

УДК 664.857.022:663.81.05

№ держреєстрації 0120U105194

Інв. №

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002

тел. +38(057) 7003888 <http://btu.kharkov.ua>, [info@btu.kharkov.ua](mailto:info@btu.kharkov.ua)



ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ  
«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ МЕМБРАННОГО РОЗДІЛЕННЯ  
ПОЛІКОМПОНЕНТНИХ РІДИННИХ СИСТЕМ У ХАРЧОВІЙ  
ПРОМИСЛОВОСТІ»

(остаточний)

Керівник НДР

д.т.н., проф.

Г.В. Дейниченко

Рукопис закінчено 14 грудня 2022 р.

Результати цієї роботи розглянуто науково-технічною радою факультету переробних і харчових виробництв протокол №4 від 27.12.2022 р.

## СПИСОК ВИКОНАВЦІВ

Доктор технічних наук, доцент

І.В. Золотухіна

Кандидат технічних наук, доцент

З.О. Мазняк

Кандидат технічних наук, доцент

Д.В. Горелков

Кандидат технічних наук, доцент

Д.В. Дмитревський

Кандидат технічних наук, доцент

В.М. Червоний

Кандидат технічних наук, доцент

В.В. Гузенко

Здобувач СВО доктор філософії

В.І. Скринник

Здобувач СВО магістр

О.С. Гладкова

Здобувач СВО магістр

А.С. Ткачова

Здобувач СВО бакалавр

О.М. Кайданський

Здобувач СВО бакалавр

М.О. Василенко

Здобувач СВО бакалавр

І.О. Саранча

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 115 с., 8 табл., 40 рис., 64 джерел.

МЕМБРАННІ ПРОЦЕСИ, ПЛОДОВО-ЯГІДНА СИРОВИНА,  
УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ СОКІВ, ПЕКТИНОВІ РЕЧОВИНИ,  
ПЕКТИНОВИЙ КОНЦЕНТРАТ

Соки є важливим продуктом харчування, оскільки разом зі свіжими фруктами і овочами забезпечують людський організм набором всіх фізіологічно активних речовин – вітамінів, макро- і мікроелементів, поліфенолів і багатьох інших, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Однією з основних стадій процесу виробництва яблучного соку є стадія освітлення. Цей процес проводиться з метою колоїдної стабілізації продукту під час зберігання, а також для поліпшення споживчого виду продукту і його органолептичних властивостей. Для того щоб продукт відповідав міжнародним стандартам необхідно застосовувати сучасні технології та обладнання, які базуються на передових технологіях. До такого виду обладнання відносяться мембранні технології, які забезпечують більш високий вихід, поліпшення смаку, товарного вигляду і харчової цінності плодово-ягідних соків. При цьому зберігаються вітаміни, амінокислоти та інші біологічно активні компоненти. Це можливо за рахунок відмови від консервантів і стадії теплової стерилізації. Комбінування різних видів мембранних процесів дозволяє створювати енергоефективні технології концентрування соків і отримувати нові види продуктів.

На сьогодні основними етапами процесу одержання пектинових концентратів, що потребують удосконалення, є процеси концентрування і очищення одержаних пектинових екстрактів (ПЕ), що може бути вирішене залученням баромембранних методів обробки пектинових екстрактів.

Актуальним завдання є удосконалення процесу виробництва сухих пектинових концентратів шляхом комплексного використання мембранних

методів концентрування і очищення пектинових екстрактів, вирішення якої дозволить не тільки створити енергозберігаючий процес виробництва пектинових концентратів, але й розробити економічно високоефективне обладнання для його реалізації. Це дасть змогу впровадити одержані пектинові концентрати в розробку нових технологій оздоровчої кулінарної продукції.

*Метою досліджень* є інтенсифікація процесу розділення фруктових соків та удосконалення процесу виробництва сухих пектинових концентратів та його апаратурне оформлення

*Завдання дослідження:*

- провести аналітичні дослідження процесів розділення соку;
- провести дослідження тиску сировини на продуктивність мембрани;
- дослідити параметри роботи ультрафільтраційної установки;
- здійснити комплекс заходів для практичного впровадження розробки у навчальний процес;

– дослідити процес ультрафільтраційного (УФ) концентрування та діалізаційного (ДФ) очищення пектинових екстрактів з використанням мембран типу ПАН в тупиковому режимі та режимі з вібраційним перемішуванням;

– проаналізувати чинники, що впливають на рівень концентраційної поляризації на поверхні мембран в процесі УФ-концентрування та ДФ-очищення ПЕ;

– встановити раціональні параметри технологічних режимів процесу УФ-концентрування та ДФ-очищення пектинових екстрактів з вібраційним перемішуванням вихідної сировини;

– визначити якісні показники одержаних пектинових концентратів;

*Об'єкт дослідження* – процес розділення плодового соку, баромембранні процеси концентрування і очищення пектинових екстрактів.

*Предмет дослідження* – плодовий сік, пектиновий екстракт, мембранні модулі з плоскими фільтрувальними елементами та продукти мембранної обробки пектинового екстракту – концентрат і пермеат.

*Теоретичне та практичне значення результатів дослідження:*

- проведені дослідження стосовно актуальності застосування процесу ультрафільтрації під час виробництва освітлених соків;
- визначені можливі технологічні схеми виробництва із застосуванням ультрафільтраційних мембранних апаратів, проведено аналіз виробництва соків, їх апаратурне оформлення, конструкцію, принцип дії, недоліки;
- обґрунтовано методи дослідження процесу ультрафільтрації, наведено опис досліджуваної сировини та запропонована апаратурно-технологічна схема її переробки;
- запропоновано технічну реалізацію процесу освітлення соків;
- науково обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність мембранної обробки ПЕ у режимі з вібраційним перемішуванням;
- встановлено вплив температури, тиску та тривалості процесу мембранного концентрування та очищення ПЕ на характеристики УФ-мембран типу ПАН;
- запропоновані математичні моделі процесів УФ-обробки ПЕ для визначення раціональних параметрів процесів на основі методів аналізу розмірностей та методу планування експериментів;
- визначено раціональні параметри і режими процесу УФ-концентрування і очищення ПЕ;
- встановлено фізико-хімічні показники якості кінцевого продукту – ПК за різних параметрів процесів обробки пектинвмісної сировини.
- визначено вплив вібраційного перемішування на продуктивність напівпроникних мембран типу ПАН за баромембранної обробки ПЕ;
- розроблено принципову схему технологічної лінії для виробництва сухих пектинових концентратів (пектину) з використанням розробленого обладнання.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ СОКІВ.....	12
1.1. Характеристика сировини для виробництва плодово-ягідних соків.....	12
1.2. Застосування ультрафільтрації для освітлення соків.....	14
2 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ КОНЦЕНТРУВАННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ПЕКТИНОВИХ ЕКСТРАКТІВ.....	37
2.1. Розділення пектинового екстракту.....	37
2.2. Очищення пектинового екстракту.....	38
2.3. Процес ультрафільтраційного концентрування пектинових екстрактів.....	40
2.4. Очищення пектинового концентрату діафільтрацією.....	43
3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	63
3.1. Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень процесу УФ-концентрування пектинових екстрактів.....	63
3.2. Одержання та обґрунтування основних науково-технічних результатів досліджень, їх аналіз з точки зору достовірності, наукової новизни та практичної цінності.....	82
3.3. Визначення пектинових речовин в концентратах.....	86
3.4. Удосконалення технологічної схеми одержання пектинового концентрату...87	
3.5 Розробка принципової схеми технологічної лінії з виробництва пектинових концентратів із пектинвмісної сировини.....	89
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ СОКІВ.....	93
4.1. Об'єкти та предмети дослідження.....	93
4.2. Методика та експериментальна установка для дослідження параметрів процесу ультрафільтрації плодових соків.....	93
4.3. Експериментальна установка для дослідження процесу ультрафільтрації соку.....	94
4.4. Дослідження процесу ультрафільтраційного освітлення плодового соку...95	

#### 4.5 Експериментальна установка для проведення мембранної обробки соку..100

ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	106
ДОДАТКИ.....	113



## ВСТУП

Переробка плодів та овочів є одним з головних напрямків харчової промисловості. Плодоовочева промисловість виконує одну з основних завдань з постачання населення продуктами харчування, які мають високу біологічну і харчову цінність, а також містять ряд незамінних для людини вітамінів і біологічно активних речовин. Одним з продуктів плодоовочевої промисловості є соки. Соки є важливим продуктом харчування, оскільки разом зі свіжими фруктами і овочами забезпечують людський організм набором всіх фізіологічно активних речовин - вітамінів, макро- і мікроелементів, поліфенолів і багатьох інших, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Однією з основних стадій процесу виробництва яблучного соку є стадія освітлення. Цей процес проводиться з метою колоїдної стабілізації продукту під час зберігання, а також для поліпшення споживчого виду продукту і його органолептичних властивостей. Для того щоб продукт відповідав міжнародним стандартам необхідно застосовувати сучасні технології та обладнання, яке базується на передових технологіях. До такого виду обладнання відносяться мембранні технології, які забезпечують більш високий вихід, поліпшення смаку, товарного вигляду і харчової цінності плодово-ягідних соків. При цьому зберігаються вітаміни, амінокислоти та інші біологічно активні компоненти. Це можливо за рахунок відмови від консервантів і стадії теплової стерилізації. Комбінування різних видів мембранних процесів дозволяє створювати енергоефективні технології концентрування соків і отримувати нові види продуктів. Застосуванням мікрофільтраційних і оберотноосмотичних процесів можна отримати продукти з регульованим мінеральним і вуглеводним складом. Одним із основних напрямків застосування мембран у виробництві соків є їх освітлення.

Освітлення соків здійснюється з метою руйнування колоїдної системи продукту, видалення високомолекулярних білкових, пектинових і поліфенольних речовин і мікроорганізмів. При цьому необхідною умовою є збереження біологічно активних і цінних компонентів – вітамінів, цукрів, мінеральних і ароматичних речовин, кислот. Традиційні технології виробництва соків передбачають фільтрацію свіжовіджатого соку через пористі перегородки з втратою частини цінних речовин, а також введення консервантів і застосування теплової стерилізації для забезпечення необхідних термінів зберігання. Застосування даних технологій не гарантує повного видалення частинок плодової м'якоті і отримання кінцевого продукту з високим рівнем органолептичних показників та харчової цінності. Деякі способи освітлення і стабілізації фруктових соків засновані на внесення до продукту сторонніх добавок, а саме – освітлюючих матеріалів. З освітлюючих матеріалів в сік часто переходить надмірна кількість мінеральних та інших речовин. Тривалість обробки соків відповідно до традиційної технології становить від 24 до 30 годин. Завдяки такому тривалому контакту продукту з киснем повітря виникають втрати частини біологічної цінності компонентів соку. Таке явище негативно позначається на якості готової продукції. Останнім часом широкого поширення набули мембранні методи розділення сумішей. Ці технології відрізняються простотою, економічністю і ефективністю. Мембранна фільтрація забезпечує поділ різних компонентів в потоці на основі розміру і форми мікрочастинок. При поліпшенні фільтрації, поліпшується якість і збільшується вихід готового продукту. Крім підвищення якості продукції, використання мембранних установок в складі технологічних ліній виробництва соків дає можливість поліпшення і економічних показників підприємств за рахунок спрощення складу ліній і зниження енергоємності процесів. Як показав аналіз літературних джерел, основними проблемами, що стримують широке застосування мембранних технологій у виробництві плодоовочевих і, зокрема, яблучних соків, є вельми висока вартість мембранних установок, зумовлена великою площею фільтрації, що компенсує зниження продуктивності через

відкладення осаду (гелю) на поверхні мембран. Вибір ефективних параметрів функціонування (мінімізують площу фільтрації і енергоємність процесу) проточних мікрофільтраційних установок безперервної дії ускладнюється відсутністю науково-обґрунтованих методик розрахунку, які враховували б нестаціонарність процесу, нелінійність реологічної поведінки середовищ і дозволяли здійснювати оптимальну компоновку мембранних модулів по східцях концентрування.

Несприятлива екологічна ситуація у світі, соціальні проблеми, стреси, уповільнений спосіб життя, шкідливі звички більшості населення України, призводять до зменшення опору організму впливу навколишнього середовища й зростанню кількості хронічних захворювань. Одним із способів вирішення цих проблем є введення в раціон населення пектинових речовин (ПР), що видобуваються з різноманітної плодоовочевої сировини.

Одним з головних напрямків підвищення ефективності сучасних харчових виробництв є створення маловідходних і енергозаощадних процесів, залучення в харчову промисловість вторинних сировинних ресурсів. Виробництво пектинових концентратів (ПК) відповідає цьому завданню, тому що, з одного боку, дозволяє залучати в обіг вторинну пектинвмісну сировину – буряковий, яблучний, цитрусовий жом, соняшникові корзинки, а з іншого боку – сприяє виробництву різноманітного асортименту пектинвмісних продуктів та кулінарної продукції на їх основі.

В останні роки потреба в пектинопродуктах (пектинових концентратах) значно перевищує обсяги їх закупівель за кордоном. В Україні на сьогоднішній день виробництво пектинопродуктів відсутнє.

Це можна пояснити недосконалістю та неефективністю існуючих процесів виробництва пектинових концентратів та обладнання для їх реалізації, відсутністю науково обґрунтованих ресурсозберігаючих процесів та технологій пектинового виробництва.

На сьогодні основними етапами процесу одержання пектинових концентратів, що потребують удосконалення, є процеси концентрування і

очищення одержаних пектинових екстрактів (ПЕ), що може бути вирішене залученням баромембранних методів обробки пектинових екстрактів.

Тому однією з актуальних задач є удосконалення процесу виробництва сухих пектинових концентратів шляхом комплексного використання мембранних методів концентрування і очищення пектинових екстрактів, вирішення якої дозволить не тільки створити енергозберігаючий процес виробництва пектинових концентратів, але й розробити економічно високоефективне обладнання для його реалізації. А це дасть змогу впровадити одержані пектинові концентрати в розробку нових технологій оздоровчої кулінарної продукції для реалізації на підприємствах ресторанного господарства.

