivity gradually decreases, it is connected with the increased viscosity of the solution forgiveness, as well as gradual pollution membranes. Established that the content of dry re-stances in concentrate increased by 8 times. In the resulting permeate contained no solids and mineral content decreased by more than 20 times. Reverse osmosis can be used for separation and concentration of permeate of grain stillage.

Keywords: reverse osmosis, ultrafiltration permeate, grain distillery stillage.

Постановка проблеми у загальному вигляді. До відходів спиртового виробництва відносять післяспиртову зернову барду, ефіро-альдегідну фракцію, сивушні масла. Але більш за все утворюється саме післяспиртової зернової барди. Так, на підприємстві середньої потужності, яке виробляє 3000 дал спирту на добу, щогодини утворюється 14 м³ післяспиртової зернової барди. До її складу входять білки, жири, геміцелюлоза, вітаміни. Тобто вона не є відходом виробництва, а є вторинною сировиною, яку доцільно та можливо переробляти [1].

Останнім часом широкого розповсюдження в спиртовій галузі набуває виробництво сухої барди. Однак невирішеною проблемою є очищення фугату, що отримується під час розділення післяспиртової барди, який здебільшого потрапляє в стоки підприємства або на поля фільтрації. За допомогою мембранних методів можливо розділити та сконцентрувати фугат барди за низьких температур, і отримати розчин з нативними властивостями.

Питання розділення фугату післяспиртової барди за допомогою процесів ультрафільтрації та зворотного осмосу на сьогодні актуальне, вивчається та розглядається в роботах як вітчизняних, так і закордонних вчених [2–6]. Нами були проведені пошукові дослідження ультрафільтраційного розділення фугату післяспиртової зернової барди. Проаналізовані та узагальнені результати висвітлені в наукових роботах [7–8]. У результаті ультрафільтраційного розділення фугату післяспиртової барди було отримано концентрат і пермеат. Концентрат доцільно направляти на висушування або подавати на перемішування із дробиною, а потім на висушування. Пермеат містить сухі та мінеральні речовини, тому його, на нашу думку, доцільно доочистити.

Мета статті – дослідити процес зворотного осмосу ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди.

Експериментальна частина. Лабораторна установка. Процес зворотного осмосу проводили на лабораторній установці непроточного

типу, яка зображена на рис. 1. Ефективна площа мембрани становила $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Основними конструктивними елементами були балон з азотом, мембранна комірка та магнітна мішалка. Мембранна комірка складалася з двох кришок 3 і 4 та металевого циліндра 12, виконаного з нержавіючої сталі. У нижню частину мембранної комірки закладали пористу підкладку 8 та мембрану 7. Над мембраною встановлювали мішалку 5, яка приводилася в рух за допомогою магнітної мішалки 6. Герметичність системи забезпечувалася затягуванням гайок на шпильках, які притискали круглі кришки 3 і 4 до корпусу 12. Між цими елементами закладали резинові ущільнювачі. Для відведення пермеату через штуцер 15 у нижній кришці 4 мембранної комірки зроблено спеціальний отвір. До циліндричного корпусу 12 приварені штуцери 9 і 10. Штуцер 9 з'єднували з редуктором 2, встановленим на балоні 1, а штуцер 10 – із манометром 11 для контролювання тиску в середині мембранної комірки.

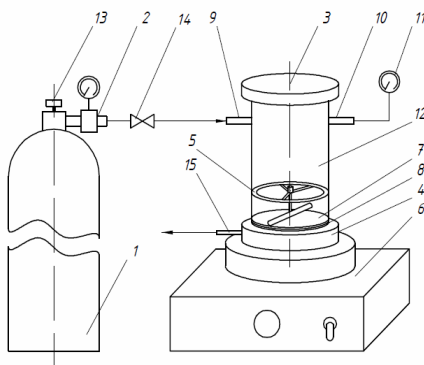


Рис. 1. Принципова схема лабораторної установки: 1 – балон з азотом; 2 – редуктор; 3, 4 – кришки; 5 – мішалка; 6 – магнітна мішалка; 7 – мембрана; 8 – пориста підкладка; 9, 10 – штуцери; 11 – манометр; 12 – циліндричний корпус; 13, 14 – вентиля; 15 – патрубок відведення пермеату

