

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка
до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »

на тему: «Дослідження процесу мікрофільтрації соняшникової олії»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Лукаш В.О.

Керівник: Костенко О.М.

Рецензент: Ляшенко С.В.

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 64 сторінки, 16 рисунків, 6 таблиць, 1 додаток, 25 джерел.

Об'єктом досліджень є технологічний процес очищення післяпресової соняшникової олії в мікрофільтраційній установці з мембранами трубчастого типу.

Предмет досліджень - закономірності процесу мікрофільтрації неочищеної соняшникової олії.

Метою роботи є обґрунтування мембранного способу очищення післяпресової соняшникової олії на основі застосування процесу мікрофільтрації.

Методи досліджень – методи аналізу та синтезу, інтерпретації отриманих результатів, моделювання.

В результаті досліджень експериментально встановлено закономірності процесу фільтрації неочищеної соняшникової олії; визначений гранулометричний склад дисперсної форми неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії; встановлені залежності проникності та селективності трубчастої мікрофільтраційної мембрани від величини робочого тиску та швидкості циркуляції неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії в каналі мембранної установки; визначені їх оптимальні значення $\Delta P = 0,58-0,6$ МПа, $V = 4,45-5$ м/с при яких спостерігається зменшення питомих енерговитрат; запропонована модернізована технологічна схема виробництва та очищення соняшникової олії; виконано техніко-економічне обґрунтування розробки.

Ступінь впровадження – результати досліджень були впроваджені в технологічному процесі виробництва і очищення соняшникової олії.

Галузь застосування – переробна галузь.

В результаті впровадження результатів дослідження у виробництво очікується річний економічний ефект 66193 грн.

НЕОЧИЩЕНА СОНЯШНИКОВА ОЛІЯ, МЕМБРАНА, МІКРОФІЛЬТРАЦІЙНА УСТАНОВКА, ПОЛІДИСПЕРСНА СИСТЕМА, РОБОЧИЙ ТИСК, ШВИДКІСТЬ ЦИРКУЛЯЦІЇ ПОТОКУ ОЛІЇ, БЕЗПЕКА, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

ВСТУП

Актуальність теми. Масложирова промисловість – одна з провідних галузей харчової промисловості країни. Рослинні олії та продукти, що виготовляються на їх основі, останніми роками стали базовими у структурі харчування населення.

Зі зростанням вартості енергоносіїв та посиленням вимог до якості готової продукції в умовах конкуренції з імпортованими продовольчими товарами, проблема розробки та впровадження нових енергозберігаючих технологій у сільськогосподарське виробництво стає особливо актуальною. На більшості переробних підприємств, що виробляють рослинні олії, досить ефективна в умовах великотоннажного виробництва технологія очищення і рафінації на малотоннажних підприємствах не застосовується з ряду об'єктивних причин.

По-перше, через відсутність адаптованого для малотоннажних підприємств технологічного регламенту та технічних умов неможливо налагодити випуск сертифікованої продукції.

По-друге, машинобудування не випускає серійних зразків відповідного устаткування, що дозволяє скомпонувати високоефективні технологічні лінії комплексної переробки вихідної сировини. Окремі спроби передових сільгоспідприємств самостійно вирішити ці завдання наштовхуються на недостатнє наукове забезпечення власних інженерних служб.

Виходячи з вищевикладеного можна зробити висновок, що необхідна розробка та впровадження новітніх технологій, які дозволять вирішити існуючі проблеми. Основою підвищення якості рослинних олій є виділення з них нежирових домішок та супутніх речовин. В даний час одним з перспективних напрямків у вирішенні цього завдання є використання процесу мікрофільтрації. Проведені нами попередні дослідження показують, що мембранні апарати дають високий ступінь очищення олії і сприяють зниженню її собівартості при подальшій обробці (рафінації, гідратації, дезодорації) за рахунок видалення з олії не тільки нежирових домішок, але і деякої частини супутніх речовин. Однак недостатній обсяг теоретичних та дослідно-експериментальних даних у галузі мембранного поділу рідких високомолекулярних полідисперсних систем

зумовлює необхідність проведення власних досліджень процесу мікрофільтрації олії.

Мета дослідження – обґрунтування мембранного способу очищення післяпресової соняшникової олії на основі застосування процесу мікрофільтрації.

Завдання досліджень:

- дослідити неочищену соняшникову олію як об'єкт мембранного поділу, підібрати відповідну мембрану для її мікрофільтрації;
- встановити ступінь впливу основних параметрів процесу мікрофільтрації (робочий тиск у каналі мембранного апарату, швидкість циркуляції потоку олії, що розділяється, його температура, тривалість процесу) на проникність і селективність трубчастих керамічних мембран типу МКФ-2;
- розробити математичну модель процесу мікрофільтрації неочищеної соняшникової олії;
- визначити раціональні значення робочих параметрів процесу мікрофільтрації неочищеної соняшникової олії;
- на основі результатів досліджень удосконалити традиційну технологію отримання соняшникової олії.

Об'єкт дослідження – технологічний процес очищення післяпресової соняшникової олії в мікрофільтраційній установці з мембранами трубчастого типу.

Предмет дослідження – закономірності процесу мікрофільтрації неочищеної соняшникової олії.

Методи дослідження – методи аналізу та синтезу, інтерпретації отриманих результатів, моделювання.

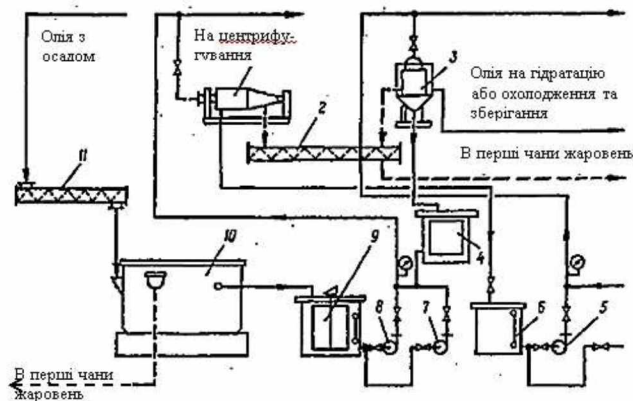
Теоретична та практична значущість. Визначено гранулометричний склад дисперсної фази неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії, що дозволяє непрямим шляхом визначити необхідні технічні характеристики мембран, призначених для її мікрофільтрації. Отримано раціональні значення параметрів процесу мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії. Удосконалена шляхом заміни мембранною мікрофільтраційною установкою традиційного устаткування первинної очистки технологія виробництва соняшникової олії.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Технологія та технічні засоби первинного очищення сояшникової олії в умовах малотонажного виробництва

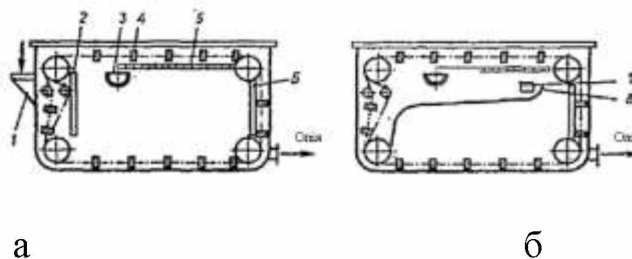
При віджиманні олії на пресах разом з олією йде до 5 % і вище (від маси матеріалу, що переробляється) зворотного товару, що являє собою дрібні частинки мезги, що утворюють механічні домішки в олії [11,20,21]. Первинне очищення це початковий етап рафінації олії, яке відбувається безпосередньо на олійновиробних підприємствах і є частиною технологічної лінії виробництва олії і є важливим етапом у повному циклі виробництва рафінованої олії [6,17,19]. На рафінацію має надходити олія з масовим вмістом нежирових домішок не більше 0,2%, у разі перевищення цього показника, значно збільшуються витрати на подальшу рафінацію.

Існуючі технологічні лінії виробництва олії (рис. 1.1) включають обладнання для первинного очищення, на якому здійснюються, як правило, гідромеханічні процеси [15,16]. Нежирові домішки видаляють з олії на механізованих гущевловлювачах (рис.1.2), за допомогою центрифуг



1 – центрифуга; 2 – шнек для осаду; 3 – фільтр; 4,6,9 – ємкості для олії; 5,7,8 – насоси; 10 – гущевловлювачі; 11 – олійнозбірний шнек

Рисунок 1.1 – Схема первинного очищення олії



а – відсік попереднього відстоювання: 1 – кишеня для олії, що надходить; 2 – перегородка; 3 – шнек для осаду; 4 – скребковий транспортер; 5 – сітчаста поверхня; 6 – перегородка;
 б – відсік остаточного відстоювання; 7 – щілина для переходу олії з попереднього в кінцевий відсік; 8 – лоток

Рисунок 1.2 – Подвійний глуцевловлювач

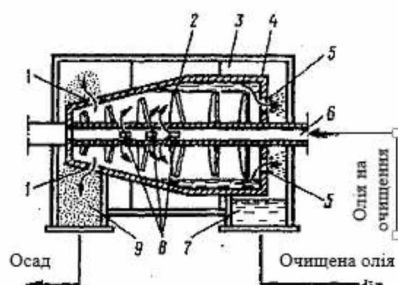
безперервної дії, а також шляхом фільтрації на рамних фільтр-пресах з гідравлічним затискачем плит на фільтрах з механічним розвантаженням осаду [10,15,17]. Вміст нежирових домішок в олії після глуцевловлювача 0,4-0,6%. Для інтенсифікації процесу відділення твердих домішок від олії у вібраційному глуцевловлювачі перфорованої поверхні (сітки в середині глуцевловлювача передають коливання частотою 50 Гц за допомогою електромеханічного вібратора. У глуцевловлювачах відбувається відділення олії від найбільших частинок. Слід зазначити, що виділення нежирових домішок з пресової олії за допомогою глуцевловлювачаів відбувається досить ефективно при підвищеній температурі (80-90 °С). Однак при цьому окислювальні хімічні реакції протікають з високою швидкістю, що на якості готового продукту позначається негативним чином [6]. Крім того, ступінь очищення пресової олії з використанням глуцевловлювачів не відповідає вимогам, що пред'являються до нього при наступній рафінації на основі здійснення фізико-хімічних або масообмінних процесів.

Вищий ступінь очищення можна досягти шляхом відстоювання пресової олії після її обробки на глуцевловлювачах. Відстоювання широко застосовується на стадіях первинного очищення пресової олії як самостійний процес для відділення зважених та частково скоагульованих речовин. Але при виробництві рафінованої олії це зазвичай лише допоміжна операція.

Найбільшого поширення набули відстійники безперервної дії, у яких процес інтенсифікований шляхом осадження частинок дисперсної фази в тонкому шарі. Недолік – відносно велика тривалість процесу осадження частинок через високу в'язкість олій [1,6,9]. Для підвищення швидкості осадження його зазвичай проводять за підвищеної температури. Однак це може призвести до незворотних хімічних змін в олії. Відстоювання в гравітаційному полі можна вважати малоефективним процесом, оскільки він здійснюється в громіздкій апаратурі, яка займає великі виробничі площі, можливості інтенсифікації процесу обмежені.

Значно скоріше та ефективніше відбувається розділення фаз в полі відцентрових сил. Характеристикою конструкції відцентрових машин є фактор розділення. У промисловості в залежності від фактору розділення розрізняють нормальні та швидкісні центрифуги. За призначенням відцентрові машини класифікують на осаджувально-висвітлюючі (кларифікатори) – для розділення суспензій та розділяючі (пурифікатори) – для розділення рідин. Апарати для здійснення цього процесу знаходять широке застосування в різних технологічних лініях на великих підприємствах, хоча висока вартість такого обладнання є великим недоліком для застосування в технологічних лініях виробництва на малотонажних підприємствах.

В даний час на більшості олійних заводів застосовуються шнекові центрифуги марки НОГШ-325 (рис. 1.3).



1 – отвори для виходу осаду; 2 – шнек; 3 – корпус; 4 – ротор; 5 – вікна для зливу олії; 6 – труба для надходження олії на очищення; 7 – відсік для очищення олії; 8 – вікна для виходу олії в порожнину ротора; 9 – відсік для твердого осаду

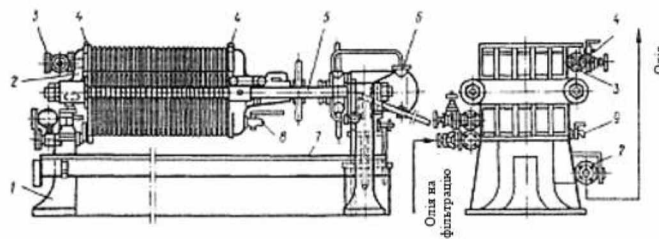
Рисунок 1.3 – Схема роботи горизонтальної осадкової центрифуги безперервної дії НОГШ-325

Слід зазначити, що після очищення пресової олії в полі відцентрових сил необхідно проводити його фільтрацію для більш повного видалення нежирових домішок. Найбільший ступінь очищення пресової олії досягається на основі його фільтрації з використанням різного обладнання та фільтрувальних матеріалів.

Фільтрація – це спосіб поділу, заснований на транспортуванні рідини через пористу перегородку за рахунок перепаду тиску до перегородки та після неї [14,55]. На фільтрі залишаються частинки, розмір яких більше пор перегородки. Фактично фільтрування здійснюється через шари осаду, який з часом накопичується на перегородці. Осад, отриманий при поділі суспензій, поділяється на стисливі і нестисливі. Під нестисливими розуміють такі осади, в яких пористість не зменшується при підвищенні різниці тисків. Пористість стисливих осадів, навпаки, знижується, і їх гідравлічний опір потоку рідкої фази зростає з збільшенням різниці тисків. Підвищити швидкість фільтрування можна збільшенням тиску, але ця можливість обмежена як конструкцією фільтра, так і можливим погіршенням якості фільтрату із-за проскоку частинок, що виділяються. Збільшення швидкості фільтрування внаслідок зниження в'язкості олії також обмежено допустимими температурними межами. Тому іноді для поділу методом фільтрування суспензій в олію вводять допоміжні фільтруючі речовини (слабкостисливі порошкоподібні добавки), завдяки чому створюються умови збереження пористості осаду.

У масложировій промисловості процес фільтрування здійснюється періодично та безперервно. В якості перегородки служать фільтрувальні тканини – бавовняні (бельтинг, діагональ) або синтетичні. У деяких конструкціях фільтрів в якості перегородки використовується металева сітка і фільтрування здійснюється через шар попередньо нанесеного на сітку осаду [7, 16,19, 17,27]. Найчастіше для фільтрації соняшникової олії використовують фільтр ФГДС, що являє собою циліндр з конічним днищем, усередині якого розташований порожнистий вал з набором з 21 фільтруючого диска. У полуму валу є радіальні отвори для стоку олії. Сігчасті диски обтягнуті із двох сторін

фільтр-тканиною. У конічній частині фільтра встановлена мішалка для вивантаження шламу. Олія після центрифуги або гущевловлювача надходить усередину корпусу фільтра і проходячи через фільтр-тканину, надходить у порожнистий вал і виводиться з апарата. У міру зростання тиску фільтрації (понад 0,12 МПа) при великому шарі осаду на фільтр-тканини припиняють подачу олії на фільтрацію, олію зливають, продувають шлам повітрям або інертним газом і прокручують вал з частотою обертання 350 об/хв. Шлам скидається з дисків та виводиться через конічну частину фільтра. Вміст нежирових домішок після фільтрації 0,2%. Також широко застосовуються фільтр-преси (рис. 1.4), які працюють за періодичною схемою.