## 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ СОКІВ

### 1.1. Характеристика сировини для виробництва плодово-ягідних соків

Соки є важливим продуктом харчування, так як поряд зі свіжими фруктами і овочами забезпечують людський організм набором всіх фізіологічно активних речовин – вітамінів, макро- і мікроелементів, поліфенолів і багатьох інших, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Однією з найважливіших стадій технологічного процесу виробництва яблучного соку є стадія освітлення, яка забезпечує поліпшення товарного вигляду й органолептичних властивостей продукту, а також його стабілізацію протягом часу зберігання. Традиційні методи виробництва передбачають фільтрацію свіжовіджатого соку через пористі перегородки з втратою частини цінних речовин, введення консервантів і застосування теплової стерилізації для забезпечення необхідних термінів зберігання. Дані технології не гарантують повного видалення частинок плодової м'якоті і отримання кінцевого продукту з високим рівнем органолептичних показників та харчової цінності. Відповідність міжнародним стандартам досягається

застосуванням; мембранних технологій, які забезпечують більш високий вихід, поліпшення смаку, товарного вигляду і харчової цінності плодово-ягідних соків (збереження вітамінів, амінокислот та ін. біологічно активних компонентів) за рахунок відмови від консервантів і стадії теплової стерилізації. Комбінування різних видів мембранних процесів (наприклад, мікрофільтраційних і зворотньоосмотичних) дозволяє створювати неенергоємних технології концентрування соків і отримувати нові види продуктів з мінеральним і вуглеводним складом, що регулюється

Поряд з підвищенням якості, використання мембранних установок у складі технологічних ліній виробництва соків дає можливість поліпшення і економічних показників підприємств за рахунок спрощення складу ліній і

зниження енергосмності процесів. Як показав аналіз літературних джерел,

основними проблемами, що стримують широке застосування мембранних технологій у виробництві плодоовочевих і, зокрема, яблучних соків, є вельми висока вартість мембранних установок, зумовлена великою площею фільтрації, що компенсує зниження продуктивності через відкладення осаду (гелю) на поверхні мембран. Вибір ефективних параметрів функціонування проточних мікрофільтраційних установок безперервної дії ускладнюється відсутністю науково-обґрунтованих методик розрахунку, які враховували б нестаціонарність процесу, нелінійність реологічної поведінки середовищ, які переробляються і дозволяли б здійснювати оптимальну компоновку мембранних модулів.

Найбільше значення для характеристики соку має аромат сировини, з якого він був отриманий, з одного боку в кількісному сенсі (обсяг, інтенсивність), а з іншого, в якісному (вид або сорт фруктів, чистота плодів). В рамках одного виду фруктів їх властивості можуть відрізнятися від сорту до сорту, що виражається в різній придатності для виробництва соків. В першу чергу різні сорти фруктів відрізняються один від одного властивостями і складом ароматоутворюючих речовин. Крім того, вони можуть сильно відрізнятися складом і вмістом інших з'єднань – цукрів, кислот, вітамінів, барвників. Таким чином можна отримувати сировину з необхідними характеристиками вже шляхом відбору певного сорту. Вимоги до сировини, призначеної для переробки, відрізняються від вимог до плодів і овочів для споживання в свіжому вигляді. Так, для переробки на сік можна використовувати плоди і ягоди з пошкодженнями шкірочки (плями, парша, опіки), розмір і форма плодів зазвичай не мають значення. З незрілих і недорозвинених плодів виходять соки недостатньої якості. Так, сік з таких фруктів при органолептичному аналізі отримує низьку оцінку аромату, ніж аналогічний сік з повноцінного сировинного матеріалу, зрілих і повністю розвинених плодів. В першу чергу це необхідно враховувати при отриманні рідкого концентрату ароматоутворюючих речовин з урахуванням його якості і кількості. Таким чином, переробка незрілих і недорозвинених фруктів погіршує

органолептичні властивості продуктів: соки з такої сировини мають менш насиченим смаком. Ці недоліки в смаку в більшості випадків є наслідком низького вмісту цукрів і екстракту – загального вмісту розчинних сухих речовин. Поверхня плодів фруктів не повинна бути забруднена різними домішками (землею, травою, листям), які легко і повністю можуть бути видалені за допомогою звичайного і щодо простого мийного обладнання. При машинному зборі плодів ступінь їх забрудненості, як правило, збільшується, що вимагає більш ретельного миття, оскільки залишаються чужорідні речовини при подальшому віджиманні якщо не повністю, то частково переходять в сік і при певних обставинах можуть забруднити його і зробити негативний вплив на органолептичні властивості. Незважаючи на мийку, з сировини в сік можуть потрапити мікроорганізми. Останні в разі недостатньо швидкої переробки сировини або при порушенні технології можуть негативно вплинути на якісні властивості соку, наприклад, викликати бродіння, утворення біогенних кислот, сторонніх-них запахів.

## 1.2. Застосування ультрафільтрації для освітлення соків

Для освітлення, стабілізації і концентрування соків, безалкогольних напоїв і вин використовують процеси зворотного осмосу, ультрафільтрації та електродіаліз. Мембранні процеси особливо доцільно використовувати у випадках, коли суміш, що розділяється містить лабільні речовини. Такими є найчастіше рідкі харчові середовища, наприклад, соки, екстракти, білкові розчини і т.д. Розробка мембранних процесів їх поділу дає можливість створювати принципово нові технологічні схеми і устаткування, для комплексної переробки рослинної сировини, знизити забруднення навколишнього середовища за рахунок застосування безвідходних технологій, а також отримувати харчові продукти з новими функціональними властивостями і високою харчовою цінністю. Мембранні процеси в технології виробництва фруктових соків в даний час використовуються в основному для їх освітлення і



концентрування. Свіжовіджати́й плодови́й сік являє собою складну колоїдну систему, утворену частинками рослинної тканини розміром  $1 \cdot 10^{-6}$  -  $1 \cdot 10^{-7}$  см, нерозчинними у воді. Крім частинок плодової тканини і м'якоті, соки містять дріжджові клітини, баластні домішки, які є причиною утворення помутнінь і опадів. Такі частинки в процесі зберігання соків агрегують і випадають в осад. Стійкість гетерогенній системі надають стабілізатори, що утворюють на поверхні частинок іонний або молекулярний адсорбційний шар. Наявність однойменного електричного заряду, а також гідратних оболонок перешкоджає агрегації частинок, що ускладнює процес самоосвітлення. Крім того, в соках містяться високомолекулярні сполуки складного хімічної будови, наприклад, пектинові і білкові, поліфенольні і фарбувальні, які також беруть участь в утворенні колоїдів. Оскільки поверхня розділу фаз в цьому випадку відсутня, то молекулярно-дисперсні системи, утворені цими біополімерами, відрізняються підвищеною стійкістю і оборотністю. Освітлення плодкових, спиртованих соків і вин пов'язано не тільки з видаленням зважених часток, але і частковим руйнуванням колоїдної системи, нестійкості при температурних коливаннях і при тривалому зберіганні. Колоїдну систему необхідно зруйнувати лише в такій мірі, щоб забезпечити швидку седиментацію зважених часток, хорошу фільтрованість соку і достатню стійкість відфільтрованого соку при його подальшому зберіганні. Освітлення повинне викликати коагуляцію необоротних колоїдів і в мінімальному ступені впливати на оборотні гідروفільні колоїди. Таким чином, в освітленому соку повинна залишатися велика частина природних сполук, зокрема, поліфенолів, білків, вітамінів, мінеральних речовин, що утворюють колоїдну систему і визначають багато в чому харчову та біологічну цінність продукту. Для видалення з соків нерозчинних зважених речовин, включаючи бактерії, гриби і дріжджі, вельми ефективно використання мікрофільтрації, при якій затримуються частинки аж до розмірів  $1 \cdot 10^{-7}$  нм, оскільки мікрофільтраційні мембрани мають високу продуктивність ( $3,6 - 20 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ), причому процес фільтрації протікає при малих тисках ( $0,01 - 0,05 \text{ МПа}$ ). Оскільки мікрофільтраційні мембрани

затримують бактерії, дріжджі і цвілеві гриби, то мікрофільтрацію використовують для холодної стерилізації пива, соків і інших рідких харчових середовищ, а також в мікробіологічному контролі харчових продуктів. На відміну від мікрофільтрації ультрафільтраційна обробка соків, пива, вин та інших харчових колоїдно-дисперсних середовищ дозволяє усувати з них не тільки нерозчинні, але і розчинні речовини, зокрема, пектин, крохмаль, білки, конденсовані форми поліфенолів. Ультрафільтраційне освітлення соків більш повне і ефективне, тому знаходить широке застосування в промисловості для освітлення і стабілізації якості яблучного, виноградного, вишневого, лимонного, апельсинового і інших соків.

При ультрафільтрації з яблучного соку видаляється 19 - 32% пектинових, 9,5 - 18,4% білкових з'єднань, 38,5 - 45% колоїдів. Видалення з яблучного соку високомолекулярних речовин в позначаються кількостях дозволяє отримувати освітлений сік з високими органолептичними та харчовими якостями. Після ультрафільтрації соків залишається деяка кількість опадів, що містять вичавки і частина соку, але процентне їх зміст дуже незначне в порівнянні з кількостями, які отримуються при класичному процесі обробки. Так, на 1 т соку при класичному процесі утворюється 468 дм<sup>3</sup> осаду, а при ультрафільтраційному освітленні - тільки 25 дм<sup>3</sup>. Порівняння якості готової продукції, отриманої при цих двох процесах обробки, дає можливість стверджувати, що при ультрафільтрації вміст корисних речовин в освітленому соку підвищується в середньому на 10%. Прозорість освітленого соку збільшується більш ніж в 10 разів. Важливим позитивним фактором ультрафільтраційного освітлення є і те, що мінеральний склад освітленого соку багатшими порівняно з виготовленим за традиційною технологією. Аналогічні результати отримані і при освітленні ультрафільтрацією виноградного соку. При цьому встановлено, що колоїдна система виноградного соку руйнується при більш значному освітленні, ніж яблучного. Це пояснюється тим, що в яблучному соку більше пектинових речовин, що утворюють відносно стабільну колоїдну систему, і менше білкових, поліфенольних і фарбувальних, які зменшують її стійкість. При

ультрафільтраційному освітленні мандаринового і апельсинового соку найбільша зміна зазнали каротиноїди, пектинові і білкові речовини. Очевидно, саме в зв'язку з цим спостерігається часткове зменшення щільності і в'язкості освітленого соку. Слід зазначити, що при ультрафільтрації, незалежно від типу мембрани, в соку практично руйнується колоїдна система, що складається з швидко мінливих форм поліфенолів, білково-пектинових частинок компонентів і зважених часток м'якоті, що гарантує стабільність мандаринового соку в процесі зберігання. Стабільними залишаються і основні хімічні показники соку: цукор, титруєма кислотність, рН і концентрація аскорбінової кислоти. Втрата при ультрафільтрації 30% речовин ароматичного комплексу, близько 20% флавоноїдів і 50% каротиноїдів, а також деяких амінокислот пов'язано з втратою їх у вигляді відфільтрованих опадів за рахунок механічних включень і адсорбції на колоїдних частинках опадів. При фільтрації апельсинового і мандаринового соків, спостерігається, що практично всі амінокислоти соку, що знаходяться у вільному стані, кількісно зберігаються при ультрафільтраційному освітленні. Таким чином, ультрафільтраційний процес освітлення мандаринового соку не знижує його харчову цінність, тому при його виготовленні можна рекомендувати мембранну технологію замість процесу освітлення пектолітичними ферментами, тепловою обробкою і сепаруванням. Мембранна ультрафільтрація практично не змінює кількісного вмісту спирту, цукру, летючих кислот, мінеральних речовин, а також титруєму кислотність і рН середовища. У той же час знижується вміст таких компонентів, як фенольні і азотисті речовини, що призводить до стабільності вин до білкових, оборотним і необоротних колоїдних помутнінь. Заслуговує на увагу вплив ультрафільтраційного процесу на регулювання змісту антоціанів та інших поліфенолів при отриманні з червоних сортів винограду вин з необхідною інтенсивністю забарвлення. Слід зазначити, що застосування ультрафільтрації в виноробстві дозволяє не тільки спростити деякі традиційні технологічні процеси, але і виключити використання обклеювальні матеріалів, забезпечуючи при цьому холодну стерилізацію виноматеріалів. У процесі ультрафільтрації

вина з нього видаляються також і частки рослинних тканин, дріжджі і гриби, що призводить до досить швидкого засмічення пір в мембранах і, природно, до зниження їх продуктивності. Тому в даний час, замість тупикової фільтрації на фільтр-пресах, використовується тангенціальна фільтрація, коли потік фільтрується рідини подається паралельно мембрані зі швидкістю 1,3-2,3 м / с, забезпечуючи самоочищення її поверхні, і тим самим зберігаючи продуктивність процесу на початковому рівні. Тангенціальна фільтрація дає можливість інтенсифікувати процеси освітлення соків і вин при використанні полімерних напівпроникних мембран. Французька фірма «ІМЕКО-Гетевей» вперше з метою освітлення соків і вин застосувала неорганічні мембрани для тангенціальною фільтрації. Використання їх при освітленні яблучного соку знижує його собівартість майже в 3 рази в порівнянні з висвітленням класичним способом.

Хороші результати для освітлення концентратів соків отримують і при використанні ультрафільтрації з мембранами різної конфігурації (пластини, порожні і трубчасті волокна). Висока продуктивність процесу зберігається до змісту в концентраті 35 - 55% сухих речовин. Якщо воно вище 55% на фільтрацію впливають несприятливі реологічні властивості концентратів, зокрема, легкість випадання опадів на поверхні мембран. В даний час різко збільшується споживання концентрованих соків, що характеризуються хімічної та мікробіологічної стабільністю. Вони є гарною сировиною для виробництва різноманітних відновлених фруктових, овочевих соків і сумішей, а так само безалкогольних напоїв. Концентрування фруктових і овочевих соків у багатьох відношеннях набагато складніше, ніж інших рідких продуктів, оскільки якість концентрату визначається не тільки фізичними, хімічними і біохімічними показниками, а й органолептичними. Необхідно враховувати високу чутливість фруктових соків і до термічній обробці. Навіть помірні (40 - 50 С) температури можуть викликати незворотні зміни компонентів соку. Якість концентрованого соку визначається, головним чином, його смаком і запахом, проте все ароматичні речовини його - леткі сполуки і в процесі випарювання можуть

загублені. Тому при технологічній переробці соків їх високі смакові якості будуть зберігатися лише при дотриманні наступних умов: низька температура і короткочасне перебування соку в усіх технологічних апаратах; вибіркоче видалення води, тобто всі компоненти за винятком води повинні зберігатися в концентрованому соку. Ці умови дотримуються і виконуються при концентруванні соків методом зворотного осмосу. Використання для цих цілей мембранного процесу краще, ніж випарювання або виморожування, оскільки процес протікає при кімнатній температурі, що різко знижує експлуатаційні витрати, а також зводить до мінімуму теплову і окислювальну деградацію продуктів, зберігаючи при цьому повний спектр речовин аромату соку. Так як осмотичний тиск фруктових соків досить висока, зокрема, при вмісті сухих речовин 10 - 12% воно становить 1,4-1,6 МПа, то зворотноосмотичного концентрування необхідно проводити при високому робочому тиску (6 - 12 МПа). Втрати інвертного цукру і органічних кислот з фільтратом не перевищують 6,5% в порівнянні з вихідним соком і, отже, метод зворотноосмотичного концентрування вельми ефективний для фруктових соків. Цей висновок підтверджується і при отриманні виноградного меду зворотноосмотичного концентрування виноградного суслу. Для цієї мети можуть бути використані ацетатцелюлозні і полісульфонамідні мембрани, селективність яких дає можливість на 80 - 90% сконцентрувати ароматичні речовини виноградної ягоди. Оскільки перед концентруванням необхідно очистити виноградне сусло від різних суспензій, колоїдів, дріжджових клітин, а також від біополімерних молекул і поліфенольних сполук, на цій стадії доцільно використання ультрафільтрації. Схема двоступеневого концентрування дозволяє здійснювати процеси згущення соків з високою продуктивністю до змісту сухих речовин 30 - 40%. Заслугує на увагу також і вдосконалення технології очищення та концентрування овочевих соків з використанням мембранних методів, зокрема, ультрафільтрації та зворотного осмосу, що дозволяють до мінімуму скоротити тепловий вплив на сировину і отримати

широкий набір овочевих сокових напівфабрикатів, в тому числі і

концентратів. Для сокового виробництва були використані томати, кабачки, перець солодкий, капуста, ревінь, селера, гарбуз, шпинат та інші овочі, які обробляли за стандартною технологічною схемою, прийнятої для окремих видів овочів. В результаті цих процесів виходив овочевий гомогенат або овочевий сік з наявністю великої кількості зважених часток м'якоті. Подальша обробка цих напівфабрикатів включала ультрафільтрацію або ультрафільтрацію з подальшим зворотньоосмотичного концентрування. Ультрафільтрація як кінцева стадія технологічного процесу особливо ефективна при отриманні ревеневого, капустяного, бурякового, селеровому і інших соків, а також практично для всіх овочевих соків, одержуваних методом молочнокислого бродіння. В ході ультрафільтрації цих овочевих напівпродуктів відбувається стабілізація їх колоїдних систем, зменшення розчинних пектинових і білкових речовин, а також різке зниження в 15 - 20 разів мікрофлори, що дозволяє досягати не тільки необхідного ступеня прозорості, а й стабільності соків при зберіганні. Оскільки в складі освітлених ультрафільтрацією овочевих соків в повній мірі зберігається їх вихідний вітамінний, мінеральний, поліфенольний і ароматичний комплекси, то вони відрізняються натуральним смаком, властивим вихідного овочевому сировини.