Принцип роботи лабораторної установки (рис. 1) такий: при відкритих штуцерах 9 та 10 через один з них в робочу камеру об'ємом 200 см^3 заливали робочий розчин; робочий тиск в камері створювали відкриванням вентилів 13 та 14 на балоні з азотом 1 та редукторі 2; у процесі розділення розчинів пермеат відбирали за допомогою патрубка 15 у мірну колбу. Під час проведення експериментів температура розчинів становила $20 \pm 3^\circ \text{ C}$.

Мембрани. Під час проведення експериментальних досліджень процесу зворотнього осмосу використовували зворотньоосмотичні мембрани НаноРо серії К (ЗАТ «РМ Нанотех», Росія).

Розрахункові формули:

Питома продуктивність J (дм³/(м²·год)) мембрани визначалася за формулою

$$J = \frac{3600 \cdot V}{S \cdot \tau}, \quad (1)$$

де V – об'єм пермеату (дм³), отриманий за час τ (с) із поверхні мембрани площею S (м²).

Селективність мембрани визначали за формулою

$$R = \left(1 - \frac{c_2}{c_1}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

де c_2 , c_1 – вміст розчинених речовин у пермеаті та початковому (концентрованому) розчині відповідно, г/дм³.

Результати та їх обговорення. З огляду на те, що післяспиртова барда є багатокомпонентним розчином, склад якого залежить від багатьох факторів, необхідне застосування складних і трудомістких методів її кількісного та якісного аналізу. Фізичні властивості модельних розчинів не повною мірою відповідають фізичним властивостям промислових розчинів. Тому експериментальні дослідження були проведені на зразках післяспиртової зернової барди, отриманої на заводі ДП «Червонослобідський спиртзавод» (с. Червона Слобода Макарівського р-ну Київської обл.) під час виробництва спирту етилового.

Ультрафільтраційний пермеат фугату післяспиртової зернової барди отримували під час проведення процесу ультрафільтрації на установці проточного типу з використанням ультрафільтраційних мембран УПМ-10. Вміст сухих речовин (С.Р) у пермеаті становив від 0,8 до 1,2%, мінеральні речовини в діапазоні від 1043 до 1376 мл/дм³.

На першому етапі досліджень ми заливали в установку (рис. 1) по 100 мл розчину та проводили розділення за сталого тиску. Температура розчинів була сталою та становила 20° С. Дослідження проводили для тисків у діапазоні від 2 до 8 МПа. Результати наведено на рис. 2.

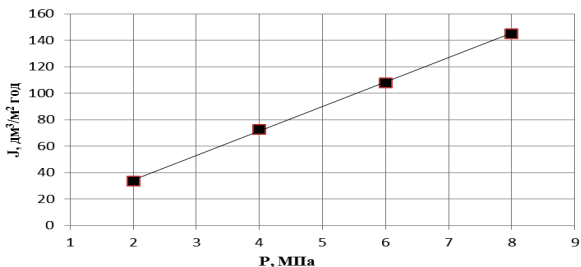


Рис. 2. Залежність питомої продуктивності від тиску під час процесу зворотнього осмосу ультрафільтраційного пермеату зернової барди

Збільшення рушійної сили закономірно призводить до зростання питомої продуктивності (рис. 2). Разом із тим, однією з найважливіших характеристик мембран є затримувальна здатність мембрани. Для розбавлених водних сумішей, що складаються з розчинника (води) і розчинених речовин, селективність мембран найзручніше виражати терміном затримання R щодо розчинених речовин, які частково або повністю затримуються мембраною, тоді як молекули розчинника (води) вільно проходять крізь неї. На рис. 3 зображені залежності затримувальної здатності мембрани NanoPo від тиску.