1 – станина; 2 – головна плита; 3 – штуцер для виведення олії; 4,8,9 – крани; 5 – опорна балка; 6 – гідравлічний затискач; 7 – збірний жолоб

Рисунок 1.4 – Фільтр-прес для олії

Відносна дешевизна обладнання та втратних матеріалів визначають поширення цього способу очистки олії не дивлячись на швидку засміченість пор фільтруючої тканини фосфатидами та восками олії, що мають мазеподібну консистенцію, що призводить до швидкого зниження продуктивності та необхідності регенерації або зміни фільтрів. Ці недоліки фільтрувального обладнання до певної міри можна зменшити шляхом застосування наливних фільтрів. В цьому випадку фільтруючий шар формує на спеціальній несучій поверхні за рахунок поступового його наливу із застосуванням в якості дисперсійного середовища чистої соняшникової олії. Якщо в умовах великотонажного промислового виробництва це економічно може бути тією чи іншою мірою виправдано, то для мінізаводів стає неприйнятним. Насамперед із-за високої питомої витрати чистої олії для формування фільтруючого шару.

У зв'язку із тенденцією збільшення олійно-жирових підприємств, у тому числі підприємств малої потужності, виникла потреба в комплектації останніх апаратами для реалізації технологічних схем очищення з обладнанням малої продуктивності. Очевидно, що застосування в цих умовах потужних високошвидкісних центрифуг та наливних фільтрів навряд чи прийнятне з економічних міркувань.

1.2 Мембранний спосіб очищення соняшникової олії

Отримане в процесі пресування насіння соняшникової олії є неоднорідною системою, що містить велику кількість різних за своїм фізико-хімічним складом компонентів [20,21,24]. Тобто післяпресова соняшникова олія представляє собою багатофазну полідисперсну систему «олія – домішки».

Соняшникова олія, що розглядається в роботі, це рідинна гетерогенна система, в якій олія – дисперсійне середовище, а домішки – дисперсна фаза, які містить декілька основних складових: механічні домішки, продукти окислювального розпаду, фосфатидний комплекс речовин, одно-двохосновних ненасичених жирних кислот, мила, полімеризовані речовини, гідрофобні фракції, високомолекулярні ненасичені жирні кислоти рослинного походження.

Кількісне співвідношення між цими структурними елементами може змінюватися, обумовлюючи ті або інші фізик-хімічні властивості пресової соняшникової олії, що отримується.

Розмір частинок домішок в системі характеризується широким діапазоном від 10^{-9} м до 10^{-4} м, і може бути грубо дисперсною з розміром частинок 10^{-4} - 10^{-7} м або колоїдно-дисперсною з розміром частинок 10^{-7} - 10^{-9} м і менше.

Розділення системи в залежності від ступеня дисперсності чужорідних частинок не є чисто формальним, так як це визначає її якісні характеристики. Грубодисперсна система розділяється за допомогою фільтрації через тканинні, сітчасті фільтри, відцентрові пристрої і інші засоби очищення соняшникової

олії. Колоїдно-дисперсна система успішно розділяється мікрофільтрацією у фільтрах мембранного типу (полімерні, вугільні, керамічні і ін.) [10,21].

Поняття «мембранна фільтрація» не відображає всього різноманіття існуючих технологічних методів і процесів, а лише підкреслює, що важливішим із елементів є напівнепроникна мембрана [23]. Під мембраною прийнято розуміти плоску або трубчасту високопористу перегородку, що виготовлена із полімерного або неорганічного матеріалу, і здатну при певних умовах ефективно розділити частинки різних видів (іони, молекули, макромолекули, колоїдні частинки, мікродомішки), які складають основу дисперсної фази [21,26].

Використання мембран, за рахунок їх високої селективності, дозволяє створити високоефективні та маловідходні технології переробки різних полідисперсних систем. За їх допомогою можна вирішувати такі технологічні задачі, як фракціонування, концентрування, утилізація розчинних органічних високомолекулярних речовин, в першу чергу рідких харчових продуктів (жирів, рослинних олій).

При цьому застосовуються мембрани полімерні, керамічні або комбіновані з високоякісної сталі або вуглецю з полімерним або керамічним покриттям.

При фільтрації в харчовій промисловості краще використовувати керамічні мембрани, які мають у порівнянні з іншими видами мембран і насамперед у порівнянні з полімерами наступні переваги:

- вони стійкі до механічного впливу (їх стійкість до продавлюючого зусилля становить більше 8 МПа) і до впливу хімічного середовища в діапазоні 0-14 рН, у тому числі розчинників;
- термостійкі – надають можливість стерилізації паром, піддаються очищенню у виробничому процесі (зворотне промивання, хімічне очищення);
- матеріал мембран не є живильним середовищем для бактерій та мікроорганізмів, крім того, в процесі очищення немає вимивання будь-яких компонентів матеріалу мембрани;

- мають більш високі показники продуктивності, що вимірюються потоком на одиницю часу або площі;
- великий термін служби.

Відмінною особливістю мембранної мікрофільтрації у порівнянні зі звичайним, так званим тупиковим типом фільтрації є обов'язкова наявність тангенціального потоку системи, що розділяється, відносно мембранної поверхні (рис. 1.5).

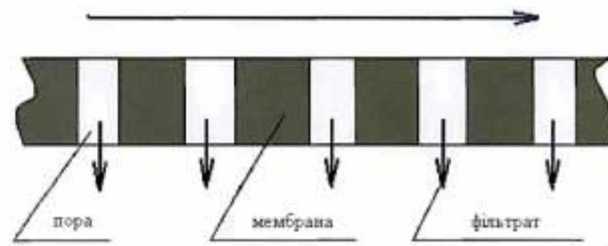


Рисунок 1.5 – Умовна схема мембранного розділення полідисперсних систем

Як відомо, при звичайному процесі фільтрації на перегородці формується шар осаду. Залежно від того, стисливий він чи нестисливий швидкість фільтрації може змінюватися в дуже широкому діапазоні. При мембранній мікрофільтрації наявність потоку системи, що розділяється, в напрямі перпендикулярному поверхні фільтрації впливає на інтенсивність формування шару відкладень, а отже і на швидкість процесу поділу. Очевидно, що як і при звичайному процесі фільтрації, забруднення мембран неминуче. Однак при оптимальному поєднанні величини робочого тиску в каналі мембранного апарату, швидкості циркуляції системи, що розділяється, її температури й концентрації частинок дисперсної фази це явище може бути суттєво уповільнено. Вирішення задачі оптимізації параметрів процесу мембранного розділення неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії повинно ґрунтуватися на розробці математичної моделі мембранного масопереносу. Це насамперед пов'язано з визначенням характеру і величини основної рушійної сили процесу. При проведенні мембранного процесу мікрофільтрації для практичних цілей рушійна сила переносу частинок дисперсної фази через

мембрану в принципі може бути виражена за допомогою робочого тиску над мембранною поверхнею. Такий підхід цілком виправданий при розгляді процесу фільтрації в тупиковому режимі. Однак тільки одні рівняння проникнення не можуть дати адекватні математичні моделі при описі мембранного процесу мікрофільтрації рідких полідисперсних систем; існують додаткові явища, що впливають на масоперенесення через мембрану, найважливіше з них – концентраційна поляризація. Це поняття, як правило, пов'язане з накопиченням частинок дисперсної фази всередині граничного шару, що безпосередньо прилягає до мембрани, селективне перенесення в першу чергу залежить від цього явища. При мікрофільтрації високомолекулярних рідких систем концентраційна поляризація погіршує масоперенос через зниження рушійної сили процесу. Цей ефект може бути зменшений шляхом створення високої поздовжньої швидкості перебігу системи, що розділяється в мембранному каналі або введенням в канал спеціальних турбулізуючих вставок. Іншим вирішенням питання зниження негативного впливу концентраційної поляризації є застосування коротких мембранних каналів з незначним перепадом тиску за його довжиною. Критичне зниження проникності мікрофільтраційних мембран, що виникає через явища концентраційної поляризації і як наслідок їх забруднення насамперед визначається відповідністю робочих параметрів процесу їх оптимальним значенням. Зараз вже цілком ясно, що термін служби мембран, першу чергу визначається тим, наскільки правильно проведена попередня підготовка рідкої полідисперсної системи перед її подачею в апарат для мембранного розділення. При правильному доборі режимів проведення процесу мембрани можуть працювати досить довго без суттєвого погіршення експлуатаційних характеристик. Попередня обробка роздільних дисперсних систем перед їх подачею в мембранний апарат є найважливішою стадією в технологічних лініях, що включають мембранні апарати. Зазвичай її вартість становить від 40 до 60% загальних витрат на здійснення процесу розподілу. Як правило, способи попередньої обробки розділяємих рідких полідисперсних систем добре відомі –

осадження, обробка в полі відцентрових сил, фільтрація і т. ін. Вибір їх стосовно очищення пресової олії є серйозною проблемою, оскільки він повинен враховувати тип апарату і вид мембрани, умови проведення процесу тощо. Якщо, наприклад, розділення передбачається проводити в установках плоскорамного типу, які чутливі до забруднень, попередня обробка повинна бути особливо ретельною і передбачати практично повне видалення зважених частин. Крім того, весь ланцюжок «передочистка – апарат та умови його роботи – очищення мембран від забруднень» має вибиратися в такій сукупності, щоб забезпечити мінімальні енергетичні витрати на здійснення процесу поділу. Найчастіше така підготовка передбачає попереднє очищення рідкої полідисперсної системи від механічних домішок. Дійсно, за відповідних гідромеханічних умов у примембранній зоні апарату може статися критичне зниження проникності мембран за дуже короткий проміжок часу. Однак слід зазначити, що ступінь попереднього очищення певною мірою визначається, з одного боку, енергетичними витратами на запровадження цього процесу, а з іншого боку наявність відносно твердих частинок дисперсної фази в системі, що розділяється, може й сприяти підвищенню проникності мембрани за рахунок їх механічного впливу на шар відкладень, що утворюється на її поверхні. Як правило, мікрофільтраційні установки трубчастого типу в більшості випадків не мають потреби в такому вузлі, цілком достатнім виявляється застосування найпростіших відстійників. Очевидно, що ступінь попереднього очищення системи, що розділяється, визначається її фізико-хімічними властивостями та гідромеханічними характеристиками процесу подальшої мембранної фільтрації.

Дослідження з проблем, пов'язаних із забрудненням мембран, ведуться у чотирьох основних напрямках:

- оцінка фізико-хімічних властивостей систем, що розділяються, по здатності формувати відкладення на поверхні мембрани і в її порових каналах;
- визначення гідромеханічних умов проведення процесу, що сприяють зниженню інтенсивності утворення шару концентраційної поляризації;

- розробка способів очищення, миття та регенерації мембран;
- пошук методів, що дозволяють у тій чи іншій мірі вирішувати проблему підвищення проникності мембран, шляхом попередньої обробки систем, що розділяються.

За останні роки накопичено значний експериментальний та теоретичний матеріал з мембранних процесів водопідготовки, очистки промислових стоків, розділення молочної сироватки, різних високомолекулярних розчинів і т.ін. Аналіз літературних даних [10,18,23] дозволяє висунути гіпотезу про можливість розробки єдиного методологічного підходу до вирішення проблеми на основі вивчення комплексного впливу основних факторів на проникність мембран при поділі рідких високомолекулярних полідисперсних систем.

Забруднення мембран можуть викликати колоїдні та зважені частинки, мікроорганізми, органічні сполуки, а також малорозчинні компоненти системи, що розділяються, які осаджуються на мембрані в процесі поділу. Серед суспензій найбільше забруднення викликають частинки розміром співставними із середнім діаметром пор і менше; більші виносяться зазвичай з апарату з потоком концентрату і навіть у разі їх накопичення в каналі не мають значного впливу на експлуатаційні властивості мембран. У той же час дрібні зважені та колоїдні частинки осідають на робочій поверхні мембран і всередині пор, що є причиною зниження її проникності та зростання селективності.

Механізм цього явища не зовсім ясний, відомі математичні моделі не завжди адекватно описують процес мембранного розділення навіть бінарних високомолекулярних систем, і тому важко надати перевагу якійсь із них. Ні одна з них не дає достовірну відповідь на питання яка ступінь забруднення мембрани частинками, що проникають в пори мембрани. Те, що це відбувається, підтверджується добре відомим фактом, що при поділі систем, що містять дуже дрібні частинки дисперсної фази, крупнопористі мікрофільтраційні мембрани з невисокою селективністю забруднюються швидше, ніж щільні високоселективні, наприклад, зворотноосмотичні [17,18]. Однак, даний ефект може бути пояснений і тим, що через більшу питому проникність крупнопористих мембран збільшується перенесення

забруднюючих частинок до її поверхні з потоком розчину, що формує фільтрат, і це сприяє більш швидкому механічному утворенню шару осаду. До того ж і сам гідравлічний опір осаду в цьому випадку відіграє велику роль через менший опір самої мембрани. Не цілком вивчений також і механічний вплив частинок дисперсної фази на шар відкладень, що формуються на поверхні мембрани. Що стосується полідисперсних систем, в яких дисперсійним середовищем є олія, то цілком певним представляється, лише той факт, що забруднення мембран зваженими і колоїдними частинками залежить від цілого ряду факторів:

- концентрації частинок дисперсної фази та їх розмірів;
- наявності у цих частинках поверхневого заряду;
- величини коефіцієнтів дифузії у розчині;
- присутністю в розділяємій системі розчинених органічних речовин;
- величини рН розчину;
- питомою проникністю мембрани;
- гідродинамічних параметрів процесу – тиску, температури, швидкості потоку в каналі апарату.