Використання двоступеневої схеми ультрафільтрація – зворотний осмос, дає можливість отримувати не тільки концентровані овочеві соки з високими органолептичними та харчовими показниками, а й різні пюреподібні овочеві продукти. Реалізуючи в промислових умовах двоступеневу схему мембранної обробки овочевої сировини, можна отримувати концентровані томатні продукти (пасту, соки і т.д.), Баклажанну і кабачкову ікру, перцевий, капустяний, буряковий концентрати з вмістом 25 - 40% водорозчинних сухих речовин. Отримані продукти відрізняються високими органолептичними і харчовими показниками. Продуктивність зворотньоосмотичних мембранних установок при концентруванні соків (томатного, яблучного, виноградного, апельсинового і ін.) Знаходиться в межах 30-500 л / м<sup>2</sup> \* год і багато в чому визначається умовами попереднього очищення соків. Існує дуже тісний

залежність між концентрацією вихідного соку і проникністю мембрани. Проникність мембрани майже лінійно знижується зі збільшенням концентрації соків. Тому, в ряді випадків, концентрування демінералізованного соку, наприклад бурякового, до 25 - 35% є максимальним, подальше ж концентрування соку економічно вигідно проводити комбінацією процесів зворотного осмосу і випарювання. Двоетапний режим концентрування соків дозволяє досягати 60 - 70% -ної концентрації сухих речовин, однак зі збільшенням ступеня концентрування в соку губляться деякі ароматичні речовини, які можна вловлювати установками регенерації і повертати в готовий продукт. У деяких випадках для регулювання іонного складу рідких харчових продуктів (вин, напоїв, соків) виявляється найбільш ефективним електродіалізним процес. Так, електродіалізна обробка білих столових вин не тільки знижує їх кислотність, але і попереджає кристалічні помутніння, що в більшості випадків сприятливо впливає на якість вин. Інший приклад успішного застосування електродіалізу в харчовій промисловості - зниження кислотності цитрусових соків. Для зниження кислотності апельсинового соку використовували електродіалізну установку, що складається тільки з одних аніонообмінних мембран. У цій схемі іони цитрату, присутні в соку, проходять через аніонообмінні мембрани у напрямку до анода в камеру з розчином лугу, а еквівалентні кількості гідроксильних іонів рухаються з цієї камери в камеру з соком і нейтралізують водневі іони. Таким чином, відбувається реакція, при якій видаляється лимонна кислота. Однак при організації такої схеми електродіалізної обробки апельсинового соку губляться його цінні поживні компоненти, зокрема, аскорбінової кислоти - 43% і багатьох вільних амінокислот (37 - 61%), що різко знижує харчову цінність соку. Нами була запропонована і відпрацьована діалізна схема зниження кислотності апельсинового соку з використанням поліароматичних нанофільтраційних мембран. Це дає можливість знижувати концентрацію лимонної кислоти в апельсиновому соку при початкової величини рН 3,3 - 3,5 і практично повністю виключити втрати амінокислот, аскорбінової кислоти



та інших поживних

речовин. Дослідження також показали, що для досягнення гармонійного смаку апельсинового соку необхідно видалити понад 50% лимонної кислоти при її вихідному вмісті в соку 0,9 - 1,3 г / 100 г. Слід зазначити, що в установці напівпромислового типу для електродіалісної обробки апельсинового соку з'являється можливість одночасно з процесом зниження кислотності соку здійснювати і процес отримання чистої лимонної кислоти порядку 0,5-2,0 кг при пропускання 300-1000 л апельсинового соку, в залежності від заданого залишкового вмісту лимонної кислоти.

Очищення і освітлення соків. Очищення і освітлення соку за допомогою мембран ультрафільтрація Ультрафільтрація є одним з видів мембранної технології, яка застосовується в харчовій промисловості. Різні види мембранної технології розрізняються між собою залежно від величини пор застосовуваних мембран. Мікрофільтрація – процес відділення зважених часток, частин клітин і ін. Від рідкої або газоподібного середовища шляхом пропуску через мембрани. Ультрафільтрація – процес поділу рідкого середовища на високо- і низькомолекулярні з'єднання за допомогою мембран, які пропускають низькомолекулярні з'єднання і затримують високомолекулярні, в тому числі колоїдно-розчинні мікромолекули, такі, як полісахариди і протеїни. Зворотний осмос – процес відділення розчинника від розчиненого в ньому речовини за допомогою мембран, які пропускають молекули розчинника, а частинки, молекули і іони розчинених речовин затримують. Близько 99,5% солей і низькомолекулярних речовин (молекулярна маса 100) залишається в концентраті. Електродіаліз – процес, при якому іоногенні речовини поділяються при проходженні через іонообмінні мембрани під дією різниці в електричних потенціалах. Мембрани. За формою мембрани можуть бути плоскі, трубчасті і з порожнистих волокон. Мембрани виготовляють з ацетату целюлози, синтетичних полімерів (полісульфіди, полікарбонати, поліакрилати і ін.), Кераміки і металу. Ацетатцелюлозні мембрани мають меншу довговічність і хімічну стійкість в порівнянні з мембранами з синтетичних полімерів, менш стійкі до підвищених температур. В останні роки стали

виготовляти і використовувати інтерполімерних, мінеральні (керамічні) і металеві мембрани. Керамічні мембрани мають хорошу хімічну, термічну і механічну стійкість (20 МПа) і тривалий термін експлуатації. Найбільш перспективними є металеві мембрани. Їх виготовляють з металевого порошку або тонкого металевого листа, перфорованого лазером. Мембрани характеризують за двома основними показниками: продуктивності (пропускнуої спроможності) і селективності (вибірковості). Продуктивність мембрани  $Q$  дорівнює кількості фільтрату  $V$ , минулого за одиницю часу  $t$  через одиницю робочої поверхні  $F$  мембрани:

$$Q = V/(Ft) \quad (1.1)$$

Селективність характеризує здатність розділяти мембрани і виражається в процентному співвідношенні концентрації речовини в розчині з обох сторін мембрани. Селективність мембран визначають найчастіше по розчинів хлориду натрію і цукру. При традиційному способі потік рідини, що підлягає фільтрування, подають вертикально в верхню частину фільтра. Фільтрування відбувається в глибині шару, а зверху на фільтруючу поверхню нашаровується товстий шар осаду, що утруднює фільтрування. При мембранному фільтруванні потік фільтрованої рідини подають горизонтально і вздовж мембрани, і внаслідок турбулентного руху рідини на ефективний фільтраційний шар мембрани майже не осідає осад, який міг би засмічувати пори. Цей спосіб фільтрування відомий під назвою тангенціальне фільтрування. При тангенціальному фільтруванні речовини, які не пройшли через мембрану, захоплюються тангенціальним рухом потоку рідини і в круговороті фільтрованої середовища безперервно концентруються. Мембрани виготовляють з певними, однорідними за величиною порами, від чого залежить їх розділяє здатність. Розділяє здатність мембран для ультрафільтрації характеризують молекулярної масою (ММ) речовин, які проходять через їх пори. В даний час виготовляють мембрани для ультрафільтрації, що розділяє

здатність яких знаходиться в межах між 500 і 1000000 ММ. Модулі. Мембрани монтують в різні по конструкції фільтрувальні пристрої «модулі». В даний час створено чотири типи модулів: пластинчасті, трубчасті, рулонні і з порожнистих волокон. Пластинчасті рамні модулі побудовані за принципом пластинчастих апаратів; виготовляються прямокутної, круглої або еліпсою форми з горизонтально або вертикально поставленими пластинами. Основний їх недолік - тривалий час для заміни пошкоджених мембран і високі втрати тиску; рух рідини переважно ламінарне. Трубчасті модулі побудовані за принципом трубчастих апаратів; мають труби з внутрішнім діаметром 12,5-25,4 мм, довжиною 5 м. Мембрана знаходиться з внутрішньої сторони труби, через яку тече рідина, що фільтрується. Модуль може складатися з однієї або декількох (2-18) труб. Переваги трубчастого модуля - зручна і проста форма, інтенсивне турбулентний рух рідини, невисока ступінь забивання пор мембрани, легкі контроль процесу і очищення; недоліки - велика витрата електроенергії і низька компактність. Рулонні модулі складаються з так званих мембранних кишень, в яких знаходяться шари пористого матеріалу для підведення фільтрату до відповідної трубі модуля.

Між мембранами розміщений шар сітчастого матеріалу, який збільшує відстань між мембранами і викликає відому турбулентність поточної рідини. При виготовленні модуля мембранні кишені з пористими і сітчастими шарами в них навивають у вигляді рулону навколо відповідної труби, яка перфорована. Отриманий рулон діаметром 12 см і довжиною 90 см потім поміщають в циліндр. У рулонних модулях турбулентність фільтрованої рідини хороша, вони компактні і витрачають мало енергії, при пошкодженні мембрани легко замінити. Недоліки модулів - в значній втраті тиску. Модулі з порожнистих волокон складаються з полімерних порожнистих волокон, зібраних в пучки, покладених в циліндр і закріплених по обидва боки пластинами. Внутрішній діаметр порожнистих волокон від 0,6 до 2 мм. Активний фільтруючий шар може бути з внутрішньої або зовнішньої сторони полого волокна, в зв'язку з чим фільтрування може проходити двома способами: зсередини - назовні через

подачу рідини для фільтрування в порожнисті волокна або зовні - всередину шляхом подачі рідини для фільтрування в циліндр між пучками волокон, при цьому фільтрат відводиться з внутрішніх порожнин волокон. Ці модулі мають хорошу компактність; рух рідини в них ламінарний; волокна швидко забруднюються і їх дуже важко очищати; при заміні одного волокна необхідно змінити весь модуль; не підходять для обробки рідин, що містять тверді частинки. Модулі випускають з різною фільтруючою поверхнею, вони можуть мати одну, дві, три і більше секцій, включених паралельно, послідовно або змішано. Установа для ультрафільтрації або зворотного осмосу включає приймальний резервуар для товару, що підлягає фільтруванню, живильний насос, циркуляційний насос, систему модулів, теплообмінник і контрольно-вимірювальні прилади (тиску і температури). Фільтрування через мембрани (УФ, ГО) може здійснюватися трьома способами: періодичним, напівбеззупинним і безперервним. Періодичний спосіб, незважаючи на високу продуктивність, простоту і низьку вартість установки, має обмежене застосування через тривалі рециркуляції і затримки продукту протягом усього часу фільтрування, що може привести до фізико-хімічними та мікробіологічними змін. Крім того, при цьому способі необхідно мати великий резервуар. Напівбезперервний спосіб менш тривалий; продукт безперервно подається в резервуар для рециркуляції, і це знижує час перебування товару в ультрафільтраційній установці. Продуктивність способу трохи нижче періодичного, але трохи вище безперервного. Установка дешева і нескладна. Установки по ультрафільтрації соків і напоїв працюють за цим методом.

Безперервний спосіб здійснюється найчастіше при двох і більше установках для УФ. Продукт знаходиться в установці лише кілька хвилин. Продуктивність способу нижче перших двох, а вартість вища. У сокової промисловості мембранна технологія знайшла застосування для різних цілей: ультрафільтрація - для освітлення соків, зворотний осмос - для концентрування соків, електродіаліз – для зниження кислотності, мікрофільтрація – для фільтрування соків. Найбільш широко впроваджується ультрафільтрація, для

якої промислові установки випускаються багатьма фірмами. Найбільш часто ультрафільтрація застосовується при виробництві освітлених концентрованих яблучних соків. При цьому ультрафільтрація замінює не тільки сепаратор, Кісельгуровий і пластинчастий фільтрпресами, але і обробку освітлюючими речовинами. Низька межа пропускання ультрафільтраційних мембран (наприклад, молекулярна маса 18000 для трубчастих мембран гарантує повне відділення нативних білків, навіть якщо вони знаходяться в стані колоїдного розчину. Полісахариди, такі, як пектин, крохмаль і деякі таніни, також відокремлюються, якщо розміри їх молекул більше значення кордону пропускання мембрани. Але деякі олігосахариди, які пройшли через ультрафільтраційну мембрану, можуть полімеризуватися під час зберігання, викликаючи утворення вторинного помутніння, що можна попередити шляхом попередньої обробки соку. Поліфеноли, не полімеризовані або нез'єднані у макромолекули, проходять через мембрану. У соку нестійкі фенольні сполуки можуть полімеризуватися, утворюючи таніни, які, взаємодіючи з білками, сприяють появі вторинного помутніння. При традиційних способах фільтрування ці сполуки зазвичай видаляють шляхом обробки бентонітом. При ультрафільтрації цю проблему вирішують видаленням одного з компонентів реакції - білка. Тому при виборі мембран для освітлення соків необхідно забезпечити видалення білків. Крім розчинених і зважених в розчині макромолекул, при ультрафільтрації повністю видаляють бактерії, дріжджі, цвілеві гриби і їх спори. Тому фільтрат, отриманий при ультрафільтрації, є стерильним. Однак при розливі такого соку можливо вторинне інфікування соку при проходженні через разливочно-укупорочне, тому процес пастеризації виключати не можна, якщо не забезпечені асептичні умови розливу. Ультрафільтраційні мембрани, затримуючи колоїди, пропускають всі цінні компоненти соків - цукру, органічні кислоти, мінеральні речовини, розчинні вітаміни і амінокислоти, тому харчова і біологічна цінність соку не знижується. Була досліджена можливість виробництва полімерних мембран для ультрафільтрації та діалізу. Розроблено мембрани типів ПАН-А і ПАН-Б з

діаметром пір відповідно 0,0144 і 0,0130 мкм, продуктивністю по воді 109 і 65 л / м<sup>2</sup> / год при тиску 0,3 МПа.

