

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



КОРНІЄНКО ЛЮДМИЛА ВІКТОРІВНА

УДК 663.5:542.816

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕМБРАННИХ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ
ПІСЛЯСПИРТОВОЇ ЗЕРНОВОЇ БАРДИ**

05.18.12 - Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мирончук Валерій Григорович,
Національний університет харчових технологій
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри технологічного обладнання та
комп'ютерних технологій проектування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Ободович Олександр Миколайович,
Інститут технічної теплофізики НАН України, головний
науковий співробітник відділу тепломасообміну в
дисперсних системах

кандидат технічних наук, доцент
Вакулук Поліна Василівна,
Національний університет «Києво-Могилянська
академія» Міністерства освіти і науки України, старший
науковий співробітник Центра мембранних досліджень

Захист відбудеться «5» листопада 2015 року о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 у Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою:

01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія A-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою:

01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «1» жовтня 2015 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н, доцент



.О. Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з ключових питань спиртового виробництва є комплексна утилізація післяспиртової барди, що дозволяє не тільки підвищити рентабельність виробництва, а й забезпечити його екологічну безпеку. При виробництві спирту із зернової сировини лише одна третина сухих речовин перетворюється на спирт, а решта залишається в післяспиртовій барді. До складу цього залишку входять білки, зольні речовини та жири. Останнім часом широкого розповсюдження в спиртовій галузі набуває виробництво сухої барди. Однак, не вирішеною проблемою є очищення фугату, який отримується при розділенні післяспиртової барди. Перспективними для вилучення цінного розчиненого компоненту з фугату барди, а саме білку, є мембранні методи, які дозволяють проводити процеси розділення і концентрування за температури, коли забезпечується збереження нативних властивостей, вітамінів та біологічної цінності згущеного розчину. Разом з тим, в результаті вилучення високо- та низькомолекулярних сполук, можна отримати чисту воду, що має природоохоронне значення.

Завдяки працям Д.Д. Кучерука, В.М. Гуцалюка, Г.В. Дейнеченка, Ю.І. Дитнерського, В.А. Шапошніка та інших вчених, мембранні процеси впроваджено в практику підприємств молочної, пивоварної, виноробної та інших галузей харчової промисловості.

Однак, процес мембранного розділення післяспиртової зернової барди, як в Україні так і за її межами досліджено недостатньо. Відсутні дані досліджень видалення високомолекулярних сполук з фугату післяспиртової зернової барди мембранною дистиляцією. Потребують подальшого вивчення процеси ультрафільтрації та зворотного осмосу фугату та ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди. Що обмежує застосування даних процесів в спиртовому виробництві. З огляду на вищезазначене, обрана тема дисертаційної роботи є актуальною і такою, що спрямована на удосконалення процесів і технологій переробки післяспиртової барди.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетним напрямком наукових робіт НУХТ: «Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення нових високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових і переробних галузей АПК» (схвалено вченою радою НУХТ, протокол №7 від 25.03.2006 р.), згідно з планом роботи кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування та проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій по держбюджетній тематиці «Розроблення технологій мікророзділення у процесах концентрування та очищення біологічних рідин» (номер державної реєстрації №0115U003030).

Мета і завдання досліджень. Мета дисертаційної роботи полягає в науковому обґрунтуванні застосування мембранної дистиляції,

ультрафільтрації та зворотного осмосу в процесі переробки післяспиртової зернової барди.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані наступні завдання:

- провести аналіз існуючих методів переробки післяспиртової зернової барди та визначити шляхи їх удосконалення;
- встановити аналітичні залежності та визначити раціональні режими процесу контактної мембранної дистиляції при розділенні фугату післяспиртової зернової барди;
- визначити закономірності зміни продуктивності ультрафільтраційних мембран від впливу тиску, температури, швидкості потоку при розділенні фугату післяспиртової зернової барди;
- встановити закономірності ультрафільтраційного розділення з використанням модифікованих наночастками цирконію мембран;
- розробити алгоритм розрахунку математичної моделі процесу ультрафільтраційного розділення досліджуваних розчинів;
- визначити раціональні значення параметрів ведення процесу розділення ультрафільтраційного пермеату та фугату післяспиртової зернової барди зворотним осмосом;
- дослідити механізм забруднення мембран за умов концентрування фугату післяспиртової зернової барди;
- розробити апаратні схеми переробки післяспиртової зернової барди з використанням мембранних процесів.

Об'єкт досліджень – процеси мембранного розділення фугату післяспиртової зернової барди: контактна мембранна дистиляція, ультрафільтрація, зворотній осмос.

Предмет дослідження – фугат та ультрафільтраційний пермеат післяспиртової зернової барди.

Методи дослідження. Дослідження проводились за стандартними методиками на сучасних установках в лабораторії мембранних процесів Проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій. При виконанні експериментальних досліджень контроль та реєстрацію параметрів процесу здійснювали сучасними засобами вимірювання, а обробку результатів – методами математичної статистики в програмному прикладному пакеті MathCAD та програмі «Microsoft Excel».

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано та одержано результати, які вирішують важливе науково-практичне завдання по удосконаленню процесу переробки післяспиртової барди, а саме:

- отримали подальший розвиток теоретичні уявлення про перебіг процесу контактної мембранної дистиляції. Встановлено, що за температури фугату 65°C і води в холодній камері 20-25°C досягається найбільша продуктивність процесу. Запропоновано аналітичну залежність продуктивності мембрани від впливових факторів (різниці температур та швидкостей потоків з обох сторін мембрани);

- встановлені закономірності зміни питомої продуктивності ультрафільтраційних мембран при розділенні фугату барди від температури, тиску та швидкості течії в процесі ультрафільтраційного розділення;
- розроблено математичну модель процесу ультрафільтрації фугату післяспиртової зернової барди та запропоновано алгоритм розрахунку концентрацій розчинів на виході з кожного модуля ультрафільтраційної установки;
- встановлено, що індекс забруднення мембран марки НаноРо при розділенні фугату барди на 4,77% менший ніж при розділенні ультрафільтраційного пермеату післяспиртової барди;
- вперше отримані закономірності перебігу процесу розділення фугату післяспиртової зернової барди з використанням модифікованих наночастками цирконію ультрафільтраційних мембран. Встановлено, що найбільшу продуктивність, серед досліджуваних, мають мембрани БЛ-УФ-ГФЦ.

Практичне значення одержаних результатів:

- визначені раціональні режими перебігу баромембранних процесів, а саме, ультрафільтрації та зворотного осмосу для розділення фугату післяспиртової зернової барди;
- запропоновано способи та апаратурні схеми переробки фугату післяспиртової барди, які дозволяють отримувати чисту воду та концентрат високо- та низькомолекулярних сполук мембранними методами;
- рекомендації, результати досліджень, отриманих в дисертаційній роботі, щодо удосконалення процесу переробки післяспиртової зернової барди мембранними методами, передані на Червонослобідське МПД ДП «Укрспирт» та можуть бути використані на інших підприємствах спиртової промисловості;
- результати роботи впроваджено у навчальний процес НУХТ (акт від 2.03.2015 р.

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні аналізу літературних джерел за темою дисертації; постановці завдань досліджень; підборі методик та проведенні експериментальних досліджень процесів мембранного розділення; обробці отриманих результатів та їхньому аналізу; формулюванні основних положень, висновків та рекомендацій; розробленні наведених у роботі апаратурно-технологічних схем переробки післяспиртової зернової барди; підготовці відповідної нормативно-технічної документації, а також в апробації результатів роботи на українських та міжнародних конференціях.