Серед малорозчинних неорганічних компонентів системи, що розділяється, складових, як правило, основну частину забруднень мембран, слід вказати механічні домішки [17,10,21]. Хоча осадження цих речовин на мембрані викликає значне погіршення її проникності, наявність їх не є серйозною проблемою, оскільки вони досить легко можуть бути видалені на стадії попередньої обробки, наприклад центрифугуванням. Серйозні труднощі створюють розчинені органічні сполуки, здатні сорбуватися на мембрані, їх видалення вимагає дуже складних і дорогих методів попередньої обробки системи, що розділяється. Ефективних способів боротьби з цим явищем поки не знайдено. Особливо велика роль органічних забруднень у процесі мікрофільтрації, коли основні компоненти розчину – високомолекулярні речовини утворюють шар гелю на поверхні мембрани [18]. Вплив мікроорганізмів (бактерій, нижчих грибів тощо) виявляється подвійно. З одного боку, вони подібно до колоїдних частинок осаджуються на поверхні мембрани, створюючи додатковий гідравлічний опір потоку фільтрату; з іншого боку,

здатні руйнувати полімерну мембрану, використовуючи її компоненти для своєї життєдіяльності. Слід також зазначити, що деякі специфічні мікроорганізми, що утворюють колонії на мембрані, сприяють відкладенню на ній неорганічних речовин, здійснюючи процеси біохімічної мінералізації. Проблема бактеріального забруднення практично повністю була вирішена з випуском неорганічних хімічно і термічно стійких керамічних мембран. Ці мембрани за своїми технічними параметрами значно перевершували свої аналоги, що виготовляються на основі поліамідних смол [21]. Одна з основних їх переваг полягає в тому, що вони не деформуються під дією робочого тиску в каналі мембранного апарату. Ця обставина дуже важлива з погляду розробки математичного опису моделі процесу мембранного поділу. Можна вважати, що в цьому випадку є достатня основа для використання відомих законів фільтрації, які дають цілком адекватні описи процесу за наявності нестисливого осаду. На підставі вищевикладеного можна вважати, що:

- зниження проникності мембран у процесі поділу рідких полідисперсних систем насамперед обумовлено складом та фізико-хімічними властивостями самої системи;

- основне призначення стадії попередньої обробки рідких полідисперсних систем полягає в тому, щоб придати їм такі властивості, які дозволять ефективно провести процес мембранного розділення;

- однією з головних задач розробки процесу мембранного розділення є створення гідродинамічних умов у каналі мембранних апаратів, при яких інтенсивність формування відкладення на поверхнях мембран буде мінімальною.

Висновки. Незважаючи на очевидні переваги мембранного процесу розділення рідких полідисперсних систем, його застосування для очищення пресової олії не набуло широкого поширення. Це насамперед пов'язано з тим, що по-перше така олія мало вивчена як об'єкт мембранного поділу, а по-друге, сам процес її мембранної мікрофільтрації потребує спеціальної розробки. У зв'язку з цим виникає необхідність проведення досліджень, метою яких є розробка та обґрунтування мембранного способу очищення післяпресової олії на основі застосування процесу мікрофільтрації.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Обладнання та методика підбору мембран

На основі аналізу літературних даних [18,25] було з'ясовано, що для мікрофільтрації рослинних олій в теперішній час можна використовувати мембрани наступних марок МФАС-М1, МФАС-М2, МФФ-1, МФФК-М на основі ароматичних вуглеводів, металокерамічних та керамічних МФК-1, МФК-2, МФК-3 на керамічній несучій підложці. Технічні характеристики мембран наведені в таблиці А1 додатку А.

По середньому умовному діаметру пор всі ці мембрани можуть бути використані для проведення процесу мікрофільтрації рідких високомолекулярних полідисперсних систем. Мембрани на керамічній основі відрізняються високою вартістю і відносно великим терміном експлуатації. Крім того мембрани типу МФК витримують більш високий робочий тиск і жорсткий режим мийки. Економічні розрахунки показують, що для мікрофільтрації соняшникової олії краще всього підходять керамічні мембрани марки МФК-1, МФК-2, МФК-3. Однак достатньо повних даних про проникність і селективність цих мембран при мікрофільтрації неочищеного в полі відцентрових сил поки немає. Це і визначило необхідність проведення власних досліджень.

Для цього нами було розроблено лабораторну установку для підбору трубчастих мембран (рис. 2.1). Лабораторна установка включає в себе ємність 1, шестерний насос 2, олієвідду і відду арматури 3, блок очищення 4. Блок очищення 4 являє собою напівзакриту раму, в якій фіксуються керамічні мембранні фільтри трубчастого типу. Принцип роботи установки наступний: рослинна олія з ємності 1 насосом 2 по олієпроводу подається в блок очищення 4. Температура олії змінюється за допомогою додаткового вбудованого нагрівача, тиск олії регулюється перепусковими клапанами 5. Контроль тиску та температури олії в установці здійснюється за показниками вбудованого

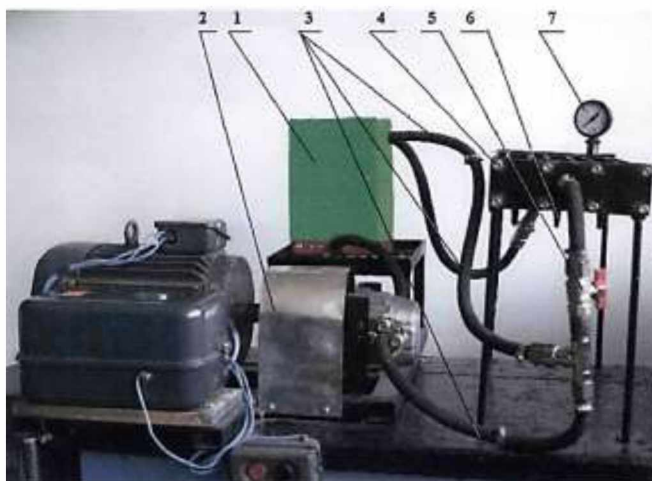


Рисунок 2.1 – Лабораторна установка для підбору трубчатих мембран

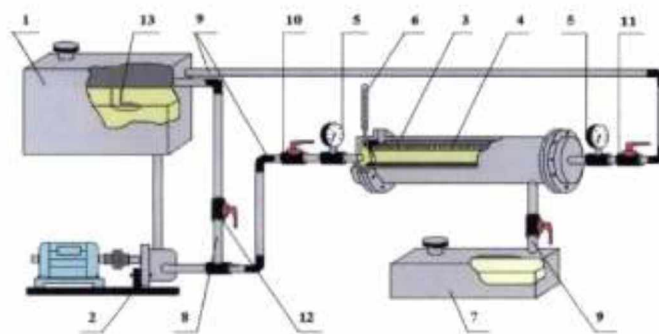
манометра 8 і термометра. Рослинна олія з заданими робочими параметрами проходить через керамічний фільтр, де відбувається процес поділу. Фільтрат по олієпроводу 6 потрапляє в ємність 7. Її відмінна особливість полягає в тому, що на ній одночасно можна проводити дослідження відразу трьох зразків трубчастих мембран при однакових гідродинамічних умовах. Така можливість досягається за рахунок установки спеціальних колекторів на вхідному та вихідному каналі мембранного апарату. Наявність системи дросельних вентилів дозволяє змінювати робочі режими мікрофільтрації в кожному мембранному каналі, регулюючи тим самим параметри процесу в заданому діапазоні. За результатами порівняльних вимірювань проникності та наступних розрахунків селективності кожного зразка мембран приймається рішення про доцільність його використання для мікрофільтрації даної рідкої полідисперсної системи.

2.2 Лабораторне обладнання для дослідження процесу мембранного поділу неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії

Експериментальні дослідження процесу мембранного поділу неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії проводилися на лабораторних мікрофільтраційних установках (рис. 2.2). Основна контрольно-вимірювальна апаратура встановлена на мембранній установці: витратомір ПЖУ-25М-16

клас точності 0,5-10, манометр МП4-У клас точності 0,6-11, електролічильник лабораторний 5СМ4 клас точності 3, мірні ємності клас точності 2, електронний блок керування та регулювання основних параметрів процесу мікрофільтрації.

Як показали лабораторні дослідження, до складу механічних домішок пресової олії у значній кількості входять білкові сполуки. У зв'язку з цим при мембранному поділі неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії можливе утворення в примембранній зоні апарату шару з підвищеною концентрацією азотистих сполук. Тобто прояв ефекту концентраційної поляризації може у динаміці викликати інтенсивне формування гелеподібних відкладень складної структури на робочій поверхні мембрани, що завжди суттєво зменшує швидкість мікрофільтрації. Для оцінки ступеня впливу концентраційної поляризації на швидкість процесу мембранного розділення неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії були проведені експериментальні дослідження залежності проникності Q і селективності ψ мембрани МФК-2 від робочого тиску в мембранному каналі, при різних швидкостях циркуляції неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії. Експерименти проводилися на мембранній установці, принципова схема якої приведена на рисунку 2.2.



1 – ємність з нагрівальним елементом 13 для рідкої полідисперсної системи;
 2 – насосна станція; 3 – арматура для кріплення мембран; 4 – мембрана;
 5 – манометр; 6 – термометр, термостат; 7 – збірник фільтрату; 8 – байпасна лінія; 9 - трубопроводи магістральні; 10,11,12 – дросельні вентиля

Рисунок 2.2 – Принципова схема лабораторної мікрофільтраційної установки

Особливістю конструкції даної лабораторної установки є можливість змінювати швидкість циркуляції рідинної системи, що розділяється, в необхідному для досліджень діапазоні.

Для проведення процесу мембранного розділення при різних параметрах робочого тиску, температури, швидкості циркуляції розділової системи була розроблена мембранна установка представлена на рисунку 2.3. Конструкція установки дозволяє проводити мікрофільтрацію неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії, як періодично, так і в напівперіодичному режимі.

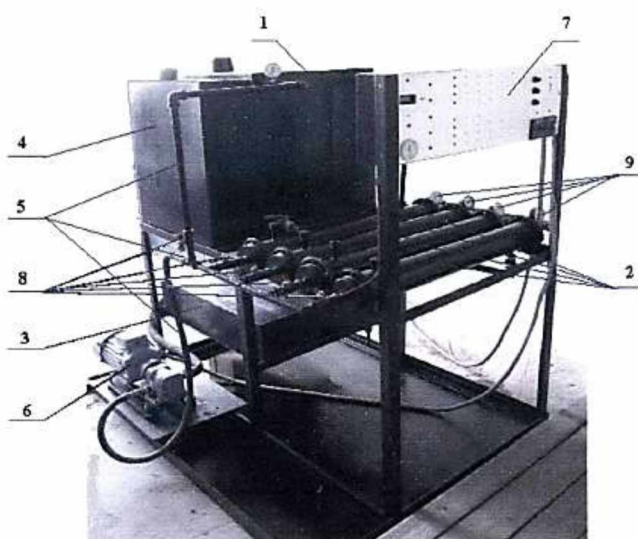
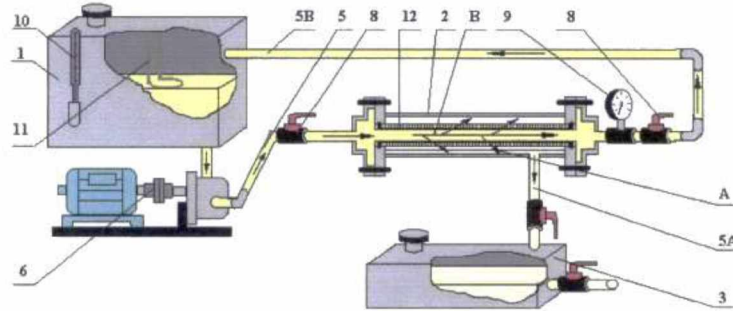


Рисунок 2.3 – Установка олійноочищувальна

Дана установка представляє собою зварну рамну конструкцію, на якій для розділення системи встановлена ємність 1, місткістю 150 л. В ємність вмонтовані електронагрівачі, датчики рівня олії і температури. Основними робочим елементами є чотири фільтраційних модуля 2. В кожному з модулів встановлено по сім керамічних мембранних фільтруючих елементів.

Кількість фільтраційних модулів може змінюватися в залежності від об'ємів олії, що очищається. Для готового продукту, отриманого в результаті фільтрації, встановлений збірник фільтрату 3, резервуар для миючого розчину 4, трубопроводи 5, крани 8, манометри 9, насосна станція 6, електронний блок

управління 7. Схема потоків олії в олійноочищувальній установці представлена на рисунку 2.4.



1 – ємність для олії; 2 – фільтраційний блок; 3 – ємність для фільтрату;
4 – резервуар для миючої рідини; 5 – трубопровід; 6 – насосна станція; 7–
панель управління; 8 – регулювальний вентиль; 9 – манометр; 10 – термометр;
11 – тен; 12 - мембрана; 13 – подача розділової системи

Рисунок 2.4 – Принципова схема потоків олії в установці

Порядок роботи установки наступний: соняшникова олія, підігріта до температури 52-55°C (контроль за термометром 10) з ємності 1 за допомогою насосної станції 6 по трубопроводу 5, через дросельний вентиль 8 під тиском (до 0,1-0,8 МПа) подається у фільтраційні модулі 2; по трубопроводу 5В потік олії повертається в початкову ємність. Після того як температура олії стабілізується (в початковий момент часу вона знижується із-за контакту з трубопроводом і стінками мікрофільтраційного модуля) за допомогою вихідного дроселя в системі встановлюється необхідна величина робочого тиску ΔP (контроль за манометром 9). З початком процесу мембранного розділення фільтрат, проходячи через мембрани 12, збирається в колекторі 2 мікрофільтраційного модуля і по олієпроводу 5А подається в збірник 3.

Для очищення мікрофільтрів використовується зворотній потік, принципова схема якого представлена на рисунку 2.5.

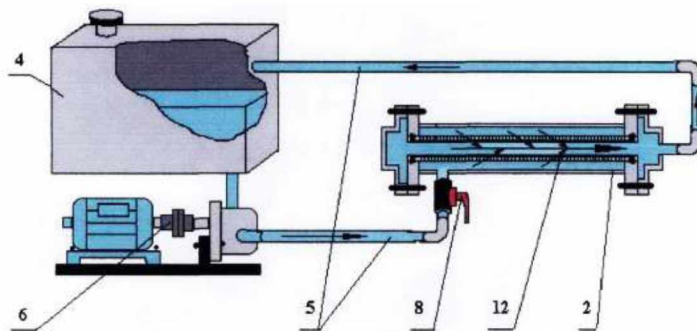


Рисунок 2.5 – Принципова схема очищення фільтруючого модуля

Мийний розчин з ємності 4 за допомогою насосної станції 6 по трубопроводу 5 під тиском (до 0,8-0,2 МПа) подається в колектор для фільтрату і, проходячи через пори керамічних фільтруючих елементів 12, повертається в початкову ємність. Таким чином, миючий розчин протivotоком звільнює мембранну поверхню від забруднень.

2.3 Методика визначення впливу основних параметрів процесу мембранного поділу на швидкість мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії

При вивченні впливу основних параметрів мембранного розділення рідких полідисперсних систем в першу чергу необхідно визначити величину робочого тиску в каналі мембранного апарату. Для визначення впливу величин робочого тиску в каналі мембранного апарату на проникність мембран при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії. Перед проведенням експериментів відбиралися зразки олії відповідно до ДСТУ 4349:2004 «Олії. Методи відбирання проб». Після відбору проб один із зразків заливали у вихідну ємність експериментальної мікрофільтраційної установки та починали процес мікрофільтрації, а інші поміщали для зберігання при температурі $8=10$ °С в холодильну камеру. Дослідження забрудненості та визначення фізико-хімічних показників неочищеної в полі відцентрових сил

соняшникової олії проводилися за допомогою стандартних методів випробувань та використанням відповідних приладів та апаратури.