Виготовляють більше 20 типів і марок полімерних мембран. Найбільш широко використовуються мембрани, які представляють собою пористий (65-85%) полімерний матеріал завтовшки 200-50 мкм з розміром пір 10-6-10-10 м; маса 1 м<sup>2</sup> становить 40-80 м. Випускається три марки мембран: МГА - зворотньоосмотичні, УАМ - ультрафільтраційні і МФН-МА - мікрофільтраційні. Зворотньоосмотичні (гіперфільтраційні) ацетатцелюлозне мембрани марки МГА використовуються в багатьох галузях народного господарства. Найбільш поширена мембрана марки МРА-95 працює при рН 5-8 і температурі 10-50 °С. Ультрафільтраційні мембрани марки УАМ виготовлені на основі ацетатів целюлози. Створено обратноосмотические мембрани марки МГП і ультрафільтраційні марки УПМ на основі ароматичного поліаміду, що характеризується високою термічною і хімічною стійкістю. Ці мембрани придатні для роботи в середовищах з широким діапазоном рН і при високих температурах. У харчовій промисловості застосовуються мембрани з ароматичних поліамідів марки УПМ-П на підкладці з нетканого лавсанового полотна. На основі випускаються мембран створені установки мембранного поділу. Вченими досліджувалася залежність ступеня освітлення яблучного соку (після проціджування і сепарування) на ультрафільтраційних мембранах від діаметра пір мембран. Отримані дані свідчать про те, що мембрани з порами діаметром 0,025-0,045 мкм забезпечують високу ступінь видалення колоїдних речовин при збереженні в соку вихідних кількостей цукрів, вітамінів та інших цінних розчинних речовин. Мембрани з більшими порами не забезпечують необхідного ступеня освітлення, з більш дрібними - володіють низькою пропускною здатністю. Проведені дослідження і наявний досвід показують, що ультрафільтрація є економічним ефективним способом освітлення, які мають значні переваги перед традиційними способами. Однак соки повинні бути добре підготовлені. Спеціальні дослідження по визначенню впливу попередньої

підготовки соку на швидкість і фільтрує здатність  
мембранних



ультрафільтраційних установок при обробці яблучного соку показали, що найбільш ефективна обробка ферментами з подальшою сепарацією. Додаткове освітлення яблучного соку желатином і кізельземом перед ультрафільтрацією практично неефективно. На практиці яблучний сік найчастіше перед ультрафільтрацією обробляють ферментами і сепарують або фільтрують в залежності від використовуваного типу ультрафільтраційної установки.

Для освітлення, стабілізації і концентрування соків, різних безалкогольних напоїв і вин використовують процеси зворотного осмосу, ультрафільтрації, мікрофільтрації та електродіаліз. Мембранні процеси доцільно використовувати в ситуаціях, коли суміш, що розділяється містить лабільні речовини, які легко руйнуються. До таких сумішей відносяться найчастіше рідкі харчові середовища, такі як соки, екстракти, білкові розчини та інші. Розробка мембранних процесів розділення таких рідких середовищ дає можливість створювати принципово нові технологічні схеми і устаткування, для комплексної переробки рослинної сировини. Дозволяє знизити забруднення навколишнього середовища за рахунок застосування безвідходних технологій, а також отримувати харчові продукти з новими функціональними властивостями і високою харчовою цінністю. В даний час мембранні процеси і технології у виробництві фруктових і овочевих соків застосовуються для їх освітлення і концентрування. Свіжовіджятий плодовий сік являє собою складну колоїдну систему, утворену частинками рослинної тканини, які не розчиняються у воді. Крім частинок м'якоті і плодової тканини, соки містять дріжджові клітини, різні баластні домішки, які є причиною утворення помутнінь і опадів. Такі частинки в процесі зберігання соків агрегують і випадають в осад. З появою сучасних високопродуктивних мембран стало можливим ефективно освітлювати сік, при цьому максимально зберігаючи всі цінні компоненти соку. Для освітлення соків застосовуються як мікрофільтраційні, так і ультрафільтраційні мембрани. Підготовлений сік на фільтраційній установці поділяється на освітлений пермеат і ретентат з колоїдними

речовинами і мікроорганізмами. Ретенат є

концентратом, який утворюється під час фільтрації. Ретентат складається, головним чином, із затриманих частинок осаду і суспензії мікроорганізмів. Збільшення концентрації твердих речовин в ретентат призводить до зменшення його загального обсягу. Залежно від технології, яка використовується для переробки, вихід освітленого соку може досягати до 98%. З точки зору організації процесу мембранного освітлення соку, можуть бути реалізовані кілька варіантів його проведення.

Залежно від продуктивності установки величина потоку ретентат при циркуляції в фільтруючому контурі установки від 5 до 25 разів вище ніж величина основного потоку. Під час фільтрації ретентат насичується зваженими речовинами. При певній концентрації ретентат вимагає подальшої переробки в періодичному режимі для отримання цільового соку. Цикли мийки установки визначаються освітою поверхневого шару на поверхні мембран і концентрацією зважених речовин в ретентат. У випадки використання сепаратора для обробки вторинної потоку в контурі ретентат можна істотно збільшити час між циклами мийки та виходом пермеата. При виході вторинного потоку, який становить 10...20% витрати в контурі циркуляції ретентат, завислі речовини будуть безперервно відділятися. Це, в свою чергу дозволить виключити занадто високу концентрацію в первинному контурі ретентат. Аналогічний ефект можна отримати, якщо встановити сепаратор на лінії подачі в робочу ємність ультрафільтраційний установки. В цьому випадку попереднє освітлення проходить вся партія соку. При цьому пропускна здатність сепаратора повинна бути відрегульована відповідно до витратою пермеата. При сепарації вторинного потоку в контурі ретентат, центрифуга може бути меншого типорозміру. Для того, щоб не створювати окремий потік відходів, видалення осаду з центрифуги можливо разом з вичавками. Продуктивність мембрани буде істотно залежати від способу обробки плодово-ягідної сировини, а також від обробки первинного соку ферментами. Для того щоб отримати необхідні дані для розробки промислової системи проводиться оцінка основної технології

та випробування для підбору раціональних умов фільтрації. На сьогоднішній день широке поширення під час виробництва освітлених концентрованих яблучних соків отримав процес ультрафільтрації. В даному випадку ультрафільтрація може замінити сепаратор, Кізельгуровий і пластинчастий фільтрпресами. Крім цього, ультрафільтрація замінює обробку сировини освітлюючими речовинами. Застосування ультрафільтраційної обробки дозволяє видалити зважені тверді частинки, а також високомолекулярні компоненти, якими є крохмаль і білки. Ультрафільтрація стала заміною традиційного процесу освітлення, забезпечуючи при цьому більш високу рентабельність процесу і якість продукту. Для зниження вмісту пектину перед ультрафільтрацією сік необхідно очистити ензимами. Дані технологічні процеси гарантують високий вихід продукту, оптимальну продуктивність і чудову якість. На відміну від мікрофільтраційної обробки ультрафільтрація соків і вин дозволяє усувати не тільки нерозчинні, але і розчинні речовини, такі як пектин, крохмаль, білки, різні конденсовані форми поліфенолів. Освітлення соків за допомогою ультрафільтрації знаходить широке застосування в промисловості для освітлення і стабілізації якості яблучного, виноградного, вишневого, лимонного, апельсинового і інших соків. Наприклад, під час ультрафільтрації з яблучного соку видаляється 19 ... 32% пектинових, 9,5 ... 18,4% білкових з'єднань, 38,5 ... 45% колоїдів. Видалення з яблучного соку високомолекулярних речовин в зазначеному обсязі дозволяє отримувати освітлений сік з високими харчовими якостями і органолептичними показниками. Серед переваг застосування ультрафільтрації для освітлення плодово-ягідних соків можна виділити високу якість очищеного соку, за показниками кольору, прозорості і смаку. Також перевагою є високе вилучення соку, що становить приблизно 98 ... 99%. Обробка ензимів при ультрафільтрації може бути автоматизована і витрати знижені до 25% від звичайних. Крім цього, додаткові обробки желатином, бентонітом і кізельгуром можуть бути виключені. Крім

перерахованих переваг ультрафільтрація має низькими виробничими витратами, а також гігієнічністю конструкції.

Після ультрафільтрації соків залишається деяка кількість опадів, що містять вичавки і частина соку, але процентне їх зміст дуже незначне в порівнянні з кількостями, які отримуються при класичному процесі обробки. Наприклад, на 1 т соку при класичному способі утворюється  $0,468 \text{ м}^3$  осаду, а при ультрафільтраційну освітленні ця кількість становить лише  $0,025 \text{ м}^3$ . Зіставивши показники якості готової продукції, отриманої при ультрафільтрації та традиційної обробці, можна стверджувати, що при ультрафільтрації вміст корисних речовин в освітленому соку підвищується в середньому на 10%. Прозорість освітленого соку збільшується більш ніж в 10 разів. Мінеральний склад освітленого соку ставати багатшими порівняно з виготовленим за традиційною технологією. Важливим позитивним фактором ультрафільтраційного освітлення є і те, що мембрани, затримуючи колоїди, пропускають всі цінні компоненти соків. До таких компонентів належать цукри, органічні кислоти, мінеральні речовини, розчинні вітаміни і амінокислоти. В результаті харчова і біологічна цінність соку не знижується. Під час проведення процесу освітлення встановлено, що мембранна ультрафільтрація практично не змінює кількісного вмісту спирту, цукру, летючих кислот, мінеральних речовин, а також кислотність середовища. При цьому знижується вміст фенольних і азотистих речовин, що призводить до стабільності продукту до білкових, оборотним і необоротних колоїдних помутнінь.

Збереження складу плодкових і овочевих соків в процесі їх отримання і обробки вимагає застосування спеціальних фільтраційних технологій, що запобігають зміна складу і дозволяють зберегти, наприклад, вітаміни, що містяться в соках і руйнуються при тепловій і хімічній обробці. Фільтрування на керамічних мембранах широко використовується в різних областях: фармацевтиці та біотехнології, молочної, харчової та хімічної промисловості, водоочистки та ін. При виробництві соків і їх концентратів фільтрація може

застосовуватися на декількох технологічних стадіях: фільтрація свіжовіджатого соку, концентрування соку, заключна фільтрація (холодна стерилізація) соку перед розливом. Застосування керамічних фільтрів дозволяє також організувати ефективне виробництво високоякісного пектину (з яблучних, айвовий і грушевих вичавок). Після дроблення, депектінізації і відділення соку залишаються вичавки, з яких можна виділяти пектин. Ці вичавки обробляють відповідним ферментом, після чого видаляють низькомолекулярні речовини і неферментолізовані залишки. Для цього суміш фільтрують на керамічному фільтрі. В процесі мікрофільтрації йде також додаткова відмивання від непотрібних залишків різних речовин, в результаті виходить добре відфільтрований розчин чистого пектину. Далі проводиться концентрування розчину пектину ультрафільтрацією і його сушка. В результаті виходить Високочистий пектин, який знаходить дуже широке застосування в харчовій промисловості. Використання мембранної технології у виробництві соків дуже ефективно з економічної точки зору, оскільки дозволяє: зменшити питому вартість процесу фільтрації (керамічні фільтри відрізняються довговічністю, отже, не потрібно через півтора, два роки закуповувати новий комплект фільтрів, як у випадку з полімерними мембранами; рідше проводиться регенерація фільтрів, що також здешевлює процес); почати фільтрацію відразу після процесу дроблення і депектінізації, вся маса може подаватися безпосередньо на фільтр. На цьому етапі можна «домивати» залишки соку з вичавок, тим самим збільшуючи вихід готового продукту; не застосовувати соосадітелі, такі як бентоніт, кизельгур, желатин (тим самим підвищується якість соку - при його виробництві не вносяться ніякі сторонні інгредієнти); технологічно ефективно проводити стерилізацію фільтраційного обладнання. На одних і тих же фільтрах можна фільтрувати як пофарбовані, так і нефарбовані соки, так як при регенерації мембран відбувається повне видалення барвника з керамічного фільтра.

У сезон відсутності соків можна фільтрувати і інші напої, наприклад, питну воду для розливу в пластикові пляшки, отримуючи стерильний фільтрат.

При використанні мембранної фільтрації на керамічних фільтр елементах в технологічних процесах можлива фільтрація гідкості при екстремальних виробничих умовах (висока температура, великий тиск, а також широкий діапазон рН середовища від 0 до 14). На відміну від полімерних, тільки керамічні мембрани, які конструктивно складаються з крупнопористого керамічного носія і тонко дисперсного фільтруючого шару, нанесеного на поверхню носія (рис. 1.1), витримують експлуатацію при таких екстремальних умовах.

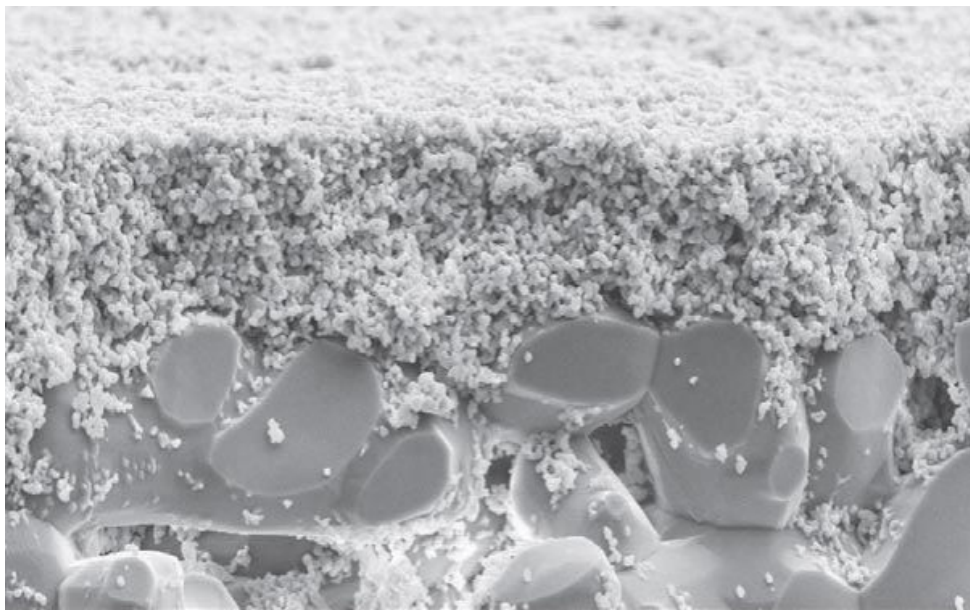


Рисунок 1.1 – Електронна фотографія мембрани

Керамічні мембрани не вимагають щорічної заміни (термін служби керамічних мембран становить 10-15 і більше років), не вимагають консервації та спеціальних дорогих миючих засобів. Корпус фільтраційних модулів виготовляється зі сталі марки 316 L, титану, цирконію, танталу, сплаву Hastelloy, а самі модулі при необхідності можуть бути покриті інертним матеріалом (PTFA). Устаткування для фільтрації складається з модулів, тому продуктивність таких установок може варіюватися в найширших межах. Наприклад яблучного) з продуктивністю 5000 л / год достатньо використовувати ультрафільтраційну установку безперервної дії на керамічних

мембранах, що складається з 4 модулів з фільтруючою поверхнею 37 м<sup>2</sup>, що працює в напівавтоматичному режимі фільтрації свіжевичавленого повністю ензімірованого соку (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Установка для фільтрації соку продуктивністю 5000 л/г

Така система фільтрації установка має власну ємність для хімічного миття з малими ємностями для концентрованих розчинів лугу і азотної кислоти, які подаються сюди за допомогою мембранного насоса.