Обговорення, аналіз та узагальнення результатів досліджень і їх публікації проведені із науковим керівником д.т.н., проф. Мирончуком В.Г. Модифікування мембран наночастками цирконію було проведено за сприяння д.х.н., ст.н.с. Дзязько Ю.С.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на 76,77,80,81-ій наукових конференціях молодих вчених, аспірантів і студентів НУХТ (м. Київ, 2009,2010,2014,2015), IV Всеросійській конференції з міжнародною участю студентів, аспірантів та молодих вчених «Пищевые продукты и здоровье человека» (м. Кемерово, Росія, 2011); всеукраїнській науко-практичній конференції молодих учених і студентів

«Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, готельного, ресторанного господарств і торгівлі» (м. Харків, 2011); всеукраїнській науко-практичній конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Вода в харчовій промисловості» (м. Одеса, 2011); всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених і студентів «Мембранні процеси та обладнання в інноваційних технологіях харчових виробництв» (м. Київ, 2012); всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості» (м. Тернопіль, 2013), VII-й всеукраїнській студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки» (м. Тернопіль, 2014), міжнародній науковій конференції «Наукові ідеї в харчовій науці - нові продукти в харчовій промисловості» (м. Київ, 2014); міжнародній науково-практичній конференції «Мембранні процеси та обладнання в харчових технологіях та інженерії» (м. Київ, 2014); всеукраїнській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (м. Тернопіль, 2015) ; науково-технічній конференції «Новітні науково-технічні рішення в харчовій промисловості» (м. Львів, 2015).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 21 друковану працю: з них 6 статей у фахових наукових виданнях, з яких одна стаття у журналі, що входить до наукометричної бази Scopus; 13 тез доповідей, 2 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Основний зміст дисертаційної роботи викладено на 139 сторінках. Дисертація ілюстрована 48 рисунками та 20 таблицями, містить 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих методів переробки післяспиртової зернової барди. Наведені недоліки існуючих методів її переробки. Обґрунтовано доцільність застосування мембранних методів для удосконалення процесу переробки післяспиртової зернової барди з отриманням концентратів високомолекулярних сполук та води.

Розглянуто фізико-математичну модель перенесення тепла в мембрані в процесі мембранної дистиляції. Обґрунтовано доцільність проведення експериментальних досліджень процесів мембранної дистиляції, ультрафільтрації та зворотного осмосу при переробці післяспиртової зернової барди.

У **другому розділі** визначено об'єкти та предмети досліджень, та наведені їх характеристики.

Наведено методики експериментальних досліджень, описано устрій лабораторних установок та методів математичної обробки експериментальних

даних. В процесі досліджень використовували фугат та ультрафільтраційний пермеат післяспиртової зернової; гідрофобні мікрофільтраційні мембрани МФФК-3, ультрафільтраційні мембрани УПМ-10 та УПМ-50 (ЗАТ «Владіпор»), модифіковані мембрани, а також – зворотноосмотичні мембрани НаноРо (ЗАТ «РМ Нанотех»).

Процес мембранної дистиляції досліджували на лабораторній установці проточного типу (рис.1). Ефективна площа мембрани складала $4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Дослідження процесу ультрафільтраційного розділення проводили на непроточній установці, ефективна площа мембрани була $4,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; а для моделювання процесів, що проходять на промислових установках, була розроблена і виготовлена лабораторна установка проточного типу, принципова схема якої зображена на рис.2. Ефективна площа мембрани $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Процес зворотного осмосу проводили на лабораторній установці непроточного типу. Ефективна площа мембрани становила $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

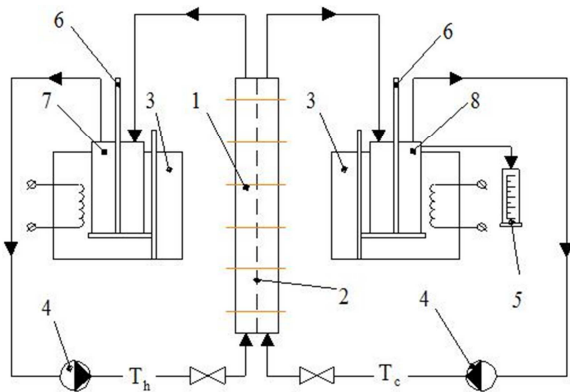


Рис.1. Принципова схема лабораторної установки:

1 – мембранна комірка, 2 – мембрана, 3 – ультратермостати, 4 – насоси, 5 – мірна колба, 6 – термометри, 7 – колба для фугату барди, 8 – колба для дистильованої води, T₁, T₂ – гарячий та холодний розчин відповідно.

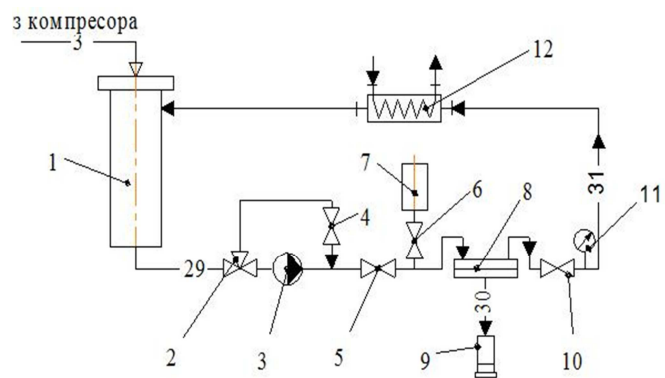


Рис.2. Принципова схема лабораторної установки проточного типу:

1- резервуар під тиском; 2- насос; 3- 6- вентилі; 7- компенсатор гідравлічних пульсацій; 8- мембранна комірка; 9- манометр, 10- теплообмінник; 11-мірна колба.

Обробку результатів експериментальних досліджень виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням пакету прикладних програм MathCAD та Microsoft Excel.

У **третьому розділі** наведено основні результати досліджень процесу контактної мембранної дистиляції фугату післяспиртової зернової барди.

Проведено ряд експериментів, для визначення раціонального просторового розміщення мембран марки МФФК-3, які характеризуються асиметричністю пористої структури у перерізі. Виходячи з цього зроблено припущення, що орієнтування мембрани по відношенню до гарячої чи холодної камери впливає на ефективність процесу.

В гарячу камеру надходив фугат післяспиртової зернової барди, а в холодну - дистильована вода. Найвища продуктивність спостерігалась при горизонтальному розміщенні мембрани, орієнтованої активним шаром до гарячої камери (табл.1), внаслідок того, що інтенсивність масопередачі найвища, коли напрям природної конвекції співпадає із напрямом теплопередачі.

Таблиця 1

Продуктивність мембрани за різних умов її розташування в процесі мембранної дистиляції ($t_{г.к.}=60^{\circ}\text{C}$, $t_{х.к.}=20^{\circ}\text{C}$; $V=0,025\text{дм}^3/\text{с}$)

Положення мембрани	Розміщення комірки	Продуктивність*, $\text{дм}^3/(\text{м}^2\cdot\text{год})$
Активним шаром до гарячої камери	Горизонтальне	28,2
	Вертикальне	24,5
Активним шаром до холодної камери	Горизонтальне	23,7
	Вертикальне	19,2

Результати досліджень впливу температури і швидкості потоків в робочих камерах на інтенсивність процесу мембранної дистиляції (рис.3, 4) свідчать про те, що найвища продуктивність мембрани марки МФФК-3 спостерігається при різниці температур по обидві сторони мембрани $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$.

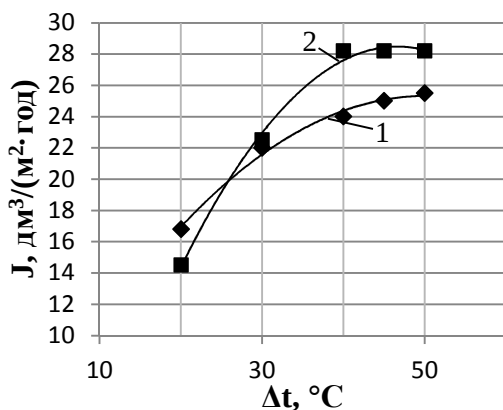


Рис. 3. Залежність питомої продуктивності від різниці температур по обидві сторони мембрани: 1- при $V=0,015\text{ дм}^3/\text{с}$, 2- при $V=0,025\text{ дм}^3/\text{с}$.