Дослідним шляхом визначалися залежності проникності Q і селективності ψ мембрани від тиску ΔP в каналі мікрофільтраційного апарату, швидкості циркуляції V неочищеної соняшникової олії, що розділяється в полі відцентрових сил, її температури t , об'ємної частки частинок дисперсної фази C_{Σ} в ній і тривалості проведення процесу τ . Визначення залежності проникності Q і селективності ψ мембрани від тиску ΔP проводилося за наступною методикою. За допомогою мірної склянки вимірювався обсяг фільтрату, який збирався у спеціальну ємність після 6 годин безперервної роботи установки при постійних значеннях ΔP , V та t .

$$\rho = \frac{m}{w}, \quad Q = \frac{m}{F} \cdot 6 \quad (2.1)$$

де ρ – щільність фільтрату кг/м³;

m – маса фільтрату, кг;

w – обсяг фільтрату, м;

Q – проникність мембрани кг/м²·год.;

F – площа робочої поверхні мембрани, м².

Потім визначалася кількість механічних та нежирових домішок у фільтраті, отриманий результат відносився до цього показника для вихідної олії, і розраховувалася селективність мембрани:

$$\Psi = 1 - \frac{C_{\Phi}}{C_{\Sigma}} \quad (2.2)$$

Послідовно, із заданим кроком, збільшуючи параметр ΔP при незмінних значеннях двох інших параметрів – V і t , щоразу виконували ці вимірювання та обчислення. При триразовій повторності дослідів та стандартній обробці отримані результати для ΔP , Q та ψ , оформляли у вигляді відповідних таблиць та графіків. За отриманими даними вимагалось підібрати відповідний аналітичний вираз, з достатнім ступенем точності апроксимуючих результатів експерименту. При підборі апроксимуючих кривих $Q = f(\Delta P)$ і $\psi = f_2(\Delta P)$

необхідно було врахувати, що у початковий момент часу кожна з цих теоретичних кривих повинна проходити через початок відповідних координат. Крім того, ці криві повинні бути монотонно зростаючими функціями, зверненими вгору.

Цим вимогам цілком задовольняє функція виду:

$$y = a + bx + cx^2 . \quad (2.3)$$

Постійні числа a і b підбиралися для кожної кривої за допомогою програм Microsoft Excel і Statistica 6.0. Для визначення швидкостей зниження проникності та селективності мембрани необхідно взяти похідну від кожної функції, що виражають залежність проникності та селективності від величини робочого тиску. Таким чином, отримуємо рівняння наступного виду:

$$dy/d\Delta P = b + 2cx \quad (2.4)$$

За аналогічною методикою визначалися залежності $Q = f_3 (V)$ та $\psi = f_4 (V)$, $Q = f_5 (t)$ та $\psi = f_6 (t)$. Для отримання вихідних експериментальних даних необхідні визначення залежностей проникності і селективності мембрани від часу проведення процесу мікрофільтрації, тобто $Q = f_7 (\tau)$ та $\psi = f_8 (\tau)$, об'єм фільтрату, який збирався в спеціальну ємність вимірювався кожній 0,5 години безперервної роботи установки при постійних значеннях ΔP , V і t . Для отримання непрямой оцінки інтенсивності забруднення мембран при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії застосовувався метод мікроскопічного дослідження мембран (робили мікрофотографії і аналізували їх). Основна перевага такого методу в порівнянні з іншими загальноприйнятими полягає у можливості візуального спостереження за характером відкладень, що сформувалися з частинок дисперсної фази, як на поверхні мембран, так і у внутрішньопоровому просторі.

Висновки. В даному розділі представлені обладнання для проведення досліджень, методика проведення експерименту, методика визначення впливу основних параметрів процесу мембранного розділення на швидкість мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії.

2.4 Методика визначення ефективності мембранного поділу неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії

Для оцінки ефективності мембранного поділу неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії запропоновані наступні критерії:

- енергетичні витрати на виробництво фільтрату повинні бути менше або дорівнювати відповідним витратам на очищення післяпресової олії відповідно до традиційної технології;

- енергетичні витрати на остаточну рафінацію фільтрату повинні бути менше або дорівнювати відповідним витратам на виробництво готової продукції відповідно до традиційної технології;

- якісні показники товарної олії, отриманої з фільтрату неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії повинні відповідати середнім значенням, прийнятим в ДСТУ 4492:2-2017 «Олія соняшникова. Технічні умови»;

- величина доходу від впровадження мікрофільтраційної установки для поділу неочищеної в поле відцентрових сил соняшникової олії повинна бути позитивною при реалізації проекту протягом одного року.

В ході очищення після пресової олії на мікрофільтраційній установці здійснювалися вимірювання сумарної питомої витрати електроенергії на його підігрів і на процес поділу при оптимальних режимах. Після експериментального визначення проникності мембрани, отримані дані оброблялися методами математичної статистики і таким чином отримували вихідні дані для розрахунку продуктивності мікрофільтраційної установки. За результатами порівняльних фізико-хімічних аналізів вихідної соняшникової олії, його фільтрату і концентрату проводили розрахунок селективності мембрани по нежирових домішкам. Для отримання товарної продукції фільтрат спрямовували на рафінацію по традиційній технології. Шляхом підбору основних параметрів стадії рафінації визначали і розраховували показники відносних економічних витрат на виробництво товарної рослинної олії, отриманої з фільтрату. Якість продукції контролювалося відповідно до ДСТУ 4492:2-2017 «Олія соняшникова. Технічні умови».

2 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Дослідження процесу мембранного поділу неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії

Для визначення діапазонів раціональних значень основних робочих параметрів процесу мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії, необхідно, по-перше, вивчити її основні фізико-хімічні властивості як об'єкта мембранного поділу, а по-друге, підібрати відповідні за своїми технічними характеристиками мембрани. Фізико-хімічні показники пресової олії були наступні:

- гранулометричний склад механічних домішок;
- в'язкість та щільність олії;
- кислотність олії;
- перекисне число;
- масова частка нежирових домішок.

3.1.1 Гранулометричний склад дисперсної фази олії після пресового віджимання

Механічні домішки (частинки лушпиння, макухи і т.п.) не тільки погіршують товарний вид олії, а й обумовлюють перебіг ферментативних, гідролітичних та окисних процесів. Крім того, оскільки ці домішки мають білкове походження, то в результаті денатурації білкових речовин у олію переходять одоруючі речовини та барвники. Все це погіршує органолептичні показники та харчову цінність соняшникової олії, тому механічні домішки видаляють відразу після отримання пресової олії. Встановлено, що об'ємний рівень механічних домішок становить 7-10%. Для аналізу гранулометричного складу механічних домішок було використано післяпресову олію, отриману за традиційною технологією. Загальний обсяг механічних домішок становив 9,2% обсягу. Дослідження проводили на приладі ПКЖ-904А методом розведення та

протоки через вимірювальну систему приладу. Результати представлені у таблиці 3.1.

Таблиці 3.1 – Гранулометричний склад пресової соняшникової олії

d , мкм	5-10(7,5)	10-25(17,5)	25-50(37,5)	50-100(75)	100-200(150)	>200(300)
V , мкм ³	220,78	2804,74	27597,65	220781,25	1766250	14130000
N , шт.	960336000	194355562	23366250	5076250	2595000	148750
ΣV , см ³	0,212	0,55	0,65	1,12	4,6	2,1
% об'ємн	2	5,9	7	12,1	51	22
Всього об'єму $\Sigma = 9,232$ см ³ в 100 см ³ олії						

З наведених у таблиці 3.1 даних видно, що для пресової олії характерна наявність, головним чином, механічних домішок у вигляді частинок з умовним діаметром від 100 до 300 мкм. Слід зазначити, що основну частину механічних домішок становлять частинки із середнім умовним діаметром близько 150 мкм. Очевидно, що частинки з такими геометричними розмірами не можуть проникнути в мембранні пори (20:40 мкм) і відповідно за наявності інтенсивного тангенціального потоку не сприяють їх суттєвому механічному забрудненню. Після очищення цієї олії у полі відцентрових сил гранулометричний склад її механічних домішок суттєво змінився. Результати досліджень представлені в таблиці 3.2 показують наявність переважно частинок із середнім умовним діаметром близько 15 мкм.

Таблиці 3.2 – Гранулометричний склад соняшникової олії очищеної в полі відцентрових сил

d , мкм	5-10 (7,5)	10-25 (15)	25-30 (37,5)	50 100 (75)	100-200 (150)	>200 (300)
V , мкм ³	220,78	2804,7	27597,65	220781,25	1766250	14130000
N , шт.	593261340	39977324	1449432	27264	8117	32
ΣV , см ³	0,125	0,115	0,04	0,006	0,0014	0,0004
% об'ємн	43,4	39,9	t4	2	0,49	0,21
Всього об'єму $\Sigma = 0,288$ см ³ в 100 см ³ олії						

Крім того проникнення в пори мікрофільтраційних мембран механічних частинок з такими геометричними розмірами в загальному випадку можливо, а якщо врахувати їхню взаємну фрикційну (механічну) взаємодію, в результаті

якої можуть утворюватися дрібніші «уламки», то негативний вплив останніх на проникність мембран вельми ймовірний. Цілком можлива взаємодія цих «уламків» з мембранною поверхнею в результаті прояву міжмолекулярних сил. Слід вважати, що здебільшого саме цим і пояснюється більш суттєве зниження проникності та збільшення селективності мікрофільтраційних мембран при мікрофільтрації очищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії в порівнянні з неочищеним. Але з іншого боку відомо, що в'язкість і щільність рідкої полідисперсної системи, що розділяється, в ряді випадків істотно впливають на процес її мікрофільтрації. У зв'язку з цим ми вивчали ці показники очищеної та неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії, а також ступінь їх впливу на швидкість процесу мікрофільтрації.

3.1.2 Вивчення в'язкості та щільності неочищеної та очищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії

Отримані графічні залежності (рис. 3.1) в'язкості та щільності від температури для очищеної та неочищеної в полі відцентрових сил олії практично не відрізняються один від одного, але при 65-70 °С відбувається деяке зростання швидкості зниження в'язкості внаслідок, швидше за все, незворотних змін білкових компонентів дисперсної фази. Для рафінованої та дезодорованої, тобто товарної олії характерно монотонне зниження в'язкості без істотних коливань у той чи інший бік

Оскільки щільність та в'язкість очищеної та неочищеної олії в полі відцентрових сил, а також товарної соняшникової олії при температурі 50-60 °С істотно не відрізняються один від одного тому їх вплив на порівняльну проникність мембран в цьому діапазоні t при мікрофільтрації можна вважати незначними. Що стосується селективності, то слід зазначити, що цей показник у разі мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії вище, ніж при обробці очищеної або товарної в середньому на 3-3,5%. Це можна пояснити тим, що при температурі близько 55-58 °С відбувається

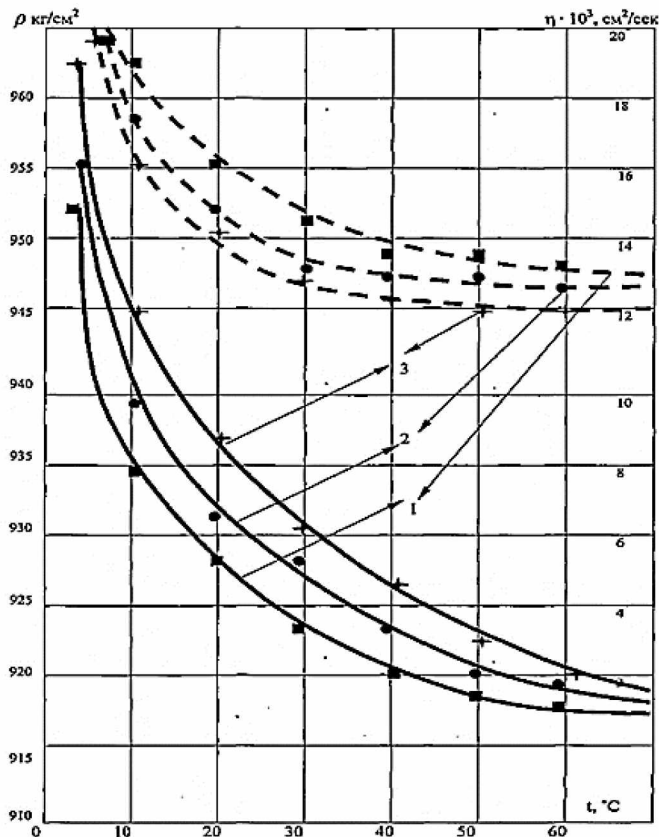


Рисунок 3.1 – Залежність щільності (—) та в'язкості (-----) неочищеної (3), очищеної (2) та рафінованої (1) соняшникової олії від температури

часткова або повна, залежно від часу нагрівання і подальшої витримки олії, денатурація основних білкових компонентів полідисперсної системи. Скоріше за все денатурація супроводжується втратою поверхневої активності білкових макромолекул, що перешкоджає їх взаємодії за рахунок міжмолекулярних сил як з матеріалом мембрани так і один з одним. А це явище у свою чергу перешкоджає їх дифузії крізь мембрану, що й підвищує її селективність.

3.1.3 Кислотне, перекисне число та масова частка нежирових домішок після пресової соняшникової олії

Для товарних зразків соняшникової олії основні показники якості визначаються відповідно до ДСТУ 4492:2017 «Олія соняшникова. Технічні умов». Найбільш важливими прийнято вважати: кислотність, перекисне число,

масову частку нежирових домішок. Результати лабораторних досліджень наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати лабораторних досліджень зразків олії

Зразок олії	Кислотність, КОН/г	Перекисне число	Масова частка нежирових домішок, %
Пресова	4,6	13	1,7
Очищена в полі відцентрових сил	4,4	12	0,9
Фільтрат	3,5	10,2	0,1
Товарне	3,9	10	0,2

Як видно з наведених у таблиці даних зразки пресової і очищеної в полі відцентрових сил олії істотно відрізняються один від одного тільки по масовій частці нежирових домішок. Після мікрофільтрації кислотне та перекисне числа зменшуються на 24% та 27% порівняно з вихідними відповідними показниками для пресової олії. Дослідження фізико-хімічного складу різних зразків соняшникової олії показали, що в пресовій олії присутні різні як по хімічному, так і гранулометричному складу механічні домішки. Якість же фільтрату отриманого в результаті мікрофільтраційного очищення після пресової соняшникової олії за основними показниками вища, ніж очищена в полі відцентрових сил, а за показниками кислотності та наявності нежирових домішок в основному відповідає вимогам до товарної олії.