Рисунок 1.3 – Сік яблучний до і після фільтрації

Хімічна мийка фільтраційної установки здійснюється після того, як продуктивність мембран падає до 1000-1200 л/ч. Періодичність миття залежить від характеристик фільтрованої рідини і для яблучного соку становить 36-48 год.

При отриманні концентрату соку вміст сухих речовин в ньому становить 40%. На такій установці можна фільтрувати також сік з груші, вишні, винограду, гарбуза та інших фруктів.

З метою реалізації основних завдань досліджень було розроблено загальний план проведення теоретичних та експериментальних робіт, який наведено на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний план проведення теоретичних та експериментальних досліджень

## 2 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ КОНЦЕНТРУВАННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ПЕКТИНОВИХ ЕКСТРАКТІВ

### 2.1. Розділення пектинового екстракту

Після обробки пектинвмісної рослинної сировини в екстракторі кінцевим продуктом є пектинвмісна однорідна маса яскраво-сірого кольору, яка потребує подальшого концентрування та очищення концентрату від баластних та інших непектинових речовин.

Таким чином, вищеназвані процеси є найважливішими технологічними стадіями в процесі одержання пектинового концентрату (ПК), оскільки впливають на технологічні та економічні показники кінцевого продукту.

Раніше замість процесів концентрування пектинового екстракту (ПЕ) використовувалася тільки стадія осадження, метою якої є виділення пектину з рідкої фази [1]. Осаджували пектин етиловим спиртом, ацетоном та хлористим алюмінієм при значеннях рН = 6,0..6,5. Отриманий пектин нейтралізували 25%-м розчином гідроокису амонію. Проте, така технологія погіршує умови праці та впливає на драглеутворюючу здатність пектину [2].

Іншим напрямом у розділенні ПЕ було використання хлориду кальцію, за якого відбувалося тільки часткове осадження пектину [3]. Тому від такого методу розділення ПЕ повністю відмовилися.

З літератури відомо про застосування процесу зневоднення ПЕ з використанням коагуляту [8]. Процес проводився на пакетних пресах до вологості 75...76%. Проте такий спосіб характеризувався слабкою драглеутворюючою здатністю ПК, тому й не отримав широкого застосування в кондитерській галузі.

Традиційним технологічним процесом концентрування ПЕ є вакуум-випарювання у двокорпусних апаратах. При цьому температура обробки в першому апараті досягає 75°C, у другому – 50°C [7]. Як речовина термолабільна, пектин зазнає ряд незворотних перетворень, що супроводжуються деполімеризацією, дезацетилюванням,

деметоксильованням тощо. Сукупність цих перетворень призводить до погіршення, а в деяких

випадках – повної втрати цінних поживних властивостей пектину, до яких відносяться драгле- та комплексоутворююча здатність. За традиційного концентрування ПЕ вакуум-випарюванням у суміші збільшується кількість баластних компонентів (мінеральні елементи, цукри, барвники тощо) [8].

Новою тенденцією в концентруванні ПЕ є застосування роторно-плівкових апаратів [9]. При цьому зазначається, що концентрування ПЕ в такому апараті не виключає руйнування пектинових макромолекул, що може бути пов'язано не тільки з впливом теплової обробки, яка є короткочасною, але й з механічною деструкцією внаслідок обертання ротора [9].

Серед новітніх методів концентрування ПЕ визнають концентрування з використанням мембранних технологій, що значно впливає на якість одержаних ПК [8].

Ультрафільтраційним концентруванням можна підвищити концентрацію ПЕ до певного граничного рівня, що зумовлено розчинністю цієї високомолекулярної сполуки (ВМС) та продуктивністю напівпроникної мембрани [8].

## 2.2. Очищення пектинового екстракту

Одним із процесів, що визначає якісні показники цільового продукту, є тонка фільтрація ПК [18]. Цей процес відбувається у три стадії: відстоювання з одночасним охолодженням, груба фільтрація на камерних фільтрпресах, тонка фільтрація на камерних фільтрпресах із наповнювачем. Очищений ПК направляють на нейтралізацію до значень рН 1,6...1,8 та осаджують. Виділення пектину з рідкої фази та обробку пектинового коагуляту здійснювали технічним етиловим спиртом. За таких технологічних параметрів пектин мав наступні фізико-хімічні показники: уронідна складова 65,7...69,2%, склад ацетильних груп 0,45...0,50%, метоксильна складова 4,0...4,2%, драглеутворююча здатність 46,6...53,2 кПа.

Іонообмінна обробка ПЕ підвищує комплексоутворюючу здатність пектину [22]. Залежно від ступеня обробки ПЕ вона



408...480 мг  $Pb^{2+}$ /г, тоді як комплексоутворююча здатність промислового бурякового ПЕ у 2 рази менша – 192...220 мг  $Pb^{2+}$ /г.

Відомі праці, в яких іонообмінні смоли використовуються з метою очищення ПЕ від фенольних з'єднань із частковою їх демінералізацією [13]. Разом із цим, здатність іонообмінних смол сорбціювати іони на своїх поверхнях дозволяє не тільки очищати ПЕ, але й регулювати значення їх рН.

Головною ланкою в безспиртовій технології виробництва пектину є застосування напівпроникних мембран [8]. При цьому, на відміну від вищерозглянутих методів обробки ПЕ, мембранна обробка не змінює основних властивостей ПК, до яких відносяться комплексоутворююча та драглеутворююча здатності 8 .

Сьогодні мембранні процеси широко використовуються в харчовій, мікробіологічній та фармацевтичній промисловості, і сфера їх застосування постійно розширюється [28]. При цьому сучасна промисловість має у своєму розпорядженні широкий спектр різновидів мембранних процесів. До них належать мікрофільтрація (МФ), ультрафільтрація (УФ), нанофільтрація (НФ), зворотний осмос (ЗО), електродіаліз, тощо.

Процеси МФ, УФ, НФ та ЗО здійснюються за надлишкового тиску, тому їх прийнято називати баромембранними процесами. Концентрування ПЕ – найважливіший етап технології пектину, від якого багато в чому залежить споживча якість продукту [2; 8; 18; 20; 21; 26]. Під час теплового випарювання пектинові речовини (ПР) зазнають негативних змін, що позначається на їх кольорі, смакових якостях, комплексо- та драглеутворюючої здатності, фізико-хімічних показниках. Усе це, звичайно, впливає на якість харчового ПК. Сублімаційне сушіння або концентрування виморожуванням є досить дорогими процесами, і тому не можуть бути розглянуті як енерго- та ресурсозберігаючі технології. Недоліком теплової обробки ПЕ є те, що під час випарювання концентрується низка так званих “баластних” речовин, які потрібно додатково видаляти за допомогою багатостадійного спиртово-кислотного очищення [8].

Крім того, випарювання дає можливість знизити вміст нітратів усього на 5...25%, у той час як мембранне концентрування – на 65...70%.

У харчовій, мікробіологічній, фармацевтичній та інших галузях промисловості часто постає завдання очистити розчини високомолекулярних сполук та колоїдних систем від низькомолекулярних домішок (неорганічних солей, спиртів тощо). Традиційні методи очищення ВМС мають значні недоліки стосовно їх безпечності, економічності, трудоемності та характеризуються застосуванням складного обладнання [2].

Для підвищення якості очищення ПК доцільно використовувати діяфільтрацію (ДФ), яка широко використовується в технологіях білків, ферментів та інших галузях харчової промисловості [8].

### 2.3. Процес ультрафільтраційного концентрування пектинових екстрактів

Одним із основних мембранних методів, який застосовується для концентрування біологічних рідин, є ультрафільтрація [28].

УФ називають процес розділення високомолекулярних (ВМС) та низькомолекулярних (НМС) сполук у рідинній фазі з використанням селективних напівпроникних мембран, які пропускають тільки НМС. Рушійною силою УФ є різниця тисків по обидва боки мембрани [29].

УФ використовують для розділення біологічних рідин, в яких молекулярна маса розчинених компонентів набагато більша за молекулярну масу розчинника. Процес УФ-концентрування відрізняється від звичайних процесів фільтрування тим, що фільтрування відбувається на молекулярному рівні. УФ базується на застосуванні напівпроникних полімерних чи керамічних мембран, здатних за певних умов розділяти біологічну рідину на окремі компоненти [28].

На сьогодні відома достатня кількість різних УФ-мембран для концентрування біологічних рідин [28–32]. Процес УФ пектинових екстрактів проводять на УФ-мембранах із середнім діаметром пор від 0,01 до 0,1 мкм.



У процесі УФ біологічна рідина, що розділяється, рухається в напірному мембранному каналі з відповідною температурою, швидкістю й тиском.

Частина розчину (розчинник і деякі розчинені в ньому речовини – пермеат) проходить крізь мембрану в дренажний канал, збільшуючи концентрацію розчину, що розділяється, який у вигляді концентрату виводиться з напірного мембранного каналу (рис. 2.1).

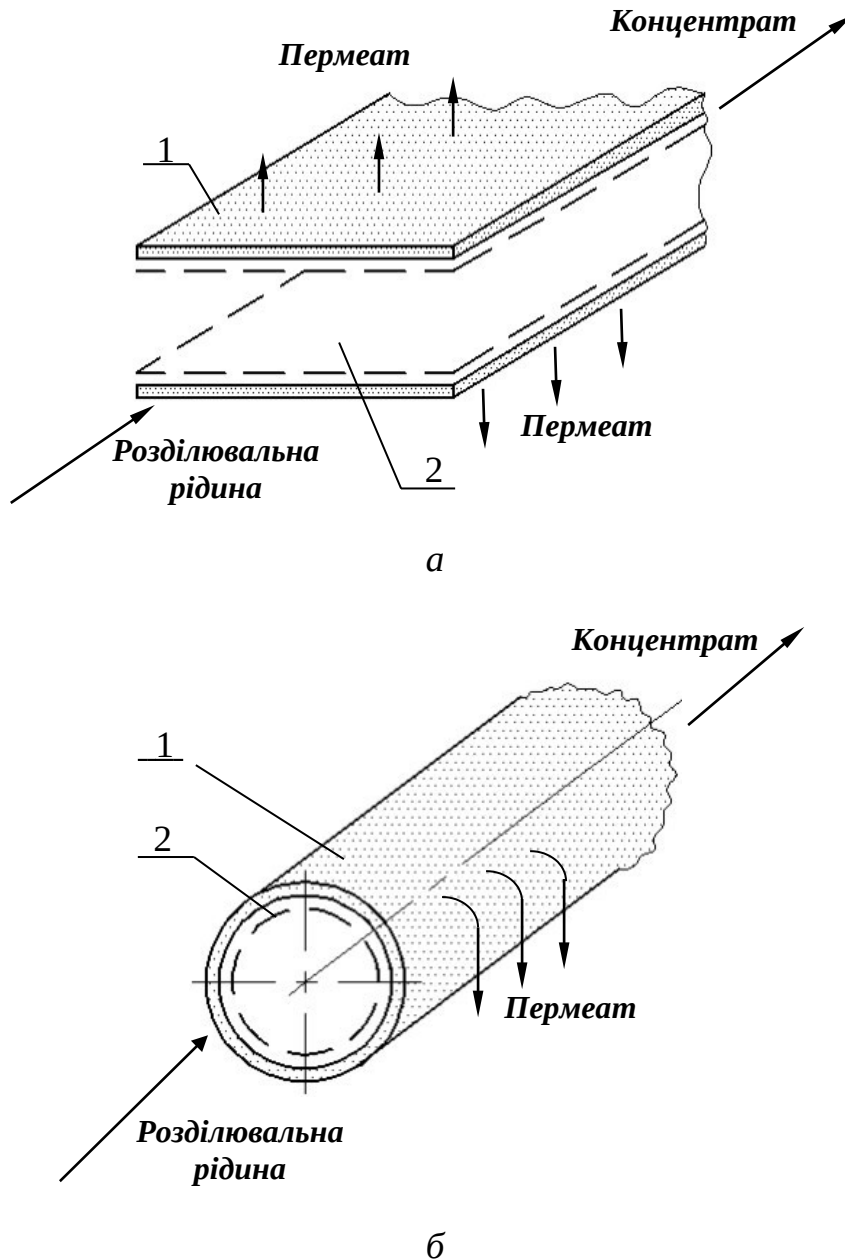


Рисунок 2.1 – Схеми потоків під час УФ-концентрування біологічної рідини крізь мембрану: а – плоский напірний канал; б – трубчастий напірний канал; 1 – пористий каркас; 2 – напівпроникна мембрана

Загальними характеристиками мембран є продуктивність (проникність) та селективність [28].

Продуктивність мембрани характеризується кількістю рідини, яка пройшла крізь одиницю площі мембрани за одиницю часу.

Селективність мембрани характеризується її здатністю затримувати речовини дисперсної фази колоїдного розчину, молекулярна маса яких менша за цю величину [28].

Пористість (об'ємна кількість пор) також є важливою характеристикою мембрани, тому що гідродинамічна проникність НМС настільки вища, наскільки більша пористість. При цьому, важливим є розмір пор, бо він визначає селективність і значною мірою проникність мембрани [28].

Під час УФ-концентрування біологічної рідини селективність мембрани за НМС близька до нуля, тобто концентрація цих речовин у розчині, що розділяється, і в пермеаті приблизно однакова.

Якщо УФ-концентруванню піддають ПЕ з достатньо високою концентрацією ПР, то на селективній поверхні напівпроникних мембран відбувається відкладення ВМС у вигляді гель-шару. У такому випадку, під час розрахунку рушійної сили процесу враховують осмотичний тиск розчину ВМС поблизу поверхні мембрани 8 .