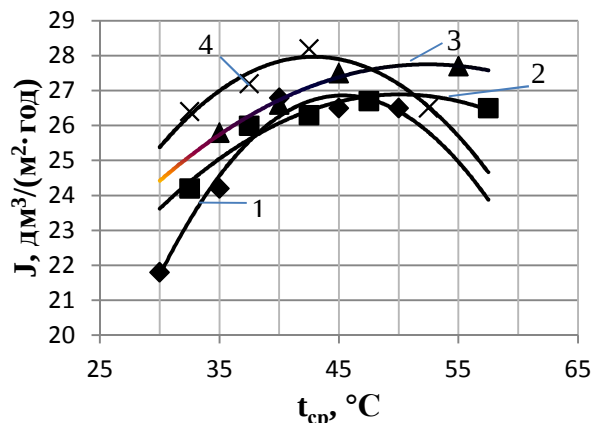


Рис.4. Залежність питомої продуктивності від середніх значень температур по обидві сторони мембрани ($V=0,015\text{дм}^3/\text{с}$): 1- при $\Delta t=30^{\circ}\text{C}$; 2- при $\Delta t=35^{\circ}\text{C}$; 3- при $\Delta t=40^{\circ}\text{C}$; 4- при $\Delta t=45^{\circ}\text{C}$.

Встановлено, що процес мембранної дистиляції доцільно проводити при температурі розчину в гарячій камері 65°C , а в холодній камері – $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$. За таких умов вміст сухих речовин (СР) фугату барди зростає від 2,6% СР до 30% СР.

При сталій температурі гарячої камери збільшення температури в холодній камері приводить до зниження продуктивності процесу контактної мембранної дистиляції (рис.5). За цих умов, збільшення температури розчину в гарячій камері зменшує вплив температури дистильованої води в холодній камері на продуктивність процесу.

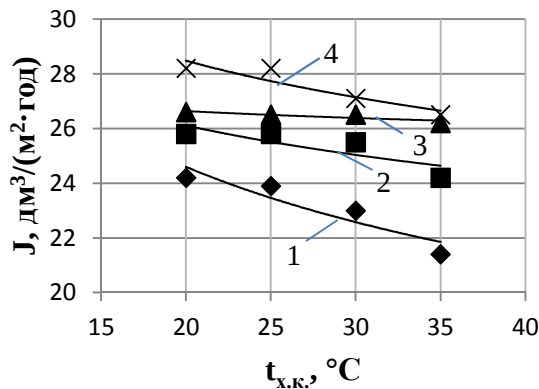


Рис.5. Зміна питомої продуктивності від температури розчину в холодній камері за температури в гарячій камері: 1- $t_1=50^\circ\text{C}$, 2- $t_1=55^\circ\text{C}$, 3- $t_1=60^\circ\text{C}$, 4- $t_1=65^\circ\text{C}$.

На основі трьохфакторного експерименту розроблено математичну модель зміни продуктивності мембран в процесі мембранно-дистиляційного концентрування, яка дає можливість в залежності від швидкості розчину в гарячій і холодній камерах, а також від зміни різниці температур по обидві сторони мембрани визначити оптимальний режим процесу. Модель адекватна і описується рівнянням:

$$J = 17,4 + 294,6 (V_1 - 0,02) + 222,3 (V_2 - 0,02) + 0,49 (\Delta t - 25) + 520,3 (V_1 - 0,02)(V_2 - 0,02)(\Delta t - 25), \quad (1)$$

де V_1 - об'ємна швидкість потоку в гарячій камері, $\text{дм}^3/\text{с}$;

V_2 - об'ємна швидкість потоку в холодній камері, $\text{дм}^3/\text{с}$;

Δt - різниця температур по обидві сторони мембрани, $^\circ\text{C}$.

У **четвертому розділі** досліджено процеси ультрафільтрації та зворотного осмосу фугату та ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди.

Дослідження процесу ультрафільтрації фугату післяспиртової зернової барди дозволили встановити залежності питомої продуктивності мембран УПМ-10, УПМ-50 від тиску (P), рис. 6, 7.

Наведені дані свідчать про те, що зростання питомої продуктивності спостерігається при зростанні тиску до $P=0,4$ МПа. При подальшому зростанні тиску потік крізь мембрану зменшується. На нашу думку це пов'язано з формуванням динамічної мембрани на поверхні розділення та її ущільненням. Це в свою чергу створює додатковий гідравлічний опір для пермеата, що призводить до зниження величини J .

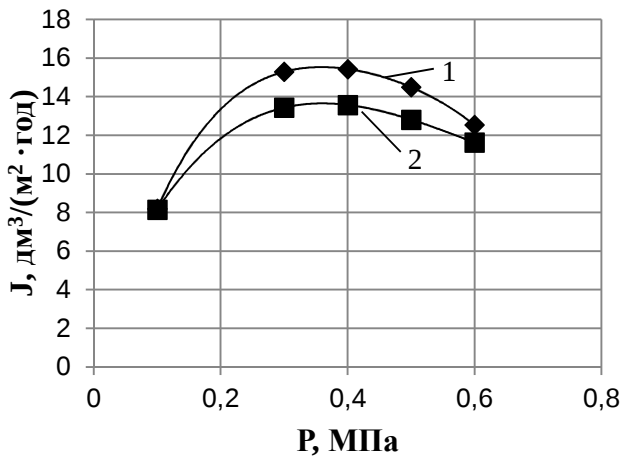


Рис.6. Залежність питомої продуктивності від тиску під час проведення процесу УФ фугату післяспиртової зернової барди на проточній установці ($t=20^\circ\text{C}$): 1- ультрафільтраційна мембрана УПМ-10; 2- ультрафільтраційна мембрана УПМ-50.

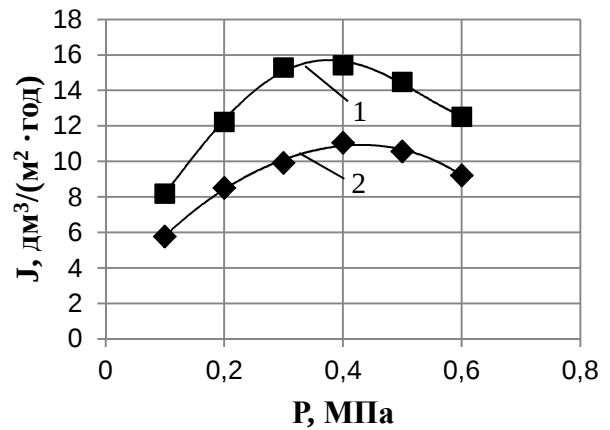


Рис.7. Залежність питомої продуктивності від тиску під час проведення процесу УФ фугату післяспиртової зернової барди на мембрані УПМ-10 ($t=20^\circ\text{C}$): 1- проточна установка; 2 – установка тупікового типу.

Результати досліджень залежності зміни продуктивності мембран УПМ-10 та УПМ-50 від часу наведені на рис.8. Дослідження проводились на установці проточного типу, рис. 2, при сталій температурі, швидкості потоку над мембраною та тиску ($t=20^\circ\text{C}$, $V=0.75$ м/с, $P=0.4$ МПа). Встановлено, що процес ущільнення не є нескінченним та відбувається протягом 60-120 хв. в залежності від типу мембрани.

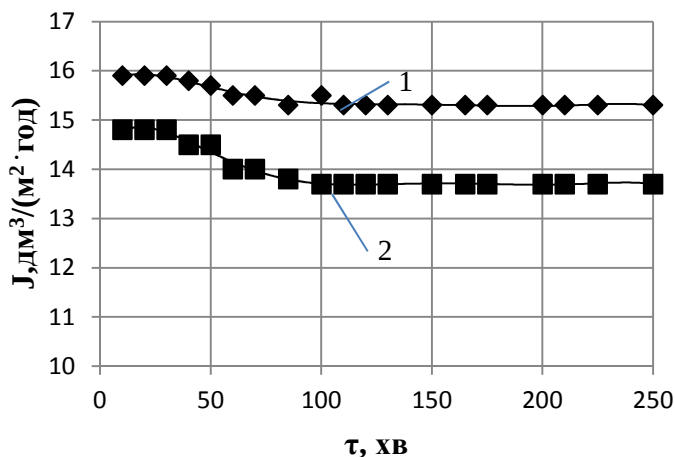


Рис.8. Залежність питомої продуктивності від часу під час проведення процесу УФ фугату післяспиртової зернової барди на проточній установці: 1- ультрафільтраційна мембрана УПМ-10; 2- ультрафільтраційна мембрана УПМ-50.