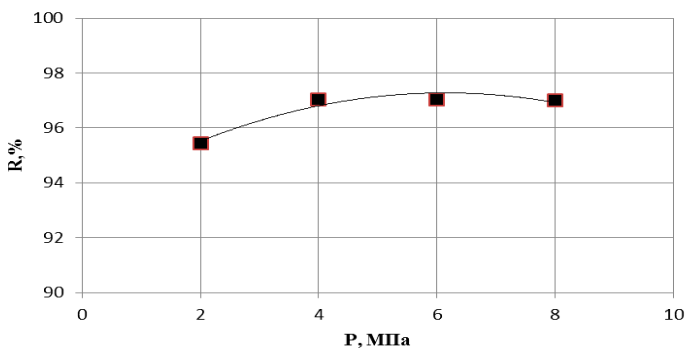


Рис. 3. Залежність селективності мембрани за мінеральними речовинами від тиску під час розділення ультрафільтраційного пермеату зернової барди

Затримувальна здатність мембрани зростає з підвищенням робочого тиску, що спричинено зменшенням концентрації розчиненого

компонента в пермеаті. Найбільша селективність досягається за тиску в діапазоні від 4 до 6 МПа. Разом із тим, із збільшенням робочого тиску зростають енерговитрати, тому в подальших дослідженнях приймаємо робочий тиск 4 МПа.

На продуктивність процесу суттєво впливає температура розчину. Але в лабораторних умовах для процесу зворотнього осмосу неможливо було провести дослідження, які показують вплив температури на продуктивність процесу внаслідок особливостей експериментальної установки. Тому, підтримуючи сталий робочий тиск ($P=4$ МПа) та температуру 20°C , було проведено концентрування ультрафільтраційного пермеату післяспиртової барди. Результати подано на рис. 4.

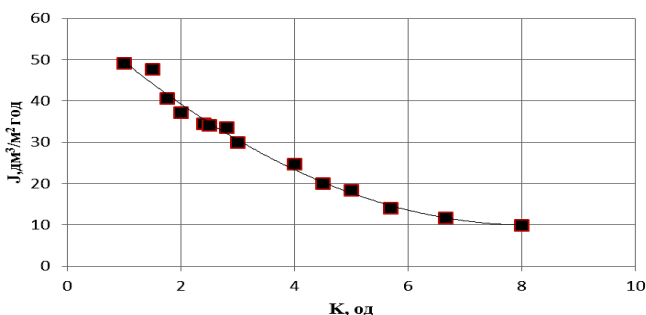


Рис. 4. Залежність питомої продуктивності мембрани NanoPo від коефіцієнта концентрування під час зворотнього осмосу при розділенні ультрафільтраційного пермеату зернової барди

Із збільшенням коефіцієнта концентрування продуктивність поступово зменшується. Це пов'язано з підвищенням в'язкості розчину, а також із поступовим забрудненням мембран. Установлено, що вміст сухих речовин у концентраті збільшився у 8 разів. В отриманому пермеаті не містилося сухих речовин, а вміст мінеральних речовин зменшився більш ніж у 20 разів.

Висновки. Визначено раціональні режими перебігу процесу зворотнього осмосу при розділенні ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди. Очищення ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди дозволить знизити кількість стічних вод та їх негативний вплив на довкілля, що має велике природоохоронне значення.

Список джерел інформації / References

1. Шиян П. Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика : монографія / П. Л. Шиян, В. В. Сосницький, С. Т. Олійнічук. – К. : Асканія, 2009. – 424 с.

Shiyan, P.L., Sosnithkiy, V.V., Oliynuchyk, S.T., (2009), *Innovative technologies alcohol industry. Theory and Practice [Innovatsiini tekhnologii spyrtovoi promyslovosti. Teoriia i praktyka]*, Askania, Kiev, 424 p.

2. Поляков В. А. Разработка линии переработки послеспиртовой барды на основе мембранных процессов / В. А. Поляков, В. Л. Кудряшов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 2. – С. 50–52.

Polyakov, V.A., Kydryashov, V.L., (2005), "Development of processing line of distillery stillage based on membrane processes" ["Razrabotka linii pererabotki poslespirtovoy bardyi na osnove membrannykh protsessov"], *Storage and processing of agricultural*, No. 8, pp. 50-52.