3.1.4 Дослідження проникності та селективності мембран при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії

В результаті експериментальних досліджень з підбору мембран для мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії було встановлено, що доцільно застосування керамічних мембран типу МФК-1, МФК-2 і МФК-3. З представлених на рисунку 3.2 даних випливає, що найбільшу проникність Q має мікрофільтраційна мембрана МФК-3, а найменшу – МФК-1, проміжне значення – МФК-2. З погляду сітової моделі процесу

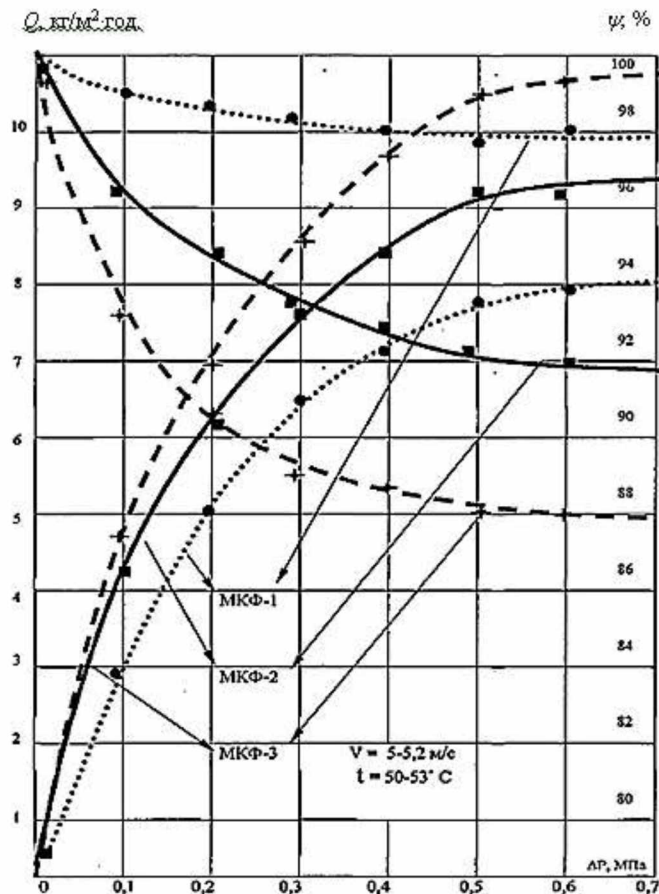


Рисунок 3.2 – Залежність проникності та селективності мембран МКФ-1, МКФ-2, МКФ-3 від величини робочого тиску в каналі мембранного апарату при мікрофільтрації неочищеного в полі відцентрових сил соняшникової олії

мембранного поділу така відмінність, швидше за все, пояснюється відповідним діапазоном середнього діаметра пор цих мембран. Але крім проникності іншим важливим показником для мембран є їх селективність ψ , тобто. здатність достатньою мірою затримувати частинки дисперсної фази. Відповідно, можна вважати, що необхідно вибрати мембрану з максимальною проникністю при достатньому рівні селективності. Результати досліджень (рис. 3.2) показують, що селективність мембрани типу МКФ-1, МКФ-2, МКФ-3 у діапазоні $\Delta P=0,4-0,65$ МПа знаходиться в межах 98%, 92%, 88% відповідно. Розрахунковим шляхом, визначено, що селективність 92% задовольняє вимогам, що висуваються до існуючих промислових зразків мікрофільтраційних мембран по нежирових домішках, отже, для мікрофільтрації очищеної та неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової

олії доцільно застосовувати мембрани МФК-2. Ці мембрани мають достатню проникність (у порівнянні з МФК-1 і МФК-3) і за рахунок прийнятного показника селективності можуть забезпечувати необхідну якість одержуваного фільтрату. На підставі цього подальші дослідження нами проводилися тільки з використанням мембрани МФК-2.

3.2 Дослідження залежності проникності та селективності мембран типу МФК-2 від величини робочого тиску та швидкості циркуляції в каналі мікрофільтраційного апарату

Результати досліджень проникності Q та селективності ψ мембрани МФК-2 при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії представлені у графічній формі на рисунку 3.3.

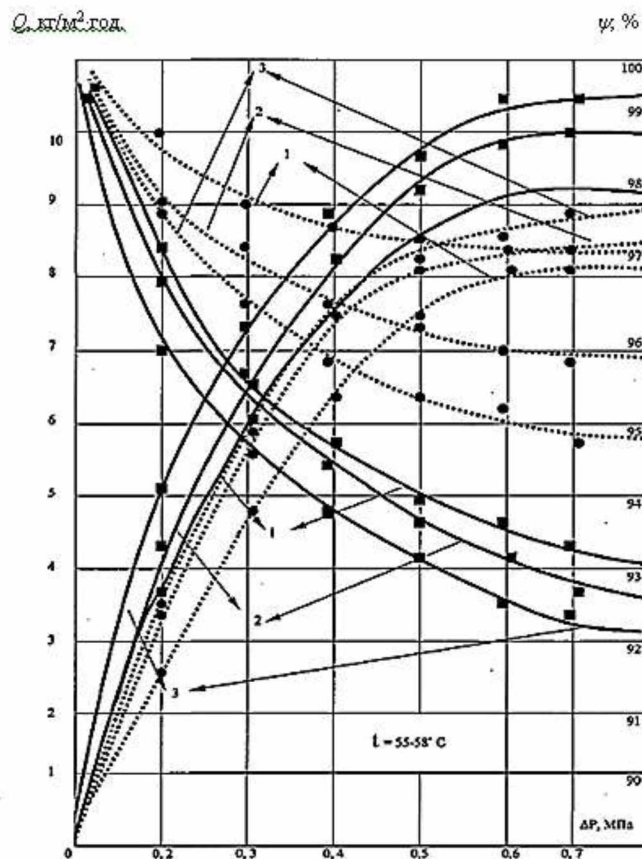


Рисунок 3.3 – Залежності проникності Q і селективності ψ мембрани МФК-2 від величини робочого тиску при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил (---) та очищеної (—) соняшникової олії. Швидкість циркуляції системи в каналі мембранного апарату:

1 – 3,5-3,6 м/с; 2 – 4,5-4,63 м/с; 3 – 5-5,1 м/с

З наведених даних видно, що підвищення робочого тиску понад 0,65 МПа для мембранного поділу як неочищеної, так і очищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії не дає істотного приросту проникності мембран. Оскільки зростання величини робочого тиску безпосередньо пов'язане з енергетичними витратами, то збільшення його більше 0,65 МПа слід вважати недоцільним. Відповідно, всі подальші дослідження нами проводилися в діапазоні $\Delta P = 0,3-0,65$ МПа. Значення нижньої межі робочого тиску в мембранному каналі апарату прийнято виходячи з результатів попередніх досліджень та конструктивних особливостей експериментального обладнання.

Результати досліджень (рис. 3.3) показали, що проникність мембран МФК-2 при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії при швидкостях циркуляції 3,5-4,8 м/с дещо вище, ніж проникність мембран при мікрофільтрації очищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії. Таку відмінність можна пояснити наявністю в неочищеній в полі відцентрових сил олії відносно твердих частинок, які за своїм розміром відносяться до механічних домішок. Ці частки впливають на процес масообміну в примембранній зоні мікрофільтраційного апарату.

Слід зазначити, що для зразків як очищеної, так і неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії залежності $Q_1 = f_1(\Delta P)$ і $Q_2 = f_2(\Delta P)$ мають вигляд характерний для мембранного поділу білкових полідисперсних водних розчинів при сильній концентраційній поляризації. Отже, наявність складних білкових і фосфатидних фракцій у складі дисперсної фази може зумовлювати прояв ефекту концентраційної поляризації як для очищеної, так і неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії.

В ході експериментальних досліджень проводилися порівняльні аналізи основних фізико-хімічних показників неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії та отриманого з неї фільтрату (табл.3.4).

Таблиця 3.4 – Результати аналізу основних фізико-хімічних показників соняшникової олії

Найменування показників	Допустимі рівні, мг/кг не більше	Вихідна олія	Очищена олія
Кислотне число мг КОН/г не більше	4,0	4,7	3,6
Перекисне число мг ммоль/кг не більше	10,0	13,5	10,2
Масова частка вологи та летких речовин, % не більше	0,2	0,35	0,22
Масова частка не жиркових домішок, % не більше	не більше 0,2	1,75	0,1

Таким чином, експериментальні дослідження показали принципову можливість застосування мембран типу МКФ-2 для мікрофільтраційного поділу неочищеної в полі відцентрових сил олії. При цьому робочий тиск у мембранному каналі не повинен перевищувати $\Delta P=0,65$ МПа.

Як уже зазначалося, крім величини робочого тиску іншим важливим параметром процесу мікрофільтрації є швидкість циркуляції системи, що розділяється, в мембранному каналі апарату. Тому, визначивши верхню межу робочого тиску необхідно встановити діапазон швидкостей циркуляції, при якому досягається максимальна проникність мембрани Q для неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії. Результати експериментального дослідження залежності проникності Q та селективності ψ мембрани МФК-2 від швидкості циркуляції V при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії представлені на рисунку 3.4. Як видно з наведених даних проникність Q мембрани зростає прямо пропорційно до збільшення швидкості циркуляції неочищеної у полі відцентрових сил соняшникової олії в мембранному каналі апарату. Однак швидкість збільшення $dQ/dV \rightarrow 0$ при досягненні значення $V = 5,0-5,5$ м/с в діапазоні робочого тиску $\Delta P = 0,4-0,65$ МПа. З цього випливає, що збільшення швидкості циркуляції призведе до додаткових енерговитрат при незначному збільшенні проникності мембрани, тобто фактично до недоцільних економічних витрат. Що стосується селективності мембрани, цей показник залишається в межах допустимого рівня

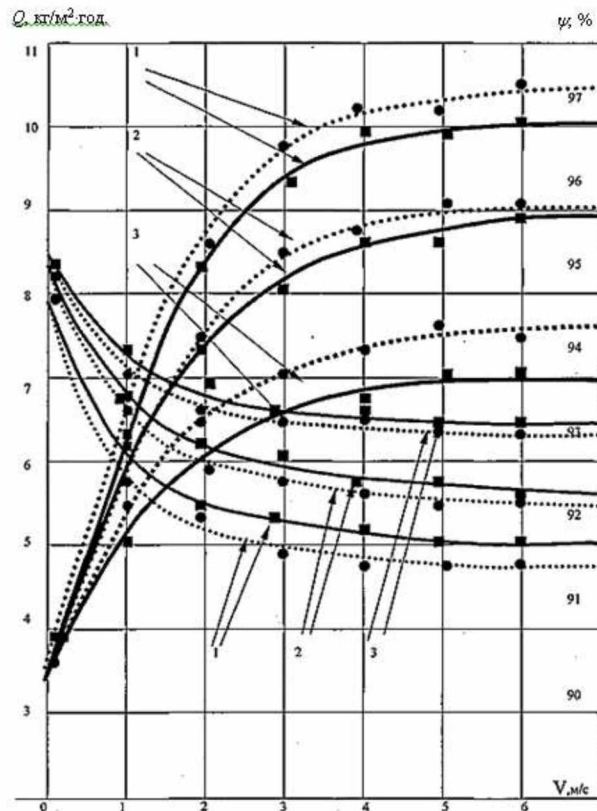


Рисунок 3.4 – Залежності проникності Q і селективності ψ мембрани від швидкості циркуляції очищеної (—) та неочищеної (---) в полі відцентрових сил соняшникової олії. Робочий тиск: 1 - $\Delta P = 0,65-0,67$; 2 - $\Delta P = 0,55-0,57$; 3 - $\Delta P = 0,45-0,48$ МПа

і не зменшується нижче 92%. Отримані результати можна пояснити наступним чином: порівняно більша швидкість збільшення проникності Q при зростанні параметра V пов'язана, перш за все, з тим, що при відсутності тангенціального потоку вздовж мембранної поверхні на ній формуються багат шарові відкладення частинок дисперсної фази, що частково або повністю перекривають порові канали. Міцність таких відкладень обернено пропорційна відстані відповідного шару від поверхні мембрани. Найміцніший примембранний шар утворюється за рахунок механічного забивання пор частинками дисперсної фази та сил міжмолекулярної взаємодії в системі «частка дисперсної фази – порова поверхня мембрани». Цей шар, який умовно можна назвати первинним, має найбільший опір потоку фільтрату через мембрану і під його ж дією додатково утримується в примембранній зоні [11,12]. Вторинний шар, також досить міцний, формується за рахунок сил

міжмолекулярної взаємодії в системі «частка дисперсної фази – поверхня мембрани» і частково між самими частинками. Обидва ці шари можуть бути видалені тільки шляхом миття та регенерації мембранної поверхні. А ось наступні шари відкладень закріплені вже значно слабкіше, оскільки сформовані виключно через взаємодію між частинками дисперсної фази [10]. З виникненням і подальшим збільшенням інтенсивності тангенціального потоку неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії вздовж мембранної поверхні відбувається руйнування спочатку найбільш віддалених від мембранної поверхні шарів відкладень, а потім близьких. Насамперед, це відбувається через механічну дію найбільших частинок дисперсної фази на ці шари. Однак енергії як цих частинок, так і самої частинки дисперсного середовища виявляється недостатньо для руйнування первинного та вторинного шарів відкладень. Тому швидкість циркуляції $V = 5,0-5,5$ м/с є граничною для руйнування віддалених від мембранної поверхні шарів відкладень і подальше її збільшення не призводить до суттєвого впливу частинок дисперсної фази на шари відкладень, що міцно сформувалися.

3.3 Дослідження залежностей проникності та селективності мембран від масової частки частинок дисперсної фази в пресовій соняшниковій олії та її температури при мікрофільтраційному поділі

Іншим важливим параметром процесу мікрофільтрації є температура середовища, що розділяється. Відомо, що чим нижче температура соняшникової олії, тим повільніше протікають у ньому окислювальні реакції і тим довше його термін зберігання. Однак при низьких температурах в'язкість олії може виявитися занадто високою для її мікрофільтрації. Для визначення прийняттого значення цього параметра досліджувалась отримана експериментальним шляхом залежність проникності Q та селективності мембрани МФК-2 від температури t °С при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії (рис. 3.5).