Встановлено, що продуктивність мембрани УПМ-10 зі збільшенням коефіцієнту концентрування до $k=4$ інтенсивно зменшується, після чого дещо стабілізується в межах $k=4 \div 10$, а потім після $k=10$ спостерігається її зменшення, рис.9. При $k=12$ досягається вміст сухих речовин (СР) 20%. Такий концентрат, може бути використаний як добавка при виробництві комбікормів. Отриманий при цьому пермеат можна направляти на замішування подрібнювального зерна.

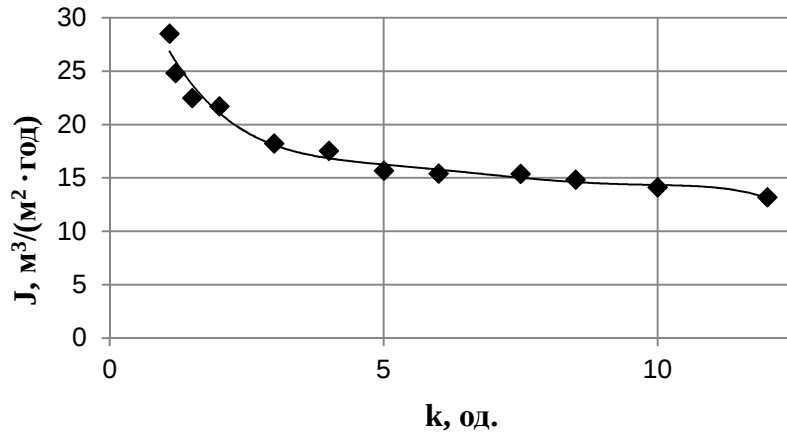


Рис.9. Залежність
питомої
продуктивності від
коефіцієнту
концентрування
(УПМ-10,
 $P=0,4\text{МПа}$, $t=60^{\circ}\text{C}$)

Виконана серія досліджень по визначенню механізму забруднення мембран УПМ-10 в процесі розділення фугату післяспиртової барди показала, що він не відрізняється від загально відомого і складається із двох складових: поступове закупорювання пор мембрани і утворення шару осаду на поверхні мембрани, про що свідчать дані наведені на рис.10. Забруднення обумовлюється наявністю в розчині високомолекулярних сполук, в основному, білків, які адсорбуються на поверхні мембрани і створюють так звану динамічну мембрану. При збільшенні концентрації розчину збільшується кількість адсорбованого білка і відповідно ущільнюється адсорбційний шар. При подальшому концентруванні біля поверхні мембрани накопичуються інші компоненти фугату післяспиртової зернової барди (жири і т.д.), внаслідок чого поступово перекриваються пори.

Нами виконані дослідження процесу ультрафільтрації фугату післяспиртової барди на мембранах модифікованих наночастками цирконію в Інституті загальної і неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України. Результати експерименту показали, що найбільш інтенсивно процес ультрафільтрації відбувається при використанні модифікованої мембрани марки БЛ-УФ-ГФЦ.

Узагальнюючи результати виконаних експериментальних досліджень була розроблена математична модель процесу ультрафільтраційного розділення, що враховує осмотичний тиск пермеату та осмотичний тиск розчину біля поверхні мембрани від концентрації пермеату і розчину, біля поверхні мембрани та температури.

Осмотичні тиски розчину біля поверхні мембрани та пермеату, розраховували за запропонованими нами рівняннями:

$$\pi_m = 0,0335 \cdot c_m + 0,00157 \cdot t - 0,332, \quad (4.7)$$

$$\pi_n = 0,0272 \cdot c_n + 0,00145 \cdot t - 0,1092, \quad (4.8)$$

де c_m, c_n - концентрація розчиненої речовини в розчині біля поверхні мембрани та в пермеаті, г/л;
t- температура розчину, °C.

Запропоновано алгоритм розрахунку математичної моделі процесу ультрафільтраційного розділення розчину, який дає можливість прогнозувати концентрацію розчину на виході з кожного модуля установки.

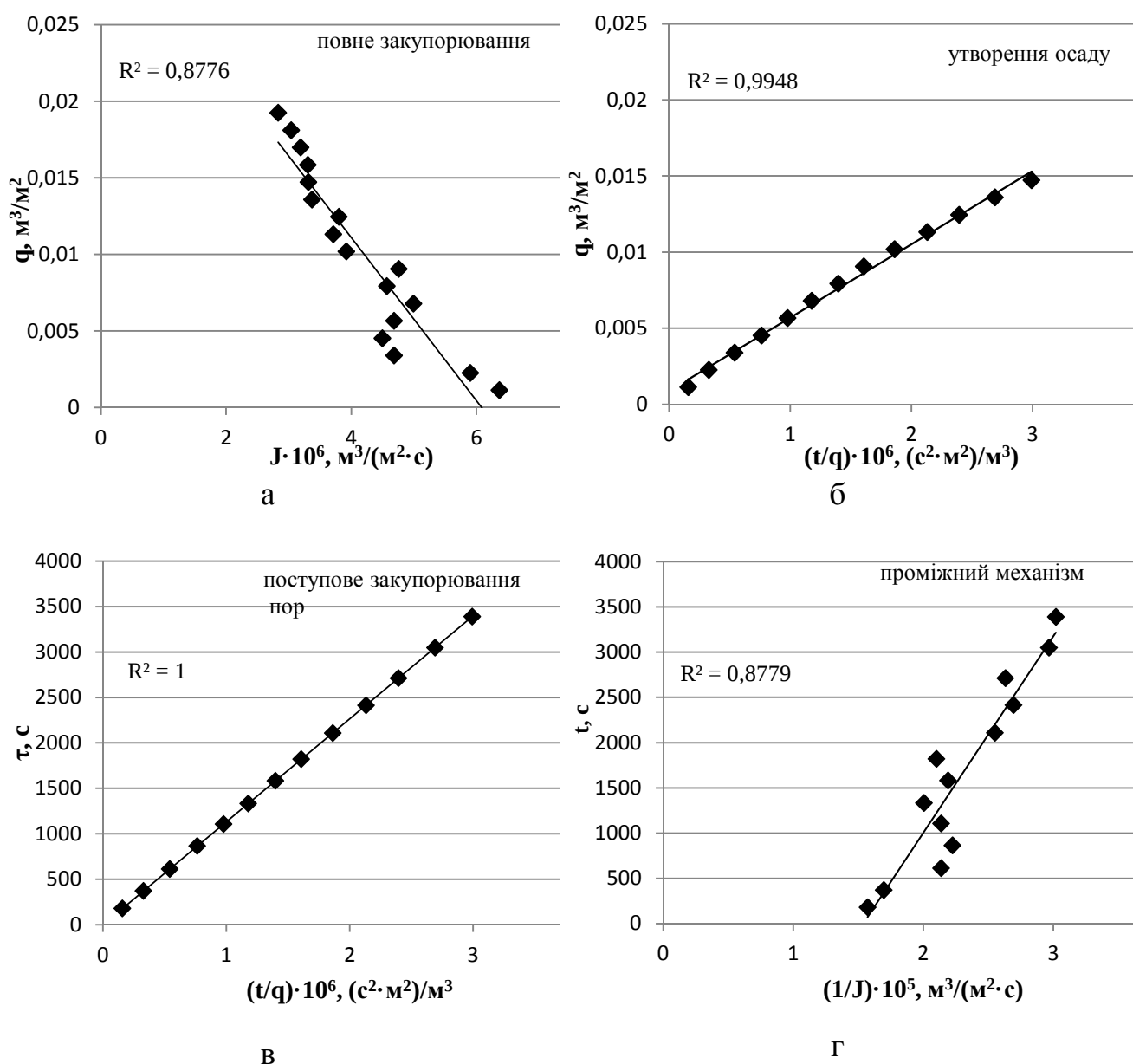


Рис .10. Результати досліджень механізму забруднення мембрани УПМ-10: а- повне закупорювання пор; б- утворення осаду; в- поступове закупорювання; г- проміжний механізм. (де q – об'єм фільтрату, отриманого з 1 m^2 поверхні фільтрування, m^3/m^2 ; τ – тривалість фільтрування, с; J – питома продуктивність фільтрувальної перегородки (мембрани) $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{c})$).

Дослідження процесу зворотноосмотичного розділення фугату і ультрафільтраційного пермеату виконувались на установці тупікового типу з використанням мембран НаноРо серії К (ЗАТ «РМ Нанотех»).