Ефективність процесу ультрафільтрації залежить у першу чергу від правильності вибраних режимів експлуатації мембран. До основних режимів УФ-концентрування, які значно впливають на продуктивність процесу, належать робочий тиск у напірному каналі та температура біологічної рідини 8 .

Вітчизняними та іноземними спеціалістами встановлено, що треба проводити УФ-концентрування біологічної рідини за відносно високих температур – 50...60°C. Це дозволяє значно інтенсифікувати процес за рахунок зниження в'язкості рідини, що фільтрується, та збільшити константу броунівської дифузії молекул розчинника і розчинених у ньому речовин. Проте слід зазначити, що УФ-мембрани зазнають термічної усадки, якщо температура

біологічної рідини, що обробляється, вища за 35...40°C.

У ході УФ-концентрування ПЕ утворюється значний густий гелевий прошарок – так звана *другорядна мембрана* – із високою адгезією до матеріалу мембрани, що значно впливає на її продуктивність [8].

Опір шару, що відкладається на поверхні мембрани, залежить від товщини та природи самого гелю. На товщину утворення гелю на поверхні мембрани впливає тиск фільтрації, конструктивні особливості УФ-модуля, зсувні характеристики шару, а також властивості харчової сировини, що обробляється 8.

На ефективність процесу УФ значною мірою впливає концентрація сухих речовин (СР) у розчині, що обробляється. Установлено, що з підвищенням масової частки СР у розчині швидкість ультрафільтрації зменшується. Крім того, за тривалого концентрування біологічних рідин із високим вмістом СР умови утворення поляризаційного шару, який впливає на ефективність процесу, значно покращуються.

#### 2.4. Очищення пектинового концентрату діафільтрацією

Діафільтрація – це спосіб проведення мембранного процесу розділення багатокомпонентних систем (переважно УФ), що використовується у випадку, коли мембрана має помітну відмінну селективність по відношенню до компонентів, що розділяються. При цьому одночасно з виходом пермеату у вихідний розчин додається розчинник (рис. 2.2).

ДФ дозволяє очищати ПК від НМС і вибирати оптимальні технологічні режими проведення процесу УФ-концентрування ПЕ [8; 30; 35; 36]. У ході ДФ, під час якої очищується ПК, вводиться чистий розчинник і при подальшому концентруванні знижується концентрація НМС за рахунок їх видалення через мембрану разом із розчинником. ДФ дозволяє високоефективно очищати ПК від НМС та баластних речовин.

Способи проведення ДФ-очищення є такими:

- періодичний (з одноразовим, циклічним та неперервним розчиненням);
- безперервний (із протитечією та перехресною течією води).

Розчинником технологічного розчину в процесі ДФ-очищення є підготовлена вода, яка вливається безпосередньо в ємність із продуктом. Під час розведення ПК варто додавати таку кількість води, щоб досягти необхідної концентрації за НМС. Далі розчин концентрується до початкового об'єму. Якщо застосовувати циклічний спосіб, то концентрат розбавляється декілька разів і стільки ж піддається концентруванню УФ.

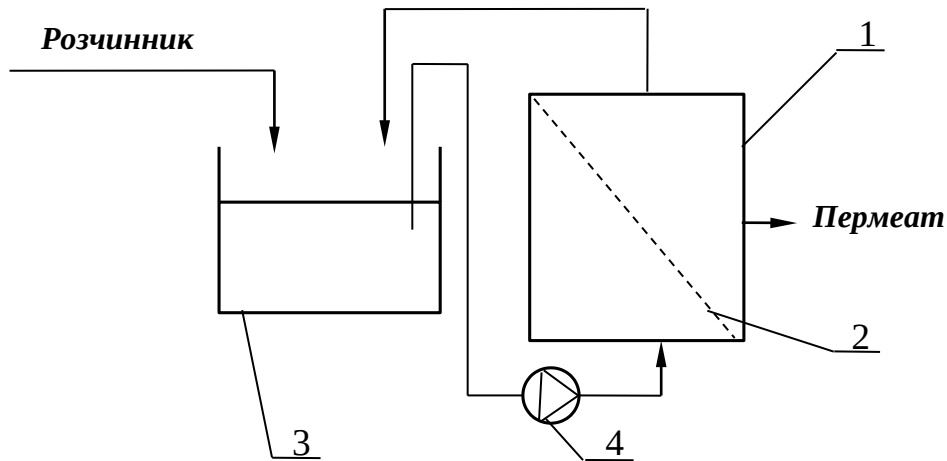


Рисунок 2.2 – Схема процесу мембранного розділення діалізацією: 1 – ультрафільтраційний модуль; 2 – напівпроникна селективна мембрана; 3 – ємність з сировиною, що обробляється; 4 – насос

Чинниками, що впливають на процес ДФ-очищення є такі:

- ступінь попереднього концентрування;
- ступінь розведення;
- кількість циклів (за циклічного способу).

Відомо, що попередній ступінь УФ-концентрування має великий вплив на проведення процесу ДФ-очищення [8]. Тому в деяких випадках, коли потрібно скоротити час очищення, доцільним є використання попереднього розчинення ПК та проведення процесу ДФ-очищення.

Слід також зазначити, що мембранним процесам обробки харчових рідин властиві певні недоліки, основним з яких є утворення поляризаційного шару на селективній поверхні мембрани. Це зумовлює необхідність розробки

принципово нового УФ-обладнання з використанням засобів повного або часткового усунення гель-шару із селективної поверхні мембрани, що сприятиме підвищенню ефективності процесу УФ.

Існує низка досліджень із цієї проблеми [28], які розглядають різні методи очищення напівпроникних мембран від поляризаційного шару, що утворюється. Регенерація мембран може проводитися такими способами: механічним, гідродинамічним, фізичним та хімічним. При цьому гідродинамічні та фізичні методи, на відміну від хімічних, є універсальними. Перевага фізичних методів пояснюється відсутністю їх впливу на матеріал напівпроникної мембрани.

На підставі вищевикладеного можна констатувати наступні переваги процесу УФ: низька енергоємність процесу та його висока економічність, процес перебігає без фазових перетворень ПР, не потребує використання хімічних реагентів, що сприяє отриманню поживно цінних продуктів, одночасно із підвищенням концентрації ПЕ здійснюється його очищення від НМС і баластних речовин, зберігається постійне значення рН розчину. До переваг також можна віднести компактність обладнання, простоту його обслуговування та можливість автоматизації процесу.

Таким чином, на підставі розгляду існуючих методів обробки ПЕ, можна зробити висновок про значні переваги мембранних методів обробки сировини відносно інших способів. Отже дослідження процесів концентрування та очищення ПЕ та ПК за допомогою ультрафільтрації та діафільтрації є актуальним завданням, тому що дозволяє одержувати ПК із високими, яскраво вираженими харчовими та біологічними якістьми.

Для проведення УФ-концентрування ПЕ можна використовувати мембранні модулі з плоскими й трубчастими мембранними елементами або апарати, що працюють за принципом «глухого кута» [22]. Схему такого апарата показано на рис. 2.3.

Плоский фільтрувальний елемент складається з дренажної основи, з одного чи обох боків якої розташована напівпроникна мембрана. Дренажна

основа може складатися з однієї чи двох опорних пластин, в яких є канали для

відведення пермеату, і дрібнопористої підкладки, яка зберігає форму та структуру мембрани, що працює під тиском. Для ультрафільтрації, коли градієнт тиску в напірному та дренажному каналах не перевищує 0,3 МПа, цими каналами можуть бути порожнечі в полімерній сітці, яка розташовується з обох боків полімерної мембрани, утворюючи напірний і дренажний канали плоского фільтрувального елемента, тобто так звану фільтрувальну касету. При цьому опорні пластини виготовляються з пластмаси; дренажні канали – з полімерних сіток, тканин; підкладки – з паперу, тканин тощо [116].

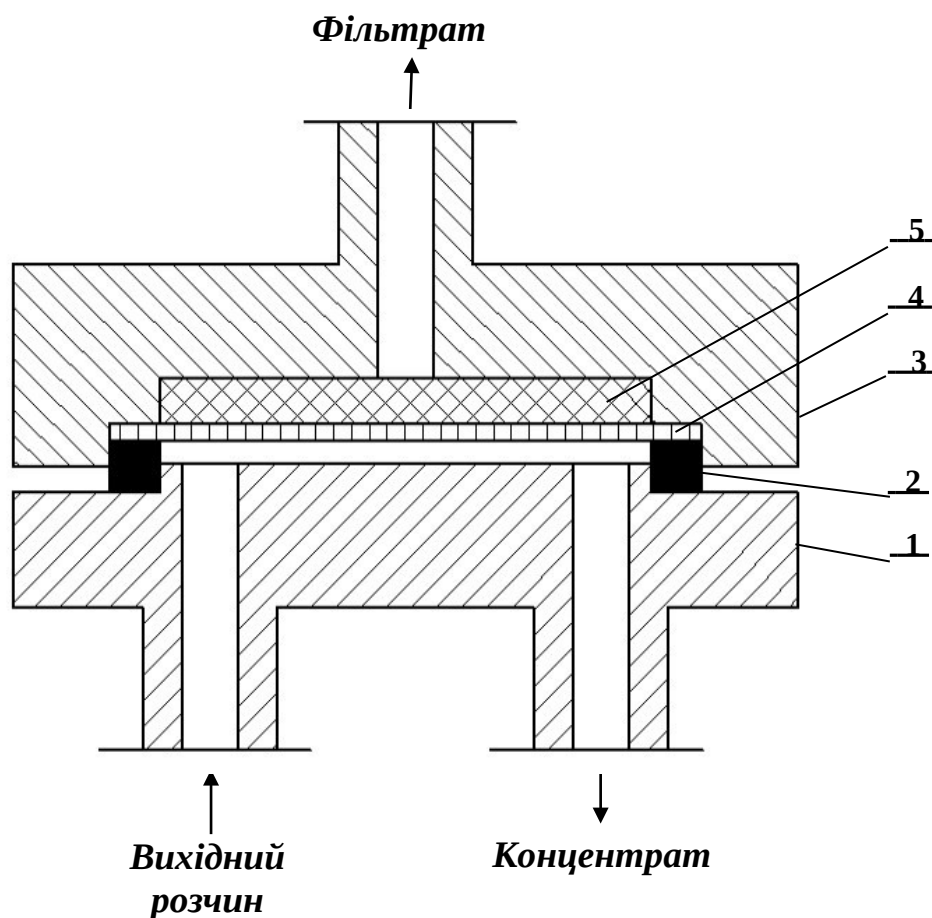


Рисунок 2.3 – Схема установки для УФ-концентрування біологічних рідин із плоскими мембранами: 1 – нижня основа; 2 – герметична прокладка; 3 – верхня основа; 4 – напівпроникна мембрана; 5 – підкладка

Однією з економічно виправданих є конструкція безкорпусних апаратів із плоскими фільтрувальними елементами круглої форми. Такі апарати



характеризуються високою технологічністю під час виготовлення, складання і

розбирання, надійною герметизацією напірних і дренажних каналів за меншої, порівняно з апаратами із прямокутними фільтрувальними елементами, сили стискання пакета елементів. Основний недолік таких апаратів – наявність вузлів перетікання у зоні напірних каналів, які збільшують їх загальний гідравлічний опір. Коефіцієнт гідравлічного опору вузлів перетікання може досягати  $\lambda = 2,5$ . Тому такі апарати доцільно експлуатувати за ламінарних режимів течії біологічних рідин, що розділяються.

Сучасні конструкції мембранних апаратів із плоскими фільтрувальними елементами круглої форми, що використовуються для фільтрування біологічних рідин, мають у складі конструктивні елементи для запобігання утворенню на поверхні напівпроникних мембран поляризаційного шару ВМС.

З метою збільшення проникності (продуктивності) напівпроникних мембран та швидкості перебігу УФ-концентрування біологічних рідин розроблено конструкцію мембранного апарата (рис. 2.4), що складається з основи, проміжної та опорної пластин, плоских мембранних елементів (напівпроникні селективні мембрани), порожнистого штока, вібратора ексцентрикового [128].

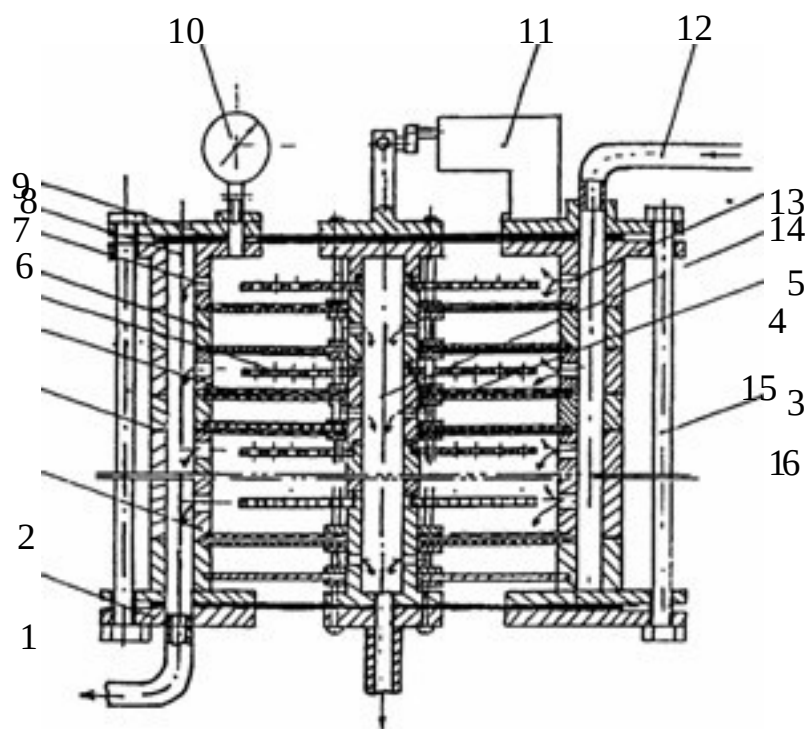


Рисунок 2.4 – Мембранний апарат з плоскими фільтрувальними

елементами круглої форми: 1 – основа; 2 – проміжна пластина; 3 – ущільнювач,  
4 – напівпроникна мембрана; 5 – перфоровані пластини, 6 – опорна пластина;

7, 13 – напірні отвори, 8 – канал для відведення концентрату; 9 – гнучка гумова мембрана; 10 – манометр; 11 – вібратор ексцентриковий; 12 – канал підведення рідини; 14 – шток з каналом для відведення пермеату; 15 – отвори для відведення пермеату; 16 – стяжка

Напівпроникні мембрани 4 кріпляться між опорною 6 та проміжною 2 пластинами так, щоб біологічна рідина не минала їх, а повністю проходила розділення. Пристрій для УФ герметизують за допомогою гнучкої гумової мембрани 9, ущільнювачів проміжної та опорної пластин 3 та стяжки 16. Подають через канал підведення 12 рідину, що розділяється, із певним тиском (0,2...1,0 МПа). Величину тиску регулюють за допомогою манометра 10. Біологічна рідина подається до напірних каналів (робочої камери пристрою) через отвори 13. Після заповнення напірних каналів біологічною рідиною вмикають вібратор ексцентриковий 11, який через порожнистий шток 14 надає зворотно-поступального руху системі перфорованих пластин 5. Перфоровані пластини вібрують у межах напірного каналу, здійснюючи додатковий тиск на поверхню напівпроникних мембран, та шляхом механічного впливу розбивають поляризаційний шар вмс, що утворюється на поверхні мембран. Таким чином підвищується проникнення (продуктивність) мембран та швидкість процесу УФ. Пермеат біологічної рідини відводиться крізь отвори 15 у порожнистому штоці 14. Концентрат, що утворився, відводиться крізь вертикальний канал 8 за допомогою отворів 7.