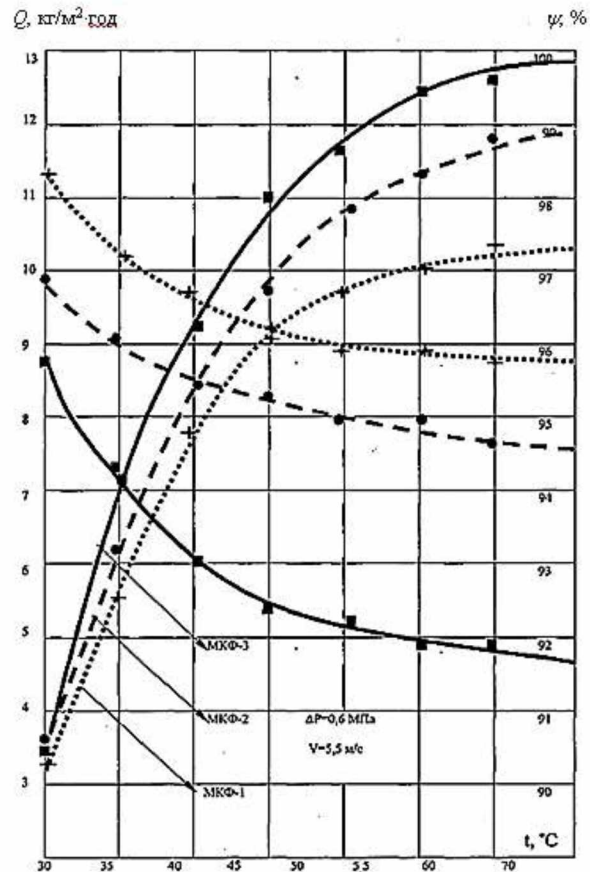


Рисунок 3.5 – Залежність проникності Q та селективності ψ мембрани МКФ-2 від температури t при мікрофільтрації неочищеної в полі віцентрових сил соняшникової олії

Наведені дані дозволяють зробити висновок про те, що в діапазоні $t = 55-60$ °C проникність мембрани ще не досягає максимально можливого значення. Однак селективне тіло вже знаходиться на мінімально допустимому рівні (92-93%) подальше збільшення температури, безсумнівно, призведе до збільшення проникності мембрани і падіння селективності до 90:-88%, що неприйнятно через зниження загальних показників якості фільтрату, особливо підвищення його кислотного числа. Отже, можна прийняти, що значення параметра $t = 55-60$ °C є граничним. Зниження температури неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії нижче $50-53$ °C може виявитися економічно недоцільним через зростання енерговитрат із-за необхідності збільшення робочого тиску та швидкості циркуляції в каналі мембранного апарату. Як уже зазначалося, частинки дисперсної фази неочищеної в полі відцентрових сил

соняшникової олії в процесі її мікрофільтрації грають двояку роль: з одного боку, їх найбільш дрібна фракція сприяє формуванню шару відкладень як у внутрішньопоровому просторі, так і в примембранній зоні. А з іншого боку наявність переважно порівняно великих частинок у тангенціальному потоці обумовлює його інтенсивну турбулізацію і руйнування вищевказаних відкладень. Для визначення раціонального значення вмісту частинок дисперсної фази в системі, що розділяється, нами була дослідним шляхом отримана залежність проникності Q і селективності мембрани МФК-2 від концентрації дисперсної фази при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії (рис. 3.6).

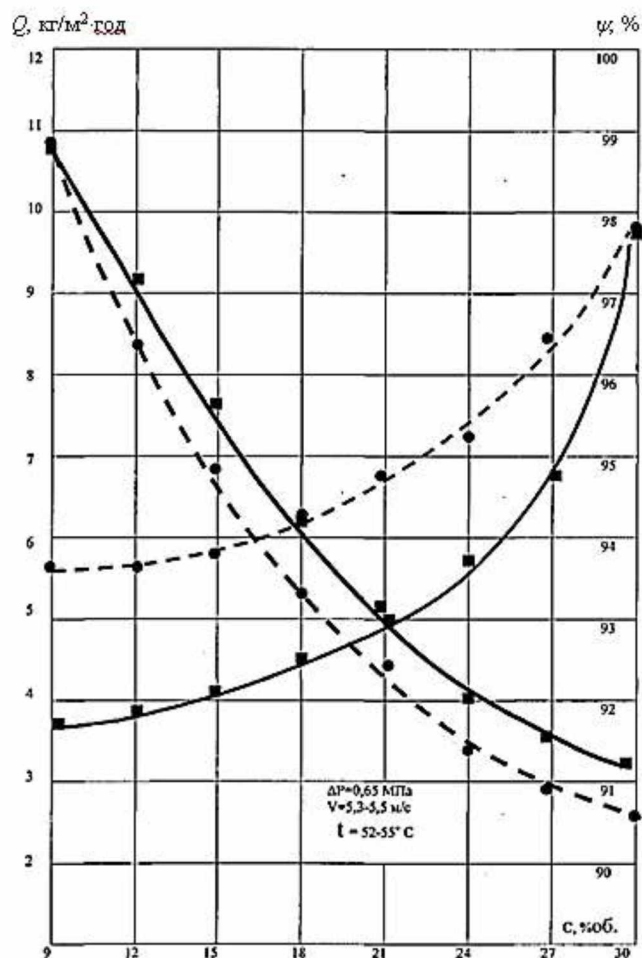


Рисунок 3.6 - Залежність проникності Q та селективності ψ мембрани МФК-2 від концентрації дисперсної фази C при мікрофільтрації очищеної (---) та неочищеної (—) в полі відцентрових сил соняшникової олії

Як видно з наведених графічних залежностей проникність мембрани Q зі збільшенням концентрації дисперсної фази при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії найінтенсивніше знижується до значення $C = 18-22\%$ об., Потім зниження йде монотонніше до досягнення $C = 26:29\%$ об., в діапазоні $C = 28-31\%$ об. проникність мембрани значно падає, а селективність наближається до 100%. Це можна пояснити тим, що на початковому етапі процесу йде формування стійких шарів відкладень. Потім настає стан, близький до рівноважного, тобто коли формування цих шарів та їх руйнація за рахунок механічної дії на них частинок дисперсної фази (і високого ступеня турбулізації потоку) починають суттєво компенсувати один одного. І, нарешті, відбувається значне збільшення концентрації частинок в при мембранній зоні апарату і майже повне блокування порових каналів. Остання обставина опосередковано підтверджується високим показником селективності мембрани, що значно перевищує стандартне значення, яке задається при її виготовленні. Очевидно, що виходячи з цих міркувань граничним значенням концентрації дисперсної фази в системі, що розділяється, при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії слід вважати 27-29% об.

3.4 Дослідження проникності та селективності мембран типу МКФ-2 в залежності від схеми роботи мікрофільтраційної установки

Проведені на мікрофільтраційній установці експериментальні дослідження дозволили підтвердити та уточнити результати розрахунку діапазонів області оптимальних параметрів процесу мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії. Однак необхідно відзначити, що вплив концентрації частинок дисперсної фази в системі, що розділяється, визначено неоднозначно. З одного боку наявність деякої їх кількості сприяє підвищенню проникності мембран, з другого, як це видно із залежностей представлених на рисунку 3.6 із збільшенням C значення Q падає до зупинки процесу, тобто фактично повної закупорки порових каналів. У

зв'язку з цим були проведені експериментальні дослідження процесу мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії при напівперіодичній схемі роботи установки. Суть такої схеми полягає в наступному: з початком процесу мікрофільтрації з усього об'єму олії, що знаходиться у вихідній ємності та контурі мікрофільтраційної установки безперервно видаляється частина у вигляді фільтрату. Для того, щоб зберегти величину об'єму олії в системі у вихідну ємність 1 (рис. 2.3, підрозд.2.2) безперервно подається свіжа олія 11 у кількості, що дорівнює об'єму (або більше) фільтрату, який виводиться. В результаті відбувається розведення концентрату і процес мікрофільтрації ведеться при більш низькому значенні концентрації дисперсної фази C у порівнянні з періодичною роботою установки, що дозволяє підтримувати проникність мембрани на більш високому рівні в порівнянні з періодичною схемою роботи установки.

У ході цих досліджень визначалася об'ємна витрата фільтрату при $\Delta P=0,4-0,65$ МПа, $t=52-55^\circ\text{C}$. Отримані результати, оброблені методом математичної статистики, представлені у вигляді графіка на рисунку 3.7, з якого видно, що при постійних значеннях ΔP і $t^\circ\text{C}$ швидкість циркуляції впливає на проникність мембрани Q ($\frac{dQ}{dV} > 0$) до свого значення 4,8-5 м/с в мембранному каналі апарату. Подальше збільшення швидкості циркуляції практично не впливає на приріст Q ($\frac{dQ}{dV} > 0$). Однак, збільшення робочого тиску при постійній швидкості циркуляції супроводжується зростанням проникності у всьому діапазоні варіювання ΔP . При цьому відмічається тенденція до поступового зниження Q при однаковому кроці збільшення ΔP . Аналогічна картина спостерігалася і при здійсненні процесу мікрофільтрації за періодичною схемою роботи установки. Однак при концентрації дисперсної фази $C=28,4-29\%$ у разі здійснення напівперіодичної схеми проникність мембрани виявилася вище в середньому на 18% цього показника для періодичної схеми. Це можна пояснити тим, що інтенсивність формування шару відкладень на поверхні мембран залежить від швидкості збільшення

концентрації частинок дисперсної фази в системі, що розділяється, з одного боку, і швидкості циркуляції самої системи, що розділяється, в контурі мембранного апарату. При напівперіодичній схемі роботи установки за рахунок розведення системи, що розділяється, збільшення концентрації відбувається повільніше і тангенціальний потік частинок, що рухаються вздовж мембранної поверхні, більш інтенсивно перешкоджає формуванню шару відкладень.

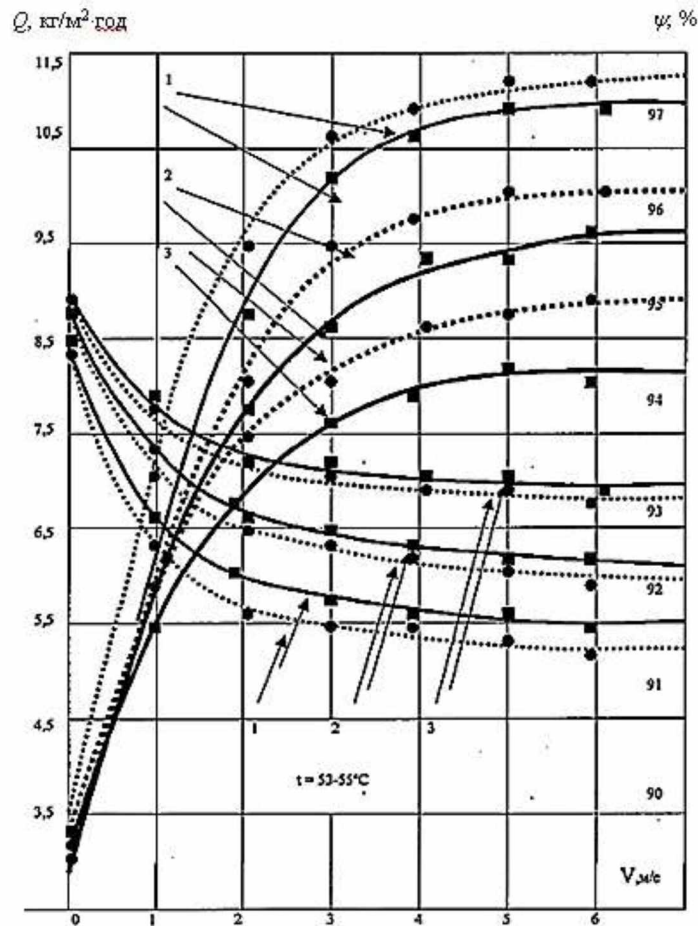


Рисунок 3.7 – Залежність проникності Q та селективності ψ мембрани МКФ-2 від швидкості циркуляції неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії по періодичній (—) та напівперіодичній (---) схемах роботи установки

Графічний аналіз залежностей (рис.3.7) проникності Q і селективності мембрани ψ МФК-2 від швидкості циркуляції системи V , що розділяється, дозволяє вважати, що область оптимальних значень ΔP і V може бути обмежена діапазонами $\Delta P = 0,55-0,6$ МПа і $V=4,5-5$ м/с. Такі діапазони ΔP і V повинні відповідати вимогам оптимального поєднання проникності Q і селективності ψ

мембрани МФК-2 для напівперіодичної схеми роботи установки. Вигляд отриманих кривих, що виражають залежність $Q=f_1(V)$ та $\psi=f_2(V)$ вказує на те, що проникність Q та селективність ψ мембрани МФК-2 багато в чому визначається тривалістю процесу мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії. У зв'язку з цим нами також були проведені дослідно-експериментальні дослідження залежності проникності Q і селективності ψ мембрани від часу процесу при постійних значеннях робочого тиску ΔP , швидкості циркуляції V і температури t неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії. Швидкість циркуляції становила $V=4,5-5,0$ м/с, тиск $\Delta P = 0,58-0,6$ МПа, температура $t=53-55^\circ$. Очевидно, що подальше збільшення величини робочого тиску в каналі мембранного апарату, швидкості циркуляції неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії, що розділяється, і її температури призведе до зростання питомих енерговитрат. Крім того, підвищення температури неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії з одного боку призведе до інтенсифікації незворотних хімічних перетворень в ній, а з іншого можливо вимагатиме застосування спеціальних термостійких матеріалів для виготовлення допоміжного мембранного обладнання. Отже, визначені значення основних параметрів процесу мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії можна вважати граничними.

У ході експериментальних досліджень визначали проникність Q та селективність ψ мембрани через кожні 0,5 години роботи апарату. Після 7-7,5 годин роботи установку зупиняли, кілька разів промивали низькомолекулярним розчинником протягом 30 хвилин до появи на вихідному колекторі чистого розчинника. Потім проводили миття та санобробку обладнання протягом 30 хвилин. Після 16-ти годинної перерви повторно проводили мікрофільтрацію неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії протягом 7-7,5 годин. Отримані результати представлені на рисунку 3.8. Результати дослідження показали, що у разі здійснення періодичної схеми

мембранного поділу неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії зменшення проникності та підвищення значення селективності мембрани МФК-2 відбувається швидше в порівнянні з напівперіодичною схемою. З наведених на рисунку 3.8 даних видно, що швидкість зниження проникності

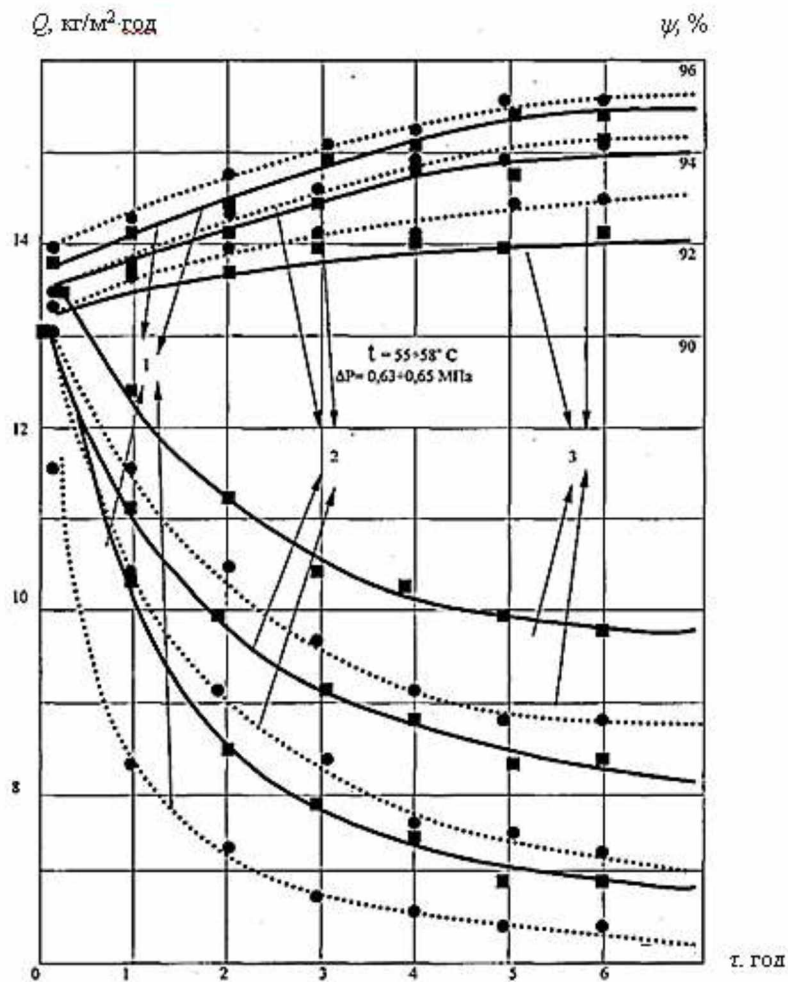


Рисунок 3.8 – Залежність проникності Q та селективності ψ мембрани МФК-2 від тривалості процесу τ мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії по періодичній (---) та напівперіодичній (—) схемах роботи установки. Швидкість циркуляції в каналі апарата: 1 – 3,5-3,7 м/с; 2 – 4,5-4,7 м/с; 3 – 5-5,2 м/с

мембрани $dQ/d\tau$, яка може характеризуватись величиною тангенса кута нахилу дотичної лінії графіка у відповідній точці, в період, який прийнято вважати процесом поділу, для напівперіодичної схеми нижче в середньому на 18 - 20% порівняно з періодичною. Однак швидкість збільшення селективності

мембрани dy/dt практично постійна як для напівперіодичної, так і для періодичної схеми роботи мікрофільтраційної установки.