Результати досліджень, рис.11, 12, свідчать про те що зі збільшенням тиску продуктивність мембрани при розділенні ультрафільтраційного пермеату пропорційно зростає (рис.11, крива 1).

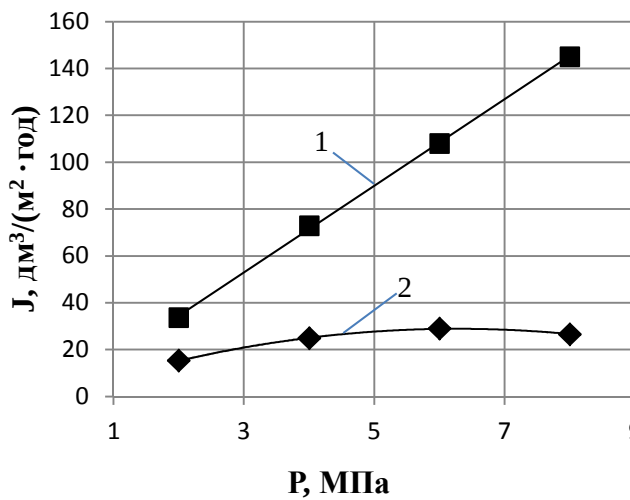


Рис.11. Залежність питомої продуктивності від тиску під час процесу зворотного осмосу: 1- ультрафільтраційний пермеат зернової барди; 2-фугат зернової барди після центрифугування.

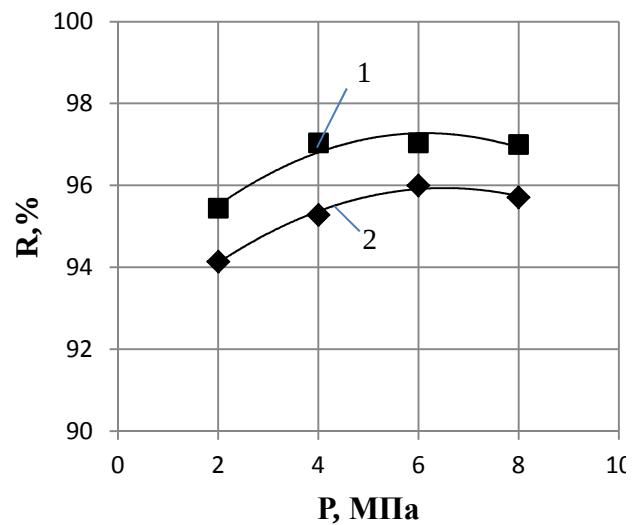


Рис.12. Залежність селективності мембрани по мінеральним речовинам від тиску: 1- ультрафільтраційний пермеат зернової барди; 2-фугат зернової барди після центрифугування.

Що стосується розділення фугату післяспиртової барди, то збільшення тиску мало впливає на продуктивність мембрани (рис.11, крива 2) внаслідок явища концентраційної поляризації, при якій високомолекулярні сполуки осідають на поверхні мембрани, завдяки чому формується динамічна мембрана. На поверхні мембрани формується гелевий шар, який призводить до різкого зростання гідралічного опору мембрани. Із збільшенням тиску відбувається його ущільнення, внаслідок чого питома продуктивність зменшується.

Селективність мембрани зростає з підвищенням тиску, внаслідок ущільнення мембрани. Найбільша селективність (рис.12) досягається при тиску в діапазоні 4,0÷6,0 МПа. Разом з тим, із збільшенням тиску зростають енерговитрати, тому в подальших дослідженнях, як раціональний, був прийнятий тиск 4,0 МПа.

За умов експерименту (P=4,0 МПа, t=20°C) встановлено, що продуктивність зворотно осмотичних мембран НаноРо при зростанні коефіцієнту концентрування (k) поступово зменшується, рис.13. Це пов'язано з підвищенням в'язкості розчину, а також із поступовим забрудненням мембран. Характеристики отриманих розчинів наведені в табл.2.

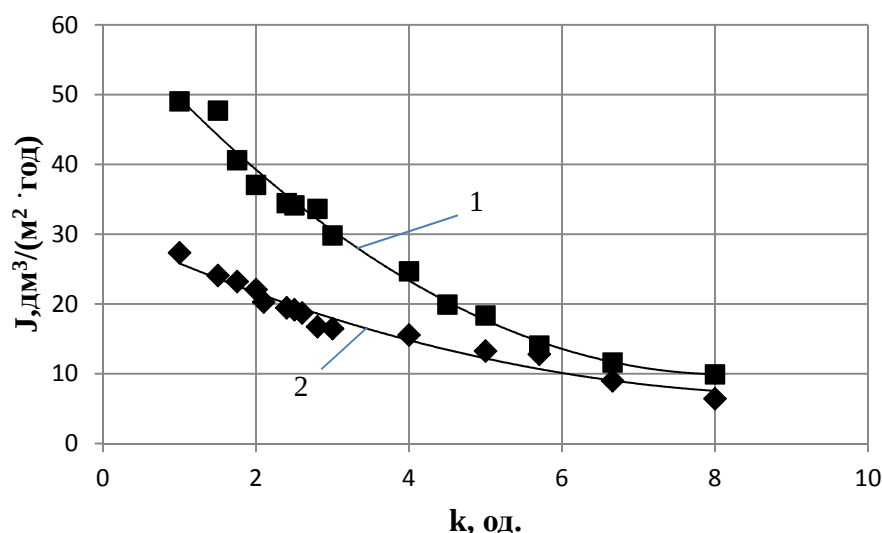


Рис.13. Залежність питомої продуктивності від коефіцієнту концентрування під час зворотного осмосу : 1- ультрафільтраційний пермеат зернової барди; 2-фугат зернової барди після центрифугування.

Таблиця 2

Характеристики досліджуваних розчинів під час процесу зворотного осмосу при тиску $P=4\text{МПа}$ і температурі $t=20^{\circ}\text{C}$

Розчин	Початковий вміст		Вміст мінеральних речовин в пермеаті, мг/л				Вміст сухих речовин, %	
			1<k<2	2<k<4	4<k<6	6<k<8	концен трат	пер меат
	сухих речовин %	мінеральних речовин, мг/л						
УФ пермеат	1,2	1331	59	82	-	151	9,5	0
Фільтрат барди	1,8	1401	66	86	107	164	12,4	0

Примітка: k- коефіцієнт концентрування.

Дослідження процесу забруднення зворотноосмотичних мембран НаноРО серії К при розділенні фугату і ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди показали, що воно відбувається поступово, по мірі утворення осаду.

Встановлено, що індекс забруднення (IF) мембрани при розділенні фугату барди на 4,77% менший ніж при розділенні ультрафільтраційного пермеату післяспиртової барди (рис. 14).

Отримані результати пояснюються тим, що при ультрафільтраційному розділенні вилучаються високомолекулярні сполуки (білки, жири), які містяться у фугаті післяспиртової барди. При концентруванні зворотним осмосом фугату барди вони осідають на поверхні мембрани, створюючи тим самим додатковий фільтрувальний шар, за рахунок якого забруднення мембрани низькомолекулярними сполуками зменшується.

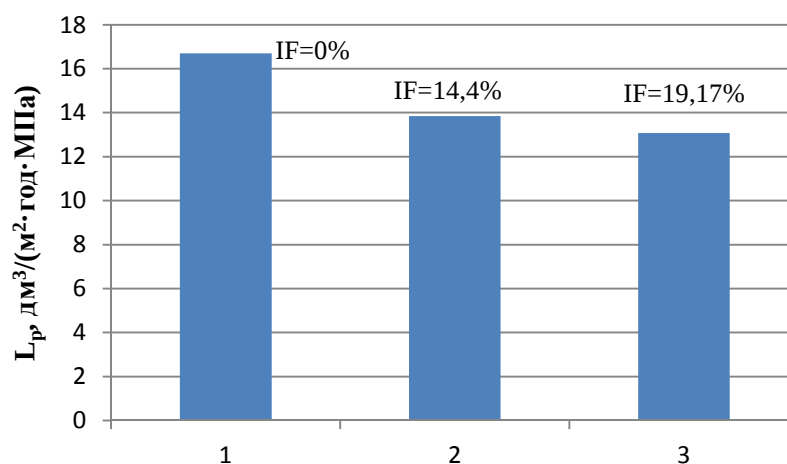


Рис.14. Зниження гідравлічної проникності L_p зворотньоосмотичної мембрани НаноРо :1-нова мембрана, 2- після розділенні фугату барди; 3- після розділення УФ пермеату барди.