3. Wilkins, M.R., Belyea, R.L., Singh, V., Buriak, P. (2006), "Analysis of heat transfer fouling by dry-grind maize thin stillage using an annular fouling apparatus" ["Analiz teploperedachi zernovoy bardyi s ispolzovaniem protochnogo apparata"], *Cereal Chemistry*, No. 83, pp. 121-126.

4. Arora, A., Dien, B.S., Belyea, R.L. (2010), "Nutrient recovery from the dry grind process using sequential micro and ultrafiltration of thin stillage" ["Vosstanovlenie pitatelnykh svoystv zernovoy bardyi posle mikro i ultrafiltratsii"], *Bioresource Technology*, No. 101, pp. 3859-3863.

5. Корнієнко Л. В. Применение мембранных технологий в процессе утилизации послеспиртовой зерновой барды / Л. В. Корнієнко // Пищевые продукты и здоровье человека : IV Всероссийская конференция с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых : материалы. – Кемерово, 2011. – С. 241.

Kornienko, L.V., Myronchuk, V.G. (2011), "The use of membrane technology in the process of utilizing grain distillery stillage" ["Primenenie membrannykh tehnologiy v protsesse utilizatsii poslespirtovoy zernovoy bardyi"], *Food and Human Health*, Kemerovo, p. 241.

6. Корнієнко Л. В. Застосування мембранних методів при переробці післяспиртової зернової барди / Л. В. Корнієнко, В. Г. Мирончук // Мембранні процеси та обладнання в харчових технологіях та інженерії : Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 25–26 листопада 2014 р. : матеріали. – К. : НУХТ, 2014. – С. 11.

Kornienko, L.V., Myronchuk, V.G. (2014), "The use of membrane methods for processing of grain distillery stillage" ["Zastosuvannya membrannykh metodiv pry pererobtsi pislaspirtovoi zernovoi bardyi"], *Membrane processes and equipment in the food technology and engineering*, Kiev, p. 11.

7. Kornienko, L., Zmiievskiy, Y., Myronchuk, V. (2015), "Investigation of ultrafiltration of grain stillage" ["Doslidzhennia protsesu ultrafiltratsii zernovoi bardyi"], *Ukrainian Food Journal*, Vol. 4, No. 1, pp. 131-138.

8. Корнієнко Л. В. Дослідження процесу ультрафільтрації післяспиртової зернової барди / Л. В. Корнієнко, 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». – Х., 2014. – Вип. 152. – С. 156–161.

Kornienko, L.V., Zmiievskiy, Y.G., Myronchuk, V.G. (2015), "Investigation of ultrafiltration of grain distillery stillage" ["Doslidzhennia protsesu ultrafiltratsii plisliaspyrtovoi zernovoi bardy"], *Modern trends of technology and mechanization of food production and processing*, Kharkov, No. 152, pp. 156-161.

Корнієнко Людмила Вікторівна, канд. техн. наук, мол. наук. співроб. проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601. E-mail: kornienkolv@ukr.net.

Корниенко Людмила Викторовна, канд. техн. наук, мл. науч. сотруд. проблемной научно-исследовательской лаборатории, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01601. E-mail: kornienkolv@ukr.net.

Kornienko Lyudmyla, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Junior Research Fellowproblem Research Laboratory, National University of Food Technologies. Address: Vladimir str., 68, Kyiv, Ukraine, 01601. E-mail: kornienkolv@ukr.net.

Мирончук Валерій Григорович, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601. E-mail: mironchukvg@ukr.net.

Мирончук Валерий Григорьевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01601. E-mail: mironchukvg@ukr.net.

Myronchuk Valeriy, Ph. D. Hab., Professor, Department Chairman of Technological equipment and computer design technologies, National University of Food Technologies. Address: Vladimir str., 68, Kyiv, Ukraine, 01601. E-mail: mironchukvg@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. Г.В. Дейниченко.
Отримано 15.03.2016. ХДУХТ, Харків.*