При цьому треба відзначити, що показник селективності при періодичній схемі мембранного поділу дещо вище. Аналіз даних рисунку 3.8 дозволяє вважати, що експлуатація мікрофільтраційної установки по напівперіодичній схемі, може збільшити час безперервної роботи в середньому на 40-50% у порівнянні з періодичною. Таку різницю можна пояснити виходячи з наступного: при мікрофільтрації рідкої полідисперсної системи у відповідності з технологічним регламентом напівперіодичної схеми проведення процесу здійснюється постійна подача системи, що розділяється, в кількості, яка дорівнює об'єму відведеного фільтрату. Отже, швидкість зростання концентрації частинок дисперсної фази в каналі мембранного апарату протягом всього часу проведення процесу буде змінюватися. Тобто процес ведеться при зниженому значенні C і відповідно процес накопичення частинок на поверхні мембрани проходить повільніше. Що стосується відмінності в селективності, то, швидше за все, це пов'язано з тим, що постійне збільшення концентрації частинок дисперсної фази C в примембранній зоні сприяє інтенсифікації процесу формування відкладень в порових каналах.

Результати мікроскопічних досліджень різних ділянок поздовжнього розрізу трубчатої мембрани марки МКФ-2 представлені на рисунках **A1-A4 додатку А**. Як видно на приведених фотографіях інтенсивність шару відкладень на стінках порових каналів мембрани у випадку її експлуатації в напівперіодичному режимі нижче, ніж у періодичному. Це дає підставу стверджувати, що експлуатація мікрофільтраційної установки протягом певного періоду часу по напівперіодичній схемі, яка передбачає безперервне введення системи, що розділяється, в мембранний канал апарату і одночасне відведення такої ж кількості фільтрату з нього, дозволить підвищити середнє за цикл роботи значення проникності мембрани при збереженні прийнятного значення її селективності.

Реалізація напівперіодичної схеми роботи мікрофільтраційної установки дозволить його вести процес поділу неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії зниженій її в'язкості в каналі мембранного апарату, а значить і в примембранній зоні. Це покращить відвід частинок дисперсної фази від поверхні мембрани в ядро циркулюючого потоку, а значить, сприятиме збільшенню проникності мембрани.

Як видно з рисунку 3.9 залежність проникності мембрани МКФ-2 від тиску при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії для напівперіодичної (напівбезперервної) (1) схеми проведення процесу відповідає розрахунковим даним (2).

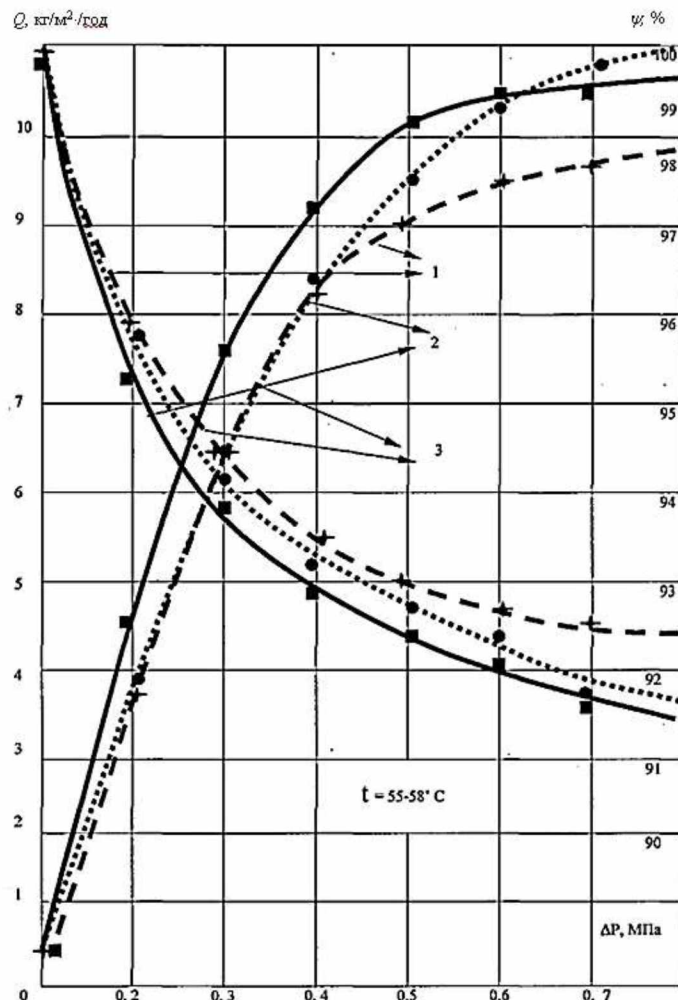


Рисунок 3.9 – Залежності проникності Q та селективності ψ мембрани МКФ-2 від величини робочого тиску при мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії для періодичної (1) та напівперіодичної (2) схем проведення процесу, (3) – розрахункова крива

Дослідження якісних показників фільтрату олії (табл.А1 додатку А), отриманого по періодичній (фільтра 2) та по напівперіодичній (фільтрат 1) схемах роботи мікрофільтраційної установки показало, що вони цілком зіставні.

3.5 Модернізована технологічна схема виробництва та первинного очищення соняшникової олії

Аналіз літературних даних і результати власних досліджень дозволяють удосконалити існуючі малотоннажні технології виробництва соняшникової олії [1,14,15,17] на основі застосування процесу мембранного мікрофільтраційного очищення. Технологічні лінії з виробництва пресової олії, при відомих перевагах мають ряд недоліків. Основним з них можна вважати невисоку якість готового продукту. Пресова олія, одержувана за допомогою традиційного обладнання, піддається механічному очищенню на фільтр-пресах різної продуктивності. Однак тупиковий тип фільтрації і відповідні фільтрувальні матеріали не дозволяють отримати пресову олію з вмістом масової частки нежирових домішок нижче 0,25-0,3 %. Це в свою чергу веде до значного підвищення економічних витрат на її рафінацію. Крім того, продуктивність екструдер-преса і фільтр-преса не завжди відповідають належним чином один одному. З цієї точки застосування мембранних мікрофільтраційних установок дозволяє усунути зазначені недоліки. Використовуючи модульний принцип компонування мембранного обладнання (рис. 3.10) можна отримати практично будь-яку величину продуктивності мікрофільтраційної установки. Це і забезпечує можливість узгодження продуктивності обладнання, призначеного для пресового вилучення олії з відповідним показником мембранної мікрофільтраційної установки, призначеної для її очищення. Крім того, слід зазначити, що мембранний спосіб очищення з використанням мікрофільтраційних мембран дозволяє отримати фільтрат соняшникової олії із вмістом масової частки нежирових домішок до 0,07- 1%. Це не тільки підвищує

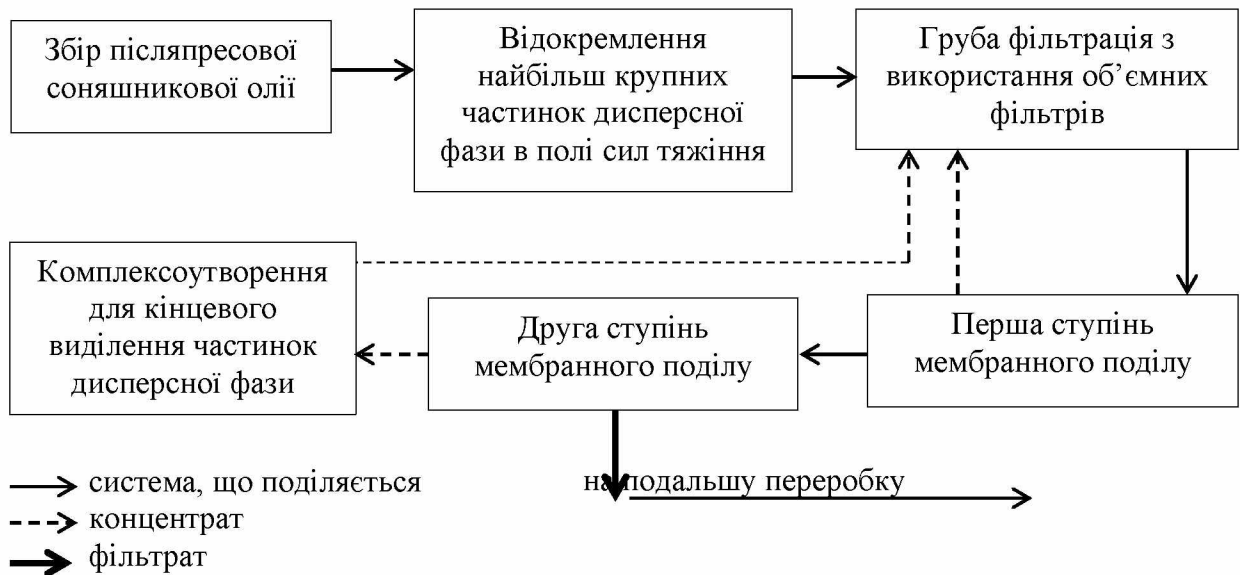
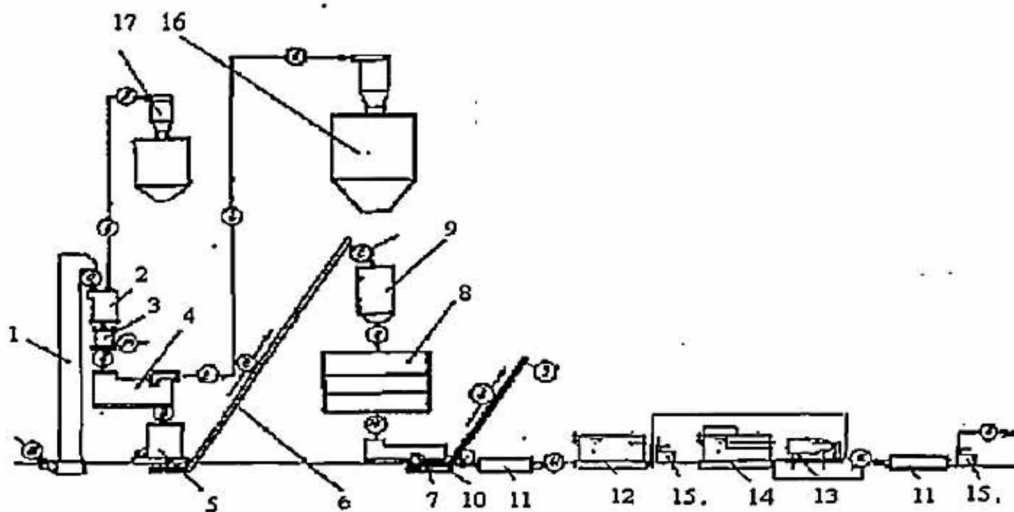


Рисунок 3.10 - Принципова структурна схема модернізованої технологічної лінії виробництва соняшникової олії із застосуванням мембранного способу її поділу

якість пресової товарної олії, а й значно зменшує витрати на її рафінацію. Принципова схема модернізованої технологічної лінії виробництва та очищення соняшникової олії представлена на рисунку 3.11.



1 – елеватор; 2 – сепаратор; 3 – колонка магнітна; 4 – машина рушально-віяльна; 5 – верстат вальців; 6, 10 – конвеєри скребкові, ланцюгові; 7 – прес; 8 – жаровня; 9 – накопичувач; 11 – бак; 12 – гущевловлювач; 13 – центрифуга НОГШ-325; 14 – мембранна мікрофільтраційна установка; 15 – насос; 16 – бункер для пилу; 17 – бункер для лущиння

Рисунок 3.11 – Схема модернізованої технологічної лінії виробництва та первинного очищення соняшникової олії

Висновки. В результаті досліджень обґрунтований вибір керамічної трубчатої мембрани типу МКФ-2.

Встановлено, що на проникність і селективність трубчастих керамічних мембран типу МКФ-2 в основному впливає робочий тиск у каналі мембранного апарату ΔP і швидкість циркуляції потоку олії V , що розділяється. При цьому діапазон температури пресової олії обмежується технологічним регламентом його виробництва. Тривалість процесу мікрофільтрації пов'язана з концентрацією частинок дисперсної фази в системі, що розділяється, і визначається періодичністю режиму роботи мембранної установки.

Визначені оптимальні значення робочого тиску у каналі мембранного апарату та швидкість циркуляції потоку олії, що розділяється: $\Delta P=0,58-0,6$ МПа, $V = 4,5-5$ м/с.

Запропонована модернізована технологічна лінія виробництва та первинного очищення соняшникової олії із застосуванням мікрофільтраційної установки. Мембранний спосіб очищення з використанням мікрофільтраційних мембран дозволяє отримати фільтрат соняшникової олії із вмістом масової частки нежирових домішок до 0,07- 1%. Це не тільки підвищує якість пресової товарної олії, а й значно зменшує витрати на її рафінацію.

4 РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

Рекомендовано застосування в технологічних лініях виробництва та первинного очищення сояшникової олії мікрофільтраційної установки, що дозволяє не тільки підвищити якість пресової товарної олії, а й значно зменшити витрати на її рафінацію.

4.1 Екологічна експертиза

Завданням законодавства про екологічну експертизу є регулювання суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян і держави [21].

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єкта.

Основними завданнями екологічної експертизи є:

- 1) визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності;
- 2) організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;
- 3) встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм і правил;
- 4) оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища, здоров'я людей і якість природних ресурсів;

5) оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього середовища і здоров'я людей;

б) підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Охорона навколишнього середовища і раціональне використання її ресурсів в умовах бурхливого зростання промислового виробництва стала однією з найактуальніших проблем сучасності.