Наведені припущення підтверджуються розрахунком величин опору масопереносу для мембрани НаноРО серії К, який наведено в табл.3.

Таблиця 3

Середні значення величини опору масопереносу для мембрани НаноРо серії К при зворотньо осмотичному розділенні

Розчин	Опір нової мембрани, $R_m, \text{м}^{-1}$	Опір «незворотного» забруднення, $R_{ir}, \text{м}^{-1}$	Опір «зворотного» забруднення, $R_r, \text{м}^{-1}$	Загальний опір $R_t, \text{м}^{-1}$
УФ пермеат барди	$2,222 \cdot 10^{14}$	$0,525 \cdot 10^{14}$	$12,518 \cdot 10^{14}$	$15,265 \cdot 10^{14}$
Фугат барди	$2,222 \cdot 10^{14}$	$0,471 \cdot 10^{14}$	$19,627 \cdot 10^{14}$	$22,32 \cdot 10^{15}$

Опір нової мембрани є сталою величиною і залежить від структурних особливостей мембрани. Гідравлічний опір «незворотного» забруднення, формується внаслідок адсорбції частинок на поверхні мембрани або в її порах. Що стосується опору зворотного забруднення, то він спричинений концентраційною поляризацією та утворенням шару осаду. Сума додаткового опору масопереносу, який чинять компоненти розчину (R_{ir} , R_r) з опором нової мембрани складають загальний опір і вказують, який із зазначених показників має найбільший вплив на зниження продуктивності мембрани.

У п'ятому розділі наведено апаратурні схеми переробки післяспиртової зернової барди.

Запропоновано дві апаратурні схеми переробки фугату післяспиртової барди. В першому випадку пропонується здійснювати розділення фугату післяспиртової барди контактною мембранною дистиляцією, рис.15.

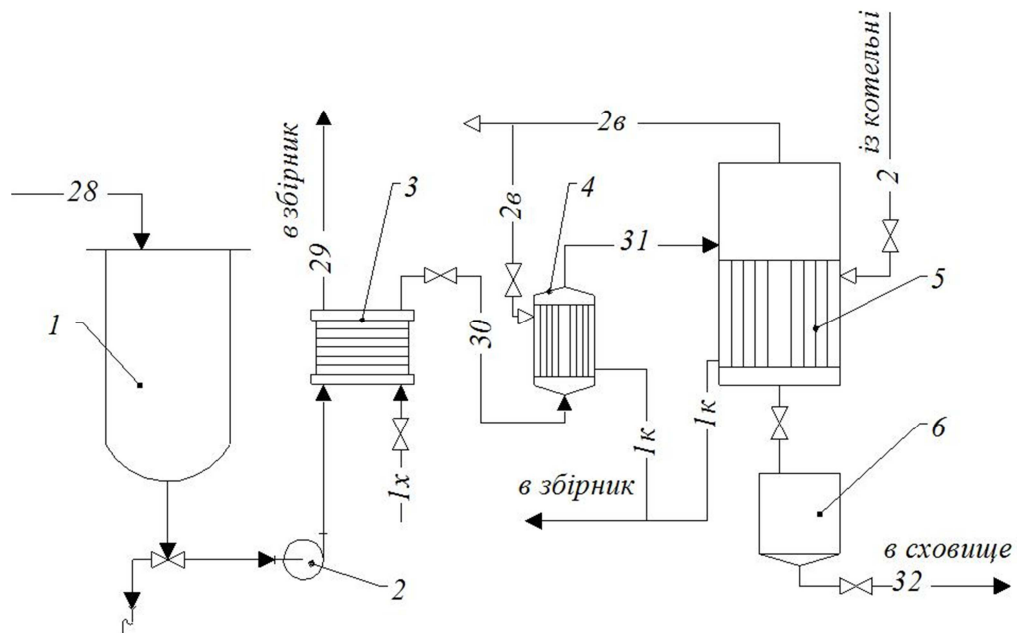
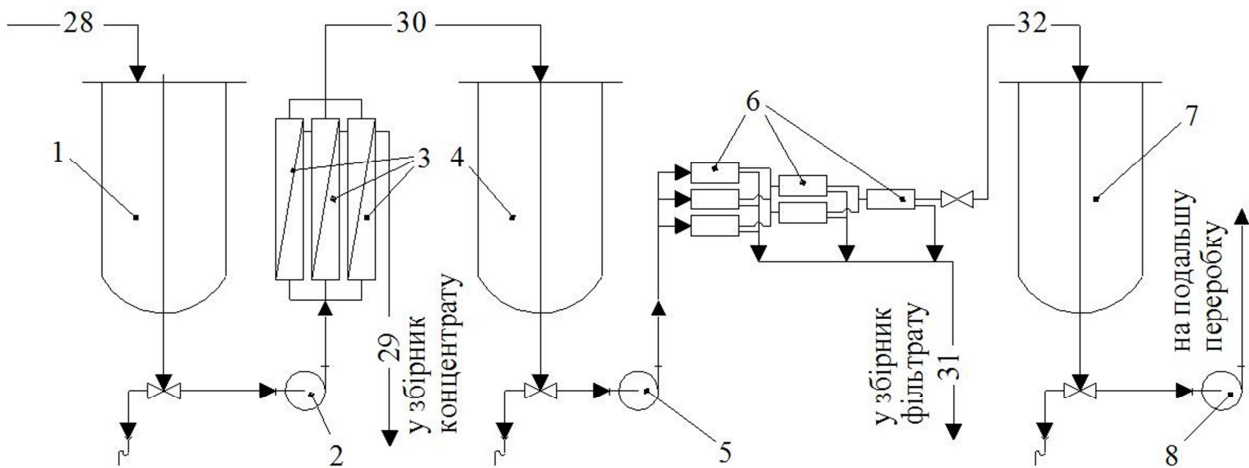


Рис. 15. Апаратурна схема комплексної переробки фугату барди: 1, 6 – ємність проміжного зберігання; 2 – насос; 3 – мембранно-дистиляційна установка; 4 – теплообмінник, 5 – випарна установка, -2- - пара, -2в- - пара вторинна, -1к- - конденсат, -1х- - вода холодна, -28- - фугат барди, -29- - фільтрат після мембранної дистиляції, -30- – концентрат; -31- - підігрітий концентрат; -32- - упарений концентрат.

Фугат барди направляється на мембранно-дистиляційну установку 3 ($t_{г.к.}=65^{\circ}\text{C}$, $t_{х.к.}=20^{\circ}\text{C}$). Концентрат із вмістом сухих речовин 30% підігрівають в теплообміннику 4, після чого згущують у випарній установці 5. Згущений концентрат направляється на зберігання і подальшу переробку.

В другому випадку для переробки фугату післяспиртової зернової барди запропоновано використовувати послідовно процеси ультрафільтрації та зворотного осмосу, рис.16. Даною схемою передбачено попередню обробку свіжої післяспиртової барди на центрифугі для відділення дробини. Отриманий фугат подається через ємність проміжного зберігання 1 на ультрафільтраційну установку 3, де при тиску 0,4 МПа і температурі $60\div 65^{\circ}\text{C}$ отримують пермеат і концентрат. Пермеат, що містить від 0,8 до 1,2% сухих речовин, а також мінеральні речовини в діапазоні від 1043 до 1376 мл/дм³, подається на зворотноосмотичну установку 6. Процес зворотного осмосу відбувається при тиску 4 МПа і температурі в діапазоні від 20 до 45 $^{\circ}\text{C}$. Після розділення концентрат подається на подальшу переробку, а пермеат (вода) у збірник 7, частина якого може бути використана для замішування зерна та на технічні потреби.

Для спиртового підприємства виробничою потужністю 3000 дал спирту на добу, необхідна площа мембран, для розділення фугату післяспиртової барди, становить 315 м², а для розділення ультрафільтраційного пермеату - 258 м².