Мікульонком І.О. та Рябцевим Г.Л. [29] розроблено спрощену конструкцію трубчастого мембранного апарата (рис. 2.5), що містить корпус, кришку, трубну решітку, гнучкі трубчасті мембранні елементи, кожен з яких закріплено одним відкритим кінцем у трубній решітці, а також штуцери підведення розділювального розчину, відведення концентрату й пермеату, при цьому незакріплені кінці решти гнучких трубчастих мембранних елементів є герметично закритими. Закріплення другого кінця мембранного елемента в

трубній решітці й виконання незакріплених кінців решти гнучких трубчастих мембранних елементів герметично закритими забезпечує можливість

використання вказаних елементів практично довільної довжини, при цьому можливе використання зруйнованих або пошкоджених мембранних елементів.

Основними перевагами цього мембранного апарата є простота складання, розбирання й експлуатації, що зменшує непродуктивний простій обладнання, його вартість та експлуатаційні витрати.

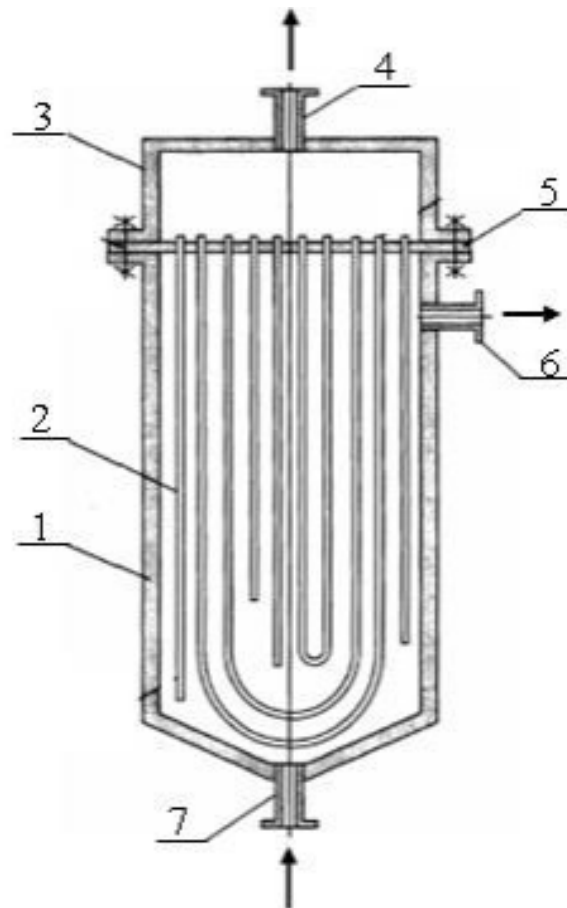


Рисунок 2.5 – Мембранний апарат з трубчастими фільтруючими елементами: 1 – корпус; 2 – мембранний елемент; 3 – кришка; 4 – штуцер відведення пермеату; 5 – трубна решітка; 6 – штуцер відведення концентрату; 7 – штуцер підведення сировини, що обробляється

Трубчасті мембранні елементи – це змінний вузол, що складається з напівпроникної мембрани та дренажного каркаса [3; 18; 25]. Виготовляють трубчасті мембранні елементи трьох типів конструкцій (рис. 2.6 а, б, в).

Конструкція трубчастого фільтрувального елемента з розташуванням мембрани на внутрішній поверхні дренажної основи (рис. 2.6 а) має такі

переваги: знижена матеріаломісткість; високі масообмінні характеристики в об'ємі напірного каналу; можливість механічного очищення напірного каналу від осаду на поверхні трубчастої мембрани; захищеність мембрани під час монтажу-демонтажу фільтрувального елемента. До недоліків можна віднести низьку питому поверхню мембран в установці ( $30...75 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ), відсутність

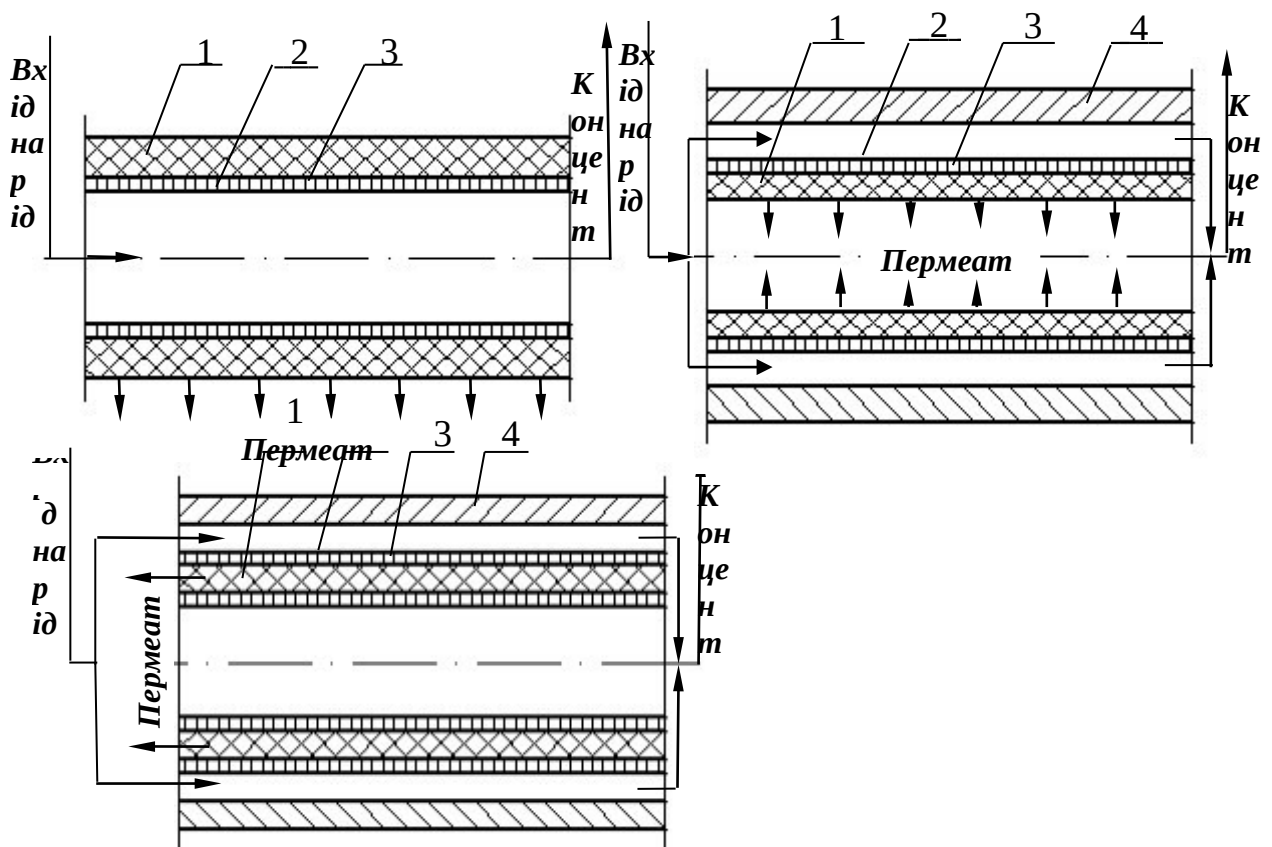


Рисунок 2.6 – Трубчасті фільтрувальні елементи з різним розміщенням мембран: а – на внутрішній поверхні дренажного матеріалу; б – на зовнішній; в – комбіноване; 1 – труба; 2 – напівпроникна мембрана; 3 – пориста підкладка; 4 – корпус

візуального спостереження за станом поверхні мембрани, утворення поляризаційного шару осаду на селективній поверхні мембрани.

Конструкція трубчастого фільтрувального елемента з розташуванням мембрани на зовнішній поверхні дренажної основи (рис. 2.6 б) дозволяє виготовляти елементи з меншим радіусом мембрани, що збільшує їх питому поверхню в

установці, дозволяє візуально контролювати стан селективної поверхні мембрани.

Конструкція трубчастого фільтрувального елемента із комбінованим розташуванням мембран (рис. 2.6 в) має в 1,6...1,8 разу більшу питому поверхню мембран. Проте до недоліків другого типу трубчастого фільтрувального елемента додається зростання гідравлічного опору дренажної основи, що обмежує довжину елемента. Тому другий та третій типи елементів не знайшли широкого застосування в промисловості.

Варто відзначити, що мембранний апарат є основою, але не єдиним елементом баромембранних установок. Баромембранні установки додатково оснащені насосними агрегатами, фільтрами для попереднього очищення, технологічними ємностями, контрольно-вимірювальною арматурою тощо.

Таким чином, на підставі вищевикладеного можна констатувати, що сьогодні мембранне обладнання широко застосовується для здійснення різноманітних процесів розділення, концентрування та очищення харчових рідин у різних галузях харчової, фармацевтичної та мікробіологічної промисловості. При цьому перевагою застосування БМП у виробництві ПК є достатня кількість конструкцій УФ-модулів із різними технологічними та технічними характеристиками. Проте, утворення поляризаційного шару на селективній поверхні напівпроникної мембрани робить процеси обробки ПЕ тривалими й економічно малоефективними. Тому виникає завдання використання мембранних установок із плоскими фільтрувальними елементами, що мають оптимальну продуктивність для підприємств малої та середньої потужності й передбачають спеціальні заходи боротьби з утворенням поляризаційного гель-шару на селективній поверхні мембрани.

Для дослідження процесів УФ-концентрування та очищення діафільтрацією не як у тупиковому режимі, так і в режимі гідроакустики використовували лабораторну установку з ДФ напівперіодичної дії з внутрішніми рециклами. Схему такої установки наведено на рис. 2.7.



Мембранна установка з діафільтрацією напівперіодичної дії має такі конструктивні елементи: ємність (1) із рідиною, що обробляється; ультрафільтраційний (9) та діафільтраційний (5) апарати; живильний клапан (2).

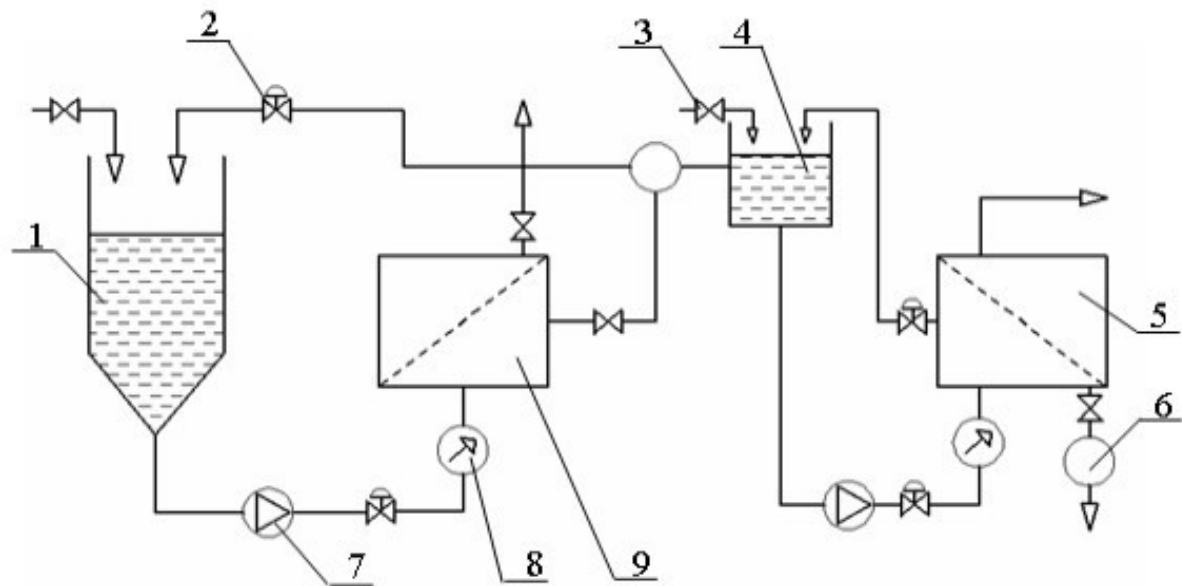


Рисунок 2.7 – Схема мембранної установки з ДФ напівперіодичної дії: 1 – ємність із технологічною рідиною; 2 – клапан живильний; 3 – вентиль; 4 – ємність з чистим розчинником; 5 – апарат діафільтраційний; 6 – рефрактометр; 7 – насос; 8 – електроконтактний манометр; 9 – апарат ультрафільтраційний

Живильний клапан призначено для регулювання подачі рідини в ультрафільтраційний та діафільтраційний апарати за допомогою насоса (7) та регулювання виведення вихідної рідини. Тиск в апаратах контролюється за допомогою манометра (8). Конструкцією передбачається вентиль (3) для відключення підведення чистої рідини та рідини, що обробляється, і рефрактометр (6) для регулювання вмісту ср у концентраті. Для подачі чистого розчинника (підготовлена вода) установка обладнана ємністю (4).

Лабораторна установка працює наступним чином. Рідина, що розділяється, знаходиться в ємності (1), з якої подається в УФ-модуль (9) насосом (7). Концентрат, що утворився, буде надходити в ємність із чистим розчинником (4) (розчинник додається в концентрат у кількості, що дорівнює

виходу пермеату) або повертатися до ємності (1) через живильний клапан (2) до тих пір, доки не буде мати потрібний вміст СР, який контролюється за допомогою рефрактометра (6). Концентрат, що відводиться у вихідну ємність, насосом подається до рециклу. Концентрат, що потрапляє до ємності (4) подається до діафільтраційної (ДФ) установки (5) за допомогою другого насоса. Очищений концентрат після контролю рефрактометром виводиться з системи, а у випадку невідповідності за кількістю СР повертається до ємності (4). Утворений пермеат виводиться з рециклу. Перевагою такої системи є те, що за допомогою циркуляційних насосів у ній підтримується високий рівень тиску.

## 2.5. Розробка математичної моделі об'єкта дослідження

Сьогодні поширеною є теорія УФ-концентрування, що заснована, з одного боку, на описанні проникності мембран за допомогою прийнятих у нерівноважній термодинаміці узагальнених сил і узагальнених координат, а з іншого – на розв'язанні диференціальних рівнянь матеріального балансу для дифузійного й конвективного потоків через мембрану з урахуванням сферичного та гідродинамічного факторів опору обох потоків [52].