Рідкі, тверді та газоподібні відходи завжди продукуються внаслідок процесів виробництва і повністю їх уникнути практично неможливо. Крім того, вони спричиняють забруднення довкілля і створюють екологічні проблеми, що також призводить до значної втрати придатних для використання матеріалів та енергії і вимагають додаткових коштів на проведення контролю відходів і вирішення екологічних проблем, тобто очищення забруднених територій і повітря.

Попередження забруднень включає заходи, спрямовані на зниження кількості забруднення з його джерела або інші заходи, які зменшують кількість або усувають повністю появу забруднюючих речовин до того, як вступають в дію інші заходи по управлінню відходами.

Технології зменшення відходів повинні бути ключовим компонентом будь-якої рентабельної, досконалої програми виробництва. Ці складові виробничих процесів не обов'язково повинні базуватися на високих технологіях або потребувати значних капіталовкладень. Технології зменшення відходів можуть і повинні бути застосовані до будь-якого процесу, від найпростішого до складних виробничих процесів.

Шляхи зменшення відходів у переробній галузі можуть бути поділені на 4 основні групи:

- 1) управління використанням сировини і матеріалів;
- 2) модифікація і вдосконалення процесів виробництва;
- 3) зменшення об'ємів відходів;
- 4) утилізація відходів.

Для будь-якого виробництва першим кроком процесу вдосконалення операцій для мінімізації відходів є оцінка наявного виробничого процесу з метою виявлення шляхів вдосконалення його ефективності. Огляд повинен включати всі складові виробничого процесу, від поставки сировини через виробництво до зберігання готової продукції.

Засоби зменшення кількості шкідливих відходів:

- зменшення кількості відходів на джерелі, де вони продукуються, через зменшення кількості матеріалів, які використовуються для виробництва, їх заміну, внесення змін до виробничих процесів чи їх заміну більш екологічно безпечними, внесення змін до виробничого ланцюга. Необхідно визначити, на якому з етапів виробничого процесу продукуються шкідливі відходи, прослідкувавши виробничий процес в зворотному порядку від стадії обробки відходів;

- повторне використання у виробничому процесі: з усієї кількості отриманих відходів відділяється сировина, яка повертається на використання у цьому ж процесі. В межах підприємства відділяються ті, які мають певну цінність і можуть бути використані для інших галузей чи підприємств;

- замкнений цикл – ідеальна ситуація, коли всі відходи виробництва в повному обсязі повторно використовуються в цьому ж процесі;

- нульові викиди – ситуація, при якій у всіх відходах певного виробництва вміст шкідливих речовин нижчий від тих, які можна зареєструвати наявними засобами аналітичного контролю;

- реєстр токсичних речовин – підприємства повинні подавати відомості про викиди та транспортування з підприємств токсичних речовин і ця інформація повинна бути доступна для громадськості;

- засоби мінімізації шкідливих відходів обов'язково повинні передбачати постійний аналітичний контроль виробничих відходів. В ідеалі корисним є такий контроль на вході і виході кожного окремого технологічного процесу, а не загальний «контроль на виході», в якому основна увага приділяється обробці викидів підприємств, а не превентивним заходам;

- продукти, які є відходами одного виробничого процесу, відділяють і вони можуть служити сировиною для інших виробничих процесів.

4.2 Охорона праці

Перехід суспільства до широкого використання ринкових відносин, виникнення різноманітних форм власності потребують розроблення нових підходів до побудови сучасної моделі управління охороною й безпекою праці на національному, регіональному й виробничому рівнях. У суспільстві із соціально орієнтованою економікою охорона праці має бути одним з найважливіших завдань соціально-економічної політики як держави, так і кожного підприємства та організації.

Проте нинішній рівень науково-технічного прогресу та соціально-економічні орієнтири розвитку сучасного суспільства не спроможні створити сприятливі умови для забезпечення добробуту людини, збереження її здоров'я. Особливо гостро ця проблема постає на виробничих підприємствах, де зберігається переважно застаріла матеріально-технічна база виробництва при незадовільних обсягах фінансування заходів з охорони праці. Усе це призводить до високого рівня травматизму і, як наслідок, до збільшення витрат підприємства та держави на виплати й компенсації потерпілим. Тому вкрай необхідним є вдосконалення системи охорони праці як важливого фактора підвищення ефективності виробництва на підставі детального дослідження економічних і соціальних її аспектів

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Охорону праці і здоров'я громадян віднесено до пріоритетних напрямків соціальної політики України [22].

Домінуючими причинами формування несприятливих умов праці залишаються недосконалі технології, машини і механізми, їхня несправність,

невикористання засобів захисту, порушення правил техніки безпеки, режимів праці і відпочинку.

Охорона парці в умовах сільськогосподарського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

В роботі проводилися дослідження технологічного процесу очищення нерафінованої соняшникової олії. Розглянемо вимоги безпеки при виробництві соняшникової олії.

До роботи, ремонту та технічного обслуговування допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли навчання, відповідний інструктаж по охороні праці, про що повинен бути зроблений запис в журналі обліку з охорони праці.

Щоденно необхідно візуально перевіряти справність контуру заземлення.

Вмикання електродвигуна здійснюється через апарат теплового захисту.

Всі роботи по обслуговуванню та усуненню несправностей шнекового прес-екструдера проводять на непрацюючій установці при вимкненому двигуні.

З метою запобігання термічних опіків забороняється братися руками за ці нагріті елементи конструкції та підставляти руки під стікаючу олію. Не допускати розтікання олії.

Якщо не можливо припинити подачу електроенергії, то допускається розрив електричних ланцюгів особам в захисних окулярах, діелектричних рукавицях та в гумовому взутті чи стоячи на ізоляційній підставці.

Усі захисні засоби при прийманні їх в експлуатацію перевіряють, а потім періодично проводять контрольні випробування на напругу, величина якої не менше ніж в 3 рази перевищує робочу напругу мережі.

Перевірку справності заземлення на електроустановках з напругою до 1000В проводять не рідше 1-го разу на рік з чергуванням: один рік - літом при

найбільшому просиханні ґрунту, другий рік - взимку, при найбільшому промерзанні ґрунту.

Забороняється виконувати роботу по ремонту та монтажу обладнання, якщо воно знаходиться в при піднятому стані.

До навантажувально-розвантажувальних робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження. Завантаження, розвантаження і переміщення важких та громіздких вантажів необхідно здійснювати під керівництвом спеціально визначеної особи.

Виконання вимог безпеки сприяє зниженню травматизму до мінімуму.

З метою запобігання виробничого травматизму необхідно посилити контроль за дотриманням вимог безпеки при виконанні робіт; проводити своєчасне навчання з питань охорони праці; поновляти засоби колективного захисту, забезпечувати працюючих засобами індивідуального захисту; проводити своєчасно медичні огляди; застосовувати штрафні санкції за порушення вимог безпеки.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

У існуючих промислових технологіях виробництва та первинного очищення соняшникової олії використовуються процеси відстоювання, центрифугування та фільтрації. Така технологія продуктивністю 1000 кг у зміну обрана як базовий варіант для проведення техніко-економічної оцінки технології первинного очищення післяпресової олії. Рекомендованою до впровадження у виробництво та первинного очищення післяпресової соняшникової олії є технологія заснована на застосуванні мембранного мікрофільтраційного обладнання. Для впровадження запропонованого варіанту необхідно в цеху виробництва олії передбачити установку для мембранної мікрофільтрації.

Визначимо капіталовкладення в мікрофільтраційну установку, які включають витрати на придбання деталей, доставку й монтаж, які розраховуються за формулою:

$$K = B_d + B_{тр} + B_{зп} + B_{з.в} + B_{з.г} \quad (4.1)$$

де B_d – вартість деталей та покупних виробів, грн;

$B_{тр}$ – транспортно-заготівельні витрати (20% від вартості покупних деталей та матеріалів), грн;

$B_{зп}$ – витрати на оплату праці при виготовленні деталей установки, грн;

$B_{з.в}$ – загальновиробничі витрати, грн;

$B_{з.г}$ – загальногосподарські витрати, грн.

Витрати на оплату праці при виготовленні деталей визначаються за формулою:

$$B_{зп} = ОП_{тар} \cdot \alpha_{п} \cdot \alpha_{дод} \cdot \alpha_{відр}, \quad (4.2)$$

де $ОП$ – оплата праці, $ОП = T_m \cdot \tau$,

T_m – трудомісткість робіт, люд.-год.; τ –годинна тарифна ставка, грн;

$\alpha_{п}$ – коефіцієнт, що враховує премії за фондом оплати праці (1,2...1,4);

$\alpha_{дод}$ – коефіцієнт, враховує розміри додаткової оплати праці (1,12...1,16);

$\alpha_{відр}$ – коефіцієнт, що враховує відрахування на всі види страхування (1,26).

Загальновиробничі витрати визначаються у відсотках від оплати праці на виготовлення установки:

$$B_{з.в} = \frac{ОП_{тар} \cdot \mu_{зв}}{100}, \quad (4.3)$$

де $\mu_{зв}$ – відсоток загальновиробничих витрат (10-15%).

Загальногосподарські витрати:

$$B_{з.г} = \frac{ОП_{тар} \cdot \mu_{зг}}{100}, \quad (4.4)$$

де $\mu_{зг}$ – відсоток загальногосподарських витрат (15-20%).

Експлуатаційні витрати в розрахунку на річний обсяг олії, що очищається, представляють собою прямі поточні витрати, які обчислюються за формулою:

$$B_{ек} = Z_p + A + B_p + B_{ел} + B_{ін}, \quad (4.5)$$

де Z_p – річний фонд заробітної плати, грн;

A – амортизаційні відрахування, грн;

B_p – витрати на ремонт та техобслуговування, грн;

$B_{ел}$ – річні витрати на електроенергію, грн;

$B_{ін}$ – інші витрати, грн.

Річний фонд заробітної плати обслуговуючого персоналу розраховується за такою формулою:

$$Z_p = (T_p \cdot \tau) \cdot \alpha_{п} \cdot \alpha_{дод} \cdot \alpha_{відр}, \quad (4.6)$$

де T_p – трудомісткість операції по очищенню рослинної олії, люд.-год.

Амортизаційні відрахування визначаються за формулою:

$$A = \frac{KN_a}{100}, \quad (4.7)$$

де K – балансова вартість (капіталовкладення) обладнання, грн;

N_a – норматив річних амортизаційних відрахувань по обладнанню, визначається:

$$N_a = \frac{1}{B} 100, \quad (4.8)$$

де B – термін служби установки, років.

Відрахування на ремонт та технічне обслуговування визначають за виразом:

$$B_p = \frac{KN_p}{100}, \quad (4.9)$$

де N_p – норматив річних відрахувань на ремонт та технічне обслуговування (за усередненими даними бухгалтерської звітності за останні 3 року становить 12%).

Витрати на спожиту електроенергію визначаються за формулою:

$$B_{ел} = \frac{T'_p N_{цел}}{ккд}, \quad (4.10)$$

де T'_p – річний час роботи обладнання на виконання технологічного процесу очищення олії, год.;

N – потужність обладнання, кВт;

$Ц_{ел}$ – вартість 1 кВт год. електроенергії, грн;

ккд - коефіцієнт корисної дії електродвигуна, ккд = 0,98.

Інші прямі витрати розраховуються за формулою:

$$B_{\text{ін}} = (0,05 \dots 0,1) (B_{\text{зп}} + A + T_p + B_{\text{ел}}), \quad (4.11)$$

Річна економія від скорочення експлуатаційних витрат:

$$E_p = B_{e\tau} - B_{e.m.} \quad (4.12)$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_M}{E_p}. \quad (4.13)$$

Вихідні дані до розрахунку показників ефективності запропонованої установки представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.11 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності використання мікрофільтраційної установки

Показники	Умовні позначення	Значення
Витрати на деталі та інші покупні вироби, грн	B_d	33300
Трудомісткість робіт, люд.-год.:		
- токарних	T_M	80
- фрезерних		60
- монтажних		100
Годинна тарифна ставка, грн	τ	
- токаря		57,4
- фрезерувальника		65,5
- слюсаря		76,6
Норматив річних амортизаційних відрахувань, %	H_a	10,0
Норматив річних відрахувань на ремонт та техобслуговування, %	H_p	12,0
Потужність пропонованого обладнання, кВт	N	3,0
Вартість 1 кВт електроенергії, грн.	$C_{\text{ел}}$	1,68

Результати розрахунків економічного ефекту застосування мембранної олієочищувальної установки, що працює по напівперіодичній схемі, представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунків економічного ефекту від застосування мембранної олієочищувальної установки

Показники	Значення	
	традиційна технологія	мембранна установка
Капіталовкладення в обладнання, грн.	62000	33300
Річний час роботи обладнання на виконання технологічного процесу очищення олії, год.	1920	1920
Трудомісткість операцій по очищення олії, чол.-год./кг	0,019	0,019
Експлуатаційні витрати, грн:	204274	138081
- оплата праці	35624	27403
- амортизаційні відрахування	6193	3330
- витрати на ремонт та техобслуговування	7432	3996
- витрати на електроенергію	145165	96777
- інші витрати	9860	6575
Економічний ефект, грн.	-	66193
Термін окупності, років		0,5

Отже, річний економічний ефект 66193 грн отриманий за рахунок зниження експлуатаційних витрат, що підтверджує доцільність використання мікрофільтраційної установки в процесі очищення соняшникової олії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Експериментальним шляхом встановлено, що неочищена в полі відцентрових сил соняшникова олія є рідкою полідисперсною системою, що містить механічні та нежирові домішки у вигляді частинок рослинного походження із середнім умовним діаметром від 100 мкм до 300 мкм. Основну кількість таких домішок (50-55%) складають частинки діаметром 150 мкм. Оскільки геометричні параметри цих частинок здебільшого перевищують діапазон діаметрів пор (20-40 мкм) керамічної мембрани типу МКФ-2, то вони можуть бути відокремлені від дисперсійного середовища мікрофільтрацією.

2. Встановлено, що на проникність і селективність трубчастих керамічних мембран типу МКФ-2 в основному впливає робочий тиск у каналі мембранного апарату ΔP і швидкість циркуляції потоку олії V , що розділяється. При цьому діапазон температури пресової олії обмежується технологічним регламентом його виробництва. Тривалість процесу мікрофільтрації пов'язана з концентрацією частинок дисперсної фази в системі, що розділяється, і визначається періодичністю режиму роботи мембранної установки.

3. На основі розрахунків процесу мікрофільтрації неочищеної в полі відцентрових сил соняшникової олії визначені оптимальні значення робочого тиск у каналі мембранного апарату $\Delta P=0,58-0,6$ МПа і швидкості циркуляції потоку олії $V=4,45-5$ м/с.

4. Запропонована модернізована технологічна лінія виробництва та первинного очищення сояшникової олії із застосуванням мікрофільтраційної установки, яка забезпечує підвищення якості пресової товарної олії і значне зменшення витрати на її рафінацію.

5. Річний економічний ефект 66193 грн отриманий за рахунок зниження експлуатаційних витрат, що підтверджує доцільність використання мікрофільтраційної установки в процесі очищення соняшникової олії. А також за рахунок підвищення селективності мембран при очищенні олії підвищується якість готового продукту.