*Рис.16. Апаратурна схема переробки фугату барди: 1, 4, 7 – ємності проміжного зберігання; 2, 5, 8 – насоси; 3 – ультрафільтраційна установка; 6 – зворотно осмотична установка;
-28- - фугат барди, -29- - концентрат після ультрафільтрації, -30- – ультрафільтраційний фільтрат, -31- -фільтрат після зворотного осмосу, -32-- концентрат після зворотного осмосу.*

Розрахунковий економічний ефект від впровадження запропонованої схеми переробки фугату післяспиртової зернової барди складає 221 грн. на 1 т отриманого концентрату.

ВИСНОВКИ

Аналіз наукової літератури та результатів власних досліджень процесів контактної мембранної дистиляції, ультрафільтрації та зворотного осмосу фугату післяспиртової зернової барди дозволили зробити наступні узагальнення та висновки:

1. Встановлено доцільність та закономірності розділення фугату післяспиртової зернової барди шляхом контактної мембранної дистиляції. Найбільш інтенсивно процес протікає за умов температури розчину в гарячій камері 65°C, а в холодній камері – 20÷25°C, що забезпечує концентрування фугату до вмісту сухих речовин 30%.

2. Встановлено, що серед досліджуваних мембран, найбільшої інтенсивності процес ультрафільтрації фугату барди досягається при використанні мембран УПМ-10 та модифікованих наночастками цирконію мембран БЛ-УФ-ГФЦ за температури розчину 60-65°C і тиску в межах 0,3-0,4 МПа.

3. Розроблено математичну модель процесу ультрафільтрації та запропоновано алгоритм розрахунку концентрації розчину на виході з кожного модуля ультрафільтраційної установки, з урахуванням зміни осмотичних тисків.

4. 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 НаноРо по мінеральним речовинам становить 95-97 %.

5. Встановлено, що питома продуктивність мембран НаноРО при розділенні фугату післяспиртової зернової барди нижча в порівнянні із продуктивністю мембрани при розділенні ультрафільтраційного пермеату, при чому вона поступово зменшується від початку до кінця процесу. При цьому на початку процесу різниця продуктивностей складає близько 50%, з часом поступово зменшується і в кінці складає не більше 20%.

6. Встановлено, що індекс забруднення мембран марки НаноРо при розділенні фугату барди менший на 4,77% ніж при розділенні ультрафільтраційного пермеату післяспиртової барди, і становлять 14,4 та 19,17%, відповідно, в наслідок утворення додаткового фільтрувального шару високомолекулярних сполук.

7. Розроблено дві апаратурні схеми переробки післяспиртової зернової барди, а саме з послідовним використанням процесів ультрафільтрації та зворотного осмосу, а також – контактної мембранної дистиляції.

8. Результати досліджень, отриманих в дисертаційній роботі, щодо удосконалення процесу переробки фугату післяспиртової зернової барди ультрафільтрацією та зворотним осмосом передані на Червонослобідське МПД ДП «Укрспирт».

9. Розрахунковий економічний ефект від впровадження схеми переробки фугату післяспиртової зернової барди, яка включає процеси ультрафільтраційного і зворотноосмотичного розділення, складає 221 грн. на 1 т отриманого концентрату.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Dzyazko Y.S. Organic-inorganic materials containing nanoparticles of zirconium hydrophosphate for baromembrane separation /Y.S. Dzyazko, L.M. Rozhdestvenskaya, Y.G. Zmievskii, A.I. Vilenskii, V.G. Myronchuk, L.V. Kornienko, S.V. Vasilyuk and N.N.Tsyba // Nanoscale Research Letters.-2015.-V.10. P. 64-75. (видання, яке включено до міжнародних наукометричних баз Science Citation Index Expanded (SciSearch), Journal Citation Reports/Science Edition, SCOPUS, INSPEC, Astrophysics Data System (ADS), Chemical Abstracts Service (CAS), Google Scholar, EBSCO, Academic OneFile, AGRICOLA, ChemWeb, CSA Environmental Sciences, Current Contents/Physical, Chemical and Earth Sciences, DOAJ, EI-Compendex, EMBiology, Gale, OCLC, Referativnyi Zhurnal (VINITI), SCImago, Summon by ProQuest)

Особистий внесок дисертанта: участь у проведенні експериментальних досліджень, обговорення результатів.

2. Kornienko L. Investigation of ultrafiltration of grain stillage/ L. Kornienko, Y. Zmievskiy, V. Myronchuk// Ukrainian Food Journal.- 2015.-V.4.-№1.- P. 131-138. (стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних науко

метричних баз Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, UlrichsWeb, Global Impact Factor, CABI full text)

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

3. Корнієнко Л.В. Концентрування післяспиртової зернової барди мембранною дистиляцією /Л.В. Корнієнко, Ю.Г. Змієвський, В.Г. Мирончук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві».- Харків, 2014. Вип.146. С. 104 -107.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до друку.

4. 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».- Харків, 2014. Вип.152. С. 156 -161.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

5. Мирончук В.Г. Застосування мембранної дистиляції в процесі утилізації післяспиртової зернової барди / В.Г. Мирончук, Л.В. Корнієнко // Тематичний збірник наукових праць Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського «Обладнання та технології харчових виробництв».- Донецьк, 2011. Вип. 27. С. 131-135.

Особистий внесок здобувача: аналіз джерел літератури, проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

6. Змієвський Ю.Г. Визначення основних характеристик гідрофобної мікрофільтраційної мембрани марки МФФК-3 при мембранній дистиляції / Ю.Г. Змієвський, В.Г. Мирончук, Л.В. Цюпко, Д.Д. Кучерук // Харчова промисловість.- 2010. - №9.-С. 90-94.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

Патенти України на корисні моделі:

7. Патент 99204UA, МПК C12F 3/00 (2015.01) Спосіб переробки післяспиртової зернової барди / Л.В. Корнієнко, Ю.Г. Змієвський, В.Г. Мирончук ; заявник Національний університет харчових технологій.- № u 2001412749 ; заявл. 27.11.2014 ; опубл. 25.05.2015, Бюл. № 10, 2015 р.

Особистий внесок здобувача: патентний пошук, проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

8. Патент 99203UA, МПК B01D 17/038 (2006.01) B01D 17/09 Спосіб переробки післяспиртової зернової барди / Л.В. Корнієнко, Ю.Г. Змієвський, В.Г. Мирончук ; заявник Національний університет харчових технологій.- № u 20014 12748 ; заявл. 27.11.2014 ; опубл. 25.05.2015, Бюл. № 10, 2015 р.

Особистий внесок здобувача: патентний пошук, проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

Матеріали та тези конференцій:

9. Корниенко Л.В. Перспектива применения мембранных методов в процессе переработки послеспиртовой зерновой барды / Л.В. Корниенко // Тезисы докладов VII Международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств». – Могилев, 2010.- С. 80.

Особистий внесок здобувача: аналіз наукових публікацій, підготовка матеріалів до публікації.

10. Корниенко Л.В. Применение мембранных технологий в процессе утилизации послеспиртовой зерновой барды / Л.В. Корниенко // Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые продукты и здоровье человека». – Кемерово, 2011. – С. 241.

Особистий внесок здобувача: аналіз наукових публікацій, підготовка матеріалів до публікації.

11. Корнієнко Л.В. Застосування мембранної дистиляції під час переробки післяспиртової зернової барди / Л.В Корнієнко, В.Г. Мирончук // Тези доповідей науково-практичної конференції молодих вчених і студентів «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, готельного, ресторанного господарств і торгівлі». – Харків, 2011. – С. 319.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

12. Корнієнко Л.В. Застосування мембранної дистиляції в процесі утилізації післяспиртової зернової барди / Л.В. Корнієнко, В.Г. Мирончук // Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Вода в харчовій промисловості». - Одеса, 2011. – С. 88.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

13. Корнієнко Л.В. Процес мембранної дистиляції як складова комплексної утилізації післяспиртової зернової барди / Л.В. Корнієнко, В.Г. Мирончук // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Мембранні процеси та обладнання в інноваційних технологіях харчових виробництв», 27-28 листопада 2012 р. – К.:НУХТ 2012. – С. 36-37.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

14. Мирончук В.Г. Застосування мембранних методів в процесі переробки післяспиртової зернової барди / В.Г. Мирончук, Л.В.Корнієнко // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості», 8-9 жовтня 2013р. – Тернопіль, 2013.- С. 111.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

15. Корнієнко Л.В. Застосування контактної мембранної дистиляції для концентрування післяспиртової зернової барди / Л. Корнієнко, І. Шевченко, Ю. Змієвський, В. Мирончук // Програми і матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 10-11 квітня 2014р. – К.:НУХТ, 2014р. – Ч.2.-С. 99-100.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

16. Корнієнко Л. Визначення механізму забруднення ультрафільтраційних мембран при розділенні післяспиртової зернової барди / Л. Корнієнко, О. Бусигін, Є. Тростянський // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання».- Тернопіль, 2014.- С. 17/

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

17. Корнієнко Л.В. Розроблення технологічної схеми переробки післяспиртової зернової барди з використанням мембранних процесів / Л.В. Корнієнко, О.В. Бусигін, Є.Д. Тростянський // Програма і матеріали Міжнародної наукової конференції «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчової промисловості», 13-17 жовтня 2014р.- К.: НУХТ, 2014 р. – С. 94.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

18. Корнієнко Л.В. Застосування мембранних методів при переробці післяспиртової зернової барди / Л.В. Корнієнко, Мирончук В.Г.// Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Мембранні процеси та обладнання в харчових технологіях та інженерії», 25 – 26 листопада 2014р.- К.:НУХТ 2014.-С.11.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

19. Мирончук В.Г. Моделювання процесу мембранної дистиляції рідких харчових середовищ / В.Г. Мирончук, Ю.Г. Змієвський, Л.В. Корнієнко // Матеріали – науково-технічної конференції «Новітні науково-технічні рішення в харчовій промисловості», 2-3 березня 2015 р.- Львів, 2015.- С. 43-46.

Особистий внесок здобувача: аналіз джерел літератури, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

20. Корнієнко Л.В. Хімічне очищення ультрафільтраційних мембран після переробки фільтрату зернової барди / Л.В. Корнієнко, В.Г. Мирончук // 81-міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 23-24 квітня 2015 р.- К.:НУХТ, 2015 р. – Ч.2.-С. 70.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до друку.

21. Корнієнко Л. Розділення післяспиртової барди ультрафільтрацією / Л.В. Корнієнко, В.Г. Мирончук // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної

конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання».- Тернопіль, 2015.- С.15.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до друку.

АНОТАЦІЯ

Корнієнко Л.В. Дослідження мембранних методів переробки післяспиртової зернової барди. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв.

Дисертаційна робота присвячена науковому обґрунтуванню застосування мембранної дистиляції, ультрафільтрації та зворотного осмосу в процесі переробки післяспиртової зернової барди. Визначені раціональні режими процесів мембранної дистиляції, ультрафільтрації та зворотного осмосу при розділенні фугату післяспиртової зернової барди.

Отримали подальший розвиток теоретичні уявлення перебігу процесу контактної мембранної дистиляції післяспиртової зернової барди, запропонована аналітична залежність визначення продуктивності мембрани від впливових факторів та на цій основі науково обґрунтовано раціональні режими процесу.

Розроблено математичну модель процесу ультрафільтрації фугату післяспиртової зернової барди та запропоновано алгоритм розрахунку концентрацій розчинів на виході з кожного модуля ультрафільтраційної установки.

Визначено, що забруднення мембран при розділенні фугату і ультрафільтраційного пермеату післяспиртової зернової барди зумовлено поступовим забрудненням пор та утворенням осаду на поверхні.

Розроблено апаратурні схеми переробки фугату післяспиртової зернової барди мембранними методами.

Ключові слова: післяспиртова барда, мембранна дистиляція, ультрафільтрація, зворотній осмос.

АННОТАЦИЯ

Корниенко Л.В. Исследование мембранных методов переработки послеспиртовой зерновой барды. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2015.

В диссертационной работе рассмотрен вопрос переработки послеспиртовой зерновой барды. Обоснована целесообразность применения мембранных методов для усовершенствования процесса переработки

послеспиртовой зерновой барды, с получением высокомолекулярных соединений и воды.

Экспериментально подтверждена возможность разделения фугата послеспиртовой зерновой барды в процессе мембранной дистилляции. Процесс разделения фугата наиболее интенсивно протекает при температуре раствора в горячей камере 65°C, а в холодной – в интервале 20-25 °C, что обеспечивает концентрирование фугата до содержания сухих веществ 30%.

Дальнейшее развитие получили теоретические представления протекания процесса контактной мембранной дистилляции. Предложена аналитическая зависимость определения продуктивности микрофильтрационной мембраны марки МФФК-З от влияющих факторов, а также на этой основе научно обусловлены рациональные режимы процесса.

Определены рациональные режимы баромембранных процессов, а именно ультрафильтрации и обратного осмоса. Разработана математическая модель процесса ультрафильтрации фугата послеспиртовой зерновой барды и предложен алгоритм расчета концентраций растворов на выходе из каждого модуля ультрафильтрационной установки.

Проведены экспериментальные исследования процесса ультрафильтрации с использованием модифицированных наночастицами циркония мембранах. Установлено, что наибольшую продуктивность, среди исследуемых, имеют мембраны БЛ-УФ-ГФЦ.

Рассмотрен вопрос загрязнения ультрафильтрационных и обратноосмотических мембран. Установлено, что загрязнение мембран в процессе разделения фугата барды обусловлено постепенным загрязнением пор и образованием осадка на поверхности мембраны.

Установлено, что наиболее интенсивно процесс обратного осмоса ультрафильтрационного пермеата послеспиртовой зерновой барды протекает при давлении 4,0 МПа. При этом селективность мембраны марки НаноРо по минеральным веществам составляет 95-97%. Рассчитано, то индекс загрязнения мембраны марки НаноРо при разделении фугата барды на 4,77% меньше чем при разделении ультрафильтрационного пермеата послеспиртовой зерновой барды, и составляет 14,4 и 19,17%, соответственно.

Рассмотрен вопрос регенерации ультрафильтрационных мембран. Установлено, что наилучшие результаты наблюдались при использовании раствора NaOH с концентрацией 0,5%. При таких условиях производительность мембраны восстанавливалась на 98-99% от ее первоначального значения.

Предложены две аппаратные схемы переработки фугата послеспиртовой зерновой барды, а именно с последовательным использованием процессов ультрафильтрации и обратного осмоса, а также контактной мембранной дистилляции. Вследствие чего, в конце технологического процесса можно получить чистую воду, а также концентраты высоко- и низкомолекулярных соединений.

Результаты исследований, полученных в диссертационной работе, по усовершенствованию процесса переработки фугата послеспиртовой зерновой

барды с внедрением ультрафильтрации и обратного осмоса переданы на Червонослобидское МПД ГП «Укрспирт».

Расчетный экономический эффект от внедрения схемы переработки фугата послеспиртовой зерновой барды, которая включает процессы ультрафильтрационного и обратноосмотического разделения, составляет 221 грн. на 1 т полученного концентрата.

Ключевые слова: послеспиртовая зерновая барда, мембранная дистилляция, ультрафильтрация, обратный осмос.

ABSTRACT

Kornienko L. V. Investigation of membrane processing of grain distillery stillage. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences on a speciality 05.18.12 – Processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. – National university of food technologies, Kyiv, 2015.

The dissertation is devoted to the improving of grain distillery stillage processing using membrane distillation, ultrafiltration and reverse osmosis. The rational modes were determined for the filtration of centrate of grain distillery stillage by membrane distillation, ultrafiltration and reverse osmosis.

The theoretical model of contact membrane distillation of grain distillery stillage was further developed. The analytical dependence was proposed to determine the membrane efficiency as a function of influential factors. On this basis the rational modes of process were scientifically substantiated.

The mathematical model of ultrafiltration of centrate of grain distillery stillage was developed. The algorithm for calculation of solution concentration at the outlet of each module of ultrafiltration unit was proposed.

It was found that the membrane fouling was caused by gradual pore blocking and cake formation during separation of ultrafiltration centrate of grain distillery stillage.

The machine and apparatus schemes were developed for the processing of centrate of grain distillery stillage by membrane methods.

Key words: grain distillery stillage, membrane distillation, ultrafiltration, reverse osmosis.