Ультрафільтрація є багатофакторним процесом, тому перевірка існуючої теорії УФ-концентрування пов'язана з необхідним урахуванням великої кількості складних явищ: адсорбції фільтрувальної речовини, концентраційної поляризації, стиснення матриці мембрани під тиском тощо.

Існують моделі, які не враховують дифузійне осадження на поверхні мембрани, а процес дифузійного осадження в порах, або процес закупорювання поверхні пор, описується як кінетичний процес першого порядку:

$$\frac{d}{dV} \frac{dt}{dV} = K \frac{dt}{dV}^n \quad (2.1)$$

де  $K$  – константа інтенсивності дифузійного осадження;

$t$  – неперервний час, год;

$V$  – повний об'єм потоку, м<sup>3</sup>;

$n$  – показник, що змінюється від 2,4 для регулювання дифузійного осадження всередині пор до 2 для регулювання закупорювання поверхні пор.

Теорія процесу очищення й концентрування розчинів ВМС за допомогою УФ-мембран з урахуванням утворення гель-шару характеризується двома ефектами: зниження проникності УФ-мембрани та підвищення гідродинамічного опору, що супроводжується погіршенням умов фільтрації суміші. Теорія описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1 - \frac{z}{Pe \ln \frac{z}{z_0}}}{1}, \quad (2.2)$$

де  $z$  – безрозмірний об'єм розчину:

$$z = \frac{V t}{V_0}; \quad (2.3)$$

– безрозмірний час;

$Pe$  – число Пекле;

– ступінь нерівномірності розподілу потоку в мембрані:

$$\frac{k}{\dots}, \quad (2.4)$$

де  $k$  – коефіцієнт проникності мембрани;

– товщина нерухомого шару, м;

– коефіцієнт проникності гель-шару:

$$R_1 d_0, \quad (2.5)$$

де  $R_1$  – проникність гель-шару товщиною в одну молекулу ВМС;

$d_0$  – діаметр молекули ВМС;

– безрозмірна концентрація за ВМС у розчині, що концентрується:

$$\frac{C_0^{BMC}}{C_K^{BMC}}, \quad (2.6)$$

де  $C_0^{BMC}$  – початкова концентрація ВМС у розчині, що концентрується, %;  
 $C_k^{BMC}$  – кінцева концентрація ВМС у розчині, що пройшов процес концентрування, %.

Рівняння (2.6) описує процес зміни в часі об'єму рідини, що піддається УФ-концентруванню. При цьому початковою умовою є така:

$$z(\delta) = e^P, \quad (2.7)$$

де  $P$  – безрозмірний тиск у надмембранному просторі;  
 $\delta$  – безрозмірний час драглеутворення:

$$\delta = \frac{t_\delta}{t_0}, \quad (2.8)$$

де  $t_\delta$  – час початку драглеутворення, год;  
 $t_0$  – час початку концентрування, год.

Рівняння нестационарної дифузії описує процес ізотермічного масообміну між об'ємом рідини та пористим тілом будь-якої структури (проте без урахування впливу сили тяжіння):

$$\frac{2}{3}W_0 = \sqrt[3]{D(W_0)}, \quad (2.9)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт, що визначає швидкість капілярного промочування волокнистих матеріалів;

$\rho$  – густина рідини, л/м<sup>3</sup>;

$W_0$  – повна вологоємність, %;

$D(W_0)$  – коефіцієнт дифузії УФ-мембрани.

Інформація про особливості структури напівпроникної мембрани, що відповідають за кінетику процесу УФ, виражається значеннями вологоємності  $W_0$  та дифузії  $D$ .

Представлена теорія змочування рідиною напівпроникної мембрани моделюється плоскою сіткою пор постійного радіуса, що перетинаються, та пояснюється аномалію капілярного змочування за умови ущільнення пор матеріалу.

Для моделювання процесу УФ найчастіше використовують три основні моделі масоперенесення крізь мембрану: тонких пор, динамічних мембран та концентраційної поляризації – драглеутворення. Дві перші моделі є фізичними, а третя – феноменологічною, в якій мембрана розглядається як «чорний ящик» у термодинамічному значенні.

В основі моделі, що ґрунтується на пористій мембрані, лежить уявлення про те, що мембрана складається з циліндричних пор, які рівномірно розподіляються на поверхні (модель грубопористої мембрани). Для опису об'ємного потоку крізь мембрану використовується закон в'язкого потоку крізь мікропористе середовище (рівняння Пуазейля):

$$G = \frac{f_0 r^2}{8d} P, \quad (2.10)$$

де  $r$  – середній радіус пор у мембрані, м;

$\eta$  – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с;

$d$  – товщина мембрани, м;

$f_0 = r^2 n$  – загальна пористість ізотропної мембрани, яка припадає на одиницю площі.

Розглянемо модель розчинення – дифузії. Ця модель може бути застосовна до мембран, які мають невисоку продуктивність та високу селективність (99%). Пори в таких мембранах порівнянні з розмірами молекул й перенесення розчинника і розчиненої речовини здійснюється крізь міжмолекулярні порожнини мембранної матриці.

Згідно з цією моделлю об'ємний плин крізь мембрану визначається так:

$$G = l_p (P_1 - P_2) d, \quad (2.11)$$

де  $l_p$  – гідродинамічна проникність мембрани,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ;  
 $d$  – товщина мембрани,  $\text{м}$ ;  
 $P_1$  – питомий коефіцієнт перенесення розчинника.

Селективність мембрани визначається за формулою

$$\left(1 - \frac{P_{p.p.}}{Gd}\right) = 1 - \frac{k D_{p.p.} R_2 T}{D C V} \quad (2.12)$$

де  $D$ ,  $D_{p.p.}$  – відповідно середні значення коефіцієнтів дифузії води та розчиненої речовини у мембрані;

$C$ ,  $V$  – середня концентрація та середня величина молярного об'єму води в мембрані;

$k$  – коефіцієнт розподілу розчиненої речовини між мембраною та розчином;

$T$  – температура розчину,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$R_2$  – постійна Планка;

$P_{p.p.}$  – питомий коефіцієнт перенесення розчиненої речовини.

Питомі коефіцієнти перенесення були визначені на підставі термодинамічного підходу:

$$P_1 = \frac{D C V}{R_2 T}, \quad (2.13)$$

$$P_{p.p.} = D_{p.p.} k. \quad (2.14)$$

Аналіз рівнянь (2.11) та (2.12) показує, що об'ємний потік зворотно пропорційний товщині мембрани, а селективність не залежить від її товщини.

Існує феноменологічна модель мембранних процесів, в основі якої лежить термодинамічний підхід. Баромембранні процеси можна розглянути як нерівноважні, тому що концентрація розчиненої речовини в різних частинах системи зростає зі збільшенням тривалості. Їх математичний опис можливий із використанням термодинаміки незворотних процесів, а у стаціонарних умовах – термодинаміки стаціонарних процесів.

Модель драглеутворення найбільше наближена до реальних умов, що виникають на мембрані. Згідно з цією моделлю за достатньо великого значення критерію Пекле процес драглеутворення починається з початкового етапу процесу УФ-концентрування в разі виконання наступної умови:

$$Pe \ln \frac{C_{ВМС}}{C_{НМС}}, \quad (2.15)$$

де  $Pe$  – критерій Пекле:

$$Pe = \frac{v \cdot \delta}{D}, \quad (2.16)$$

де  $v$  – швидкість фільтрації, м/с;

$\delta$  – розмір дифузійного шару, м;

$D$  – коефіцієнт дифузії в шарі, м/с<sup>2</sup>.

Критерій Пекле характеризує величину співвідношення конвективного потоку, що затримується ВМС, до дифузійного.

Якщо умова (2.15) не виконується, процес складається з 2 етапів: на першому відбувається накопичення високомолекулярних сполук на поверхні мембрани, на другому – утворення гель-шару. Початок другого етапу визначається часом  $t_\delta$ , що знаходимо з рівняння:

$$t_\delta = t_0 \left( 1 + C_{ВМС} \frac{Pe}{e^{c_r}} \right), \quad (2.17)$$

де  $t_0$  – характерний час процесу, год.

На думку дослідників, за звичайних значень швидкості УФ-концентрування наявні одразу два етапи.

Інша математична модель може бути одержана з рівняння Пуазеля, закону Дарсі та Фіка методом диференціювання.

Так, проникність через мембрану для УФ-концентрування за законом Дарсі записується наступним чином:

$$G = l_p \cdot P, \quad (2.18)$$

де  $l_p$  – гідродинамічна проникність мембрани, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.



Рух розчиненої речовини на вхідному боці мембрани складається з двох ефектів із протитечією одна від одної:

1. Розчинення, шляхом руху від загального об'єму розчину до мембрани, у результаті руху розчинника під дією трансмембранного тиску;
2. Розчинення, шляхом руху від мембрани до центру загального об'єму розчину, під дією градієнта концентрацій (бек-дифузія).

У стаціонарному стані локальна концентрація з плином часу не змінюється, тому вищезазначені ефекти мають бути урівноважені. Закон Фіка для зворотної дифузії у стаціонарному стані може бути записаний:

$$G = C \left( D \frac{dC}{dx} - \frac{G}{D_0} \frac{C_{HMC}}{C} \right) \quad (2.19)$$

Після інтегрування рівняння (2.19) набуває вигляду:

$$G = \frac{D}{C_{HMC}} \ln \frac{C_{VMC}}{C_{HMC}} - k_l \ln \frac{C_{VMC}}{C_{HMC}}, \quad (2.20)$$

де  $k$  – коефіцієнт конвективного масоперенесення розчину, що розділяється.

Рівняння (2.20) установлює зв'язок між проникністю  $G$  та концентрацією ВМС біля мембрани  $C_{VMC}$ . Якщо проникність збільшується (наприклад, за рахунок трансмембранного тиску), концентрація ВМС також збільшується, що приводить до підвищення селективності мембрани по відношенню до розчинника. Це приводить до часткового відхилення величини УФ-концентрування від лінійності. Концентрація ВМС у приграничному шарі мембрани не перевищує встановленої межі  $C_2$ , де шар стає гелем. Із цього моменту значення проникності  $G$  втрачає здатність до зростання та залишається постійним, незалежно від величини тиску. Таке явище пояснюється концентраційною поляризацією напівпроникної мембрани.

Максимальне та постійне значення проникності мембрани при концентраційній поляризації може бути виражене таким рівнянням:

$$G_{\max} = k_l \ln \frac{C_2}{C_{HMC}}, \quad (2.21)$$

де  $C_2$  – концентрація ВМС у гелі-шарі.



Рисунок 2.8 – Схема проведення теоретичних та експериментальних

досліджень

Значення концентрації ВМС у гель-шарі залежить також від застосування параметрів УФ-концентрування через напівпроникну мембрану (температура, іонний зв'язок тощо).

Для забезпечення проведення подальших робіт було розроблено чіткий та послідовний план досліджень за напрямом удосконалення процесу виробництва ПК (рис. 1.1).

План дослідження передбачає теоретичну частину з обґрунтуванням доцільності використання процесу екстрагування пектинових речовин та обладнання для одержання пектинового екстракту, а також експериментальну частину з визначення оптимальних режимів вищезазначеного процесу.

На підставі попередніх аналітичних досліджень була сформульована основна мета роботи й окремі завдання для її досягнення.

Аналітичний етап проводиться за наступними напрямками:

- аналіз сучасного обладнання для обробки пектинових екстрактів;
- патентні дослідження;
- аналіз сучасних методів концентрування та очищення пектинових екстрактів.

Відповідно до поставлених у роботі задач експериментальні дослідження здійснюються в декілька етапів.

Перший етап містить дослідження процесів концентрування та очищення пектинових екстрактів та характеристик технологічного обладнання для одержання пектинового концентрату і визначення впливу цих характеристик на його продуктивність.

Другий етап містить дослідження процесів мембранної обробки пектинових екстрактів та визначення раціональних режимів для їх проведення.

На третьому етапі визначаються показники якості пектинового концентрату, досліджується його фізико-хімічні й органолептичні властивості.

Четвертим етапом визначаються напрямки і розробка рекомендацій, щодо проведення процесів мембранної обробки для одержання пектинового

концентрату на підприємствах переробки сільськогосподарської сировини, проведення робіт з упровадження результатів роботи у практику.

Модель дозволяє описати значення проникності напівпроникної мембрани залежно від трансмембранного тиску за допомогою співвідношення трьох математичних моделей: закону Дарсі, концентраційної поляризації та драглеутворення.

На підставі проведеного аналізу математичних моделей було зроблено наступний висновок: використання наведених вище моделей супроводжуються деякими труднощами, що пов'язано зі складністю визначення відповідних коефіцієнтів, які входять у рівняння математичних моделей. Тому для визначення параметрів процесу мембранної обробки не раціональним є використання математичної моделі, в основі якої лежить рівняння регресії, що одержують методами планування експерименту. Цей вид моделі було використано в дослідженнях процесу УФ-концентрування пектинових екстрактів.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень процесу УФ-концентрування пектинових екстрактів

У роботі досліджувались ультрафільтраційні мембрани типу пан: пан-50 та пан-100. мембрани типу пан є ультрафільтраційними мембранами другого покоління, виготовленими на основі співполімерів акронітрилу.

Однією з головних характеристик УФ-мембран є продуктивність. Розрізняють початкову продуктивність мембран, тобто продуктивність нових мембран у початковий період їх експлуатації, і дійсну продуктивність, яка характеризує роботу мембран за умов постійної експлуатації [15].

З метою визначення характеристик процесу УФ-концентрування ПЕ було використано математичну модель за методом планування експерименту. Рівняння регресії, одержане шляхом дослідження зміни параметрів УФ-концентрування ПЕ, забезпечує вивчення процесів, що відбуваються під час УФ пектинових екстрактів, а також визначення оптимальних умов УФ-концентрування ПЕ для одержання ПК з різним вмістом ПР та СР у концентраті та пермеаті.

Для дослідження процесу УФ-концентрування ПЕ нами було обрано основні вхідні параметри процесу:  $t$  – температура УФ-концентрування, °С;  $\tau$  – тривалість процесу,  $s^2$ ;  $P$  – тиск фільтрації, МПа. Для цих параметрів встановлено рівні та інтервали варіювання (табл. 3.1).

Відповідно до математичної моделі процесу екстрагування ПР, методом найменших квадратів знайдено рівняння регресії, що описує поверхню функції відгуку у факторному просторі та має такий вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{j=1}^n b_j x_i x_j, \quad (3.1)$$

де  $b_0$  – вільний член рівняння регресії;



$b_i$  – лінійні ефекти;

$x_i, x_j$  – незалежні змінні;

$b_{i,j}$  – ефекти парної взаємодії;

$n$  – число експериментів.

Таблиця 3.1 – Рівні та інтервали варіювання

Умови проведення експерименту	Позначення	Параметри впливу		
		t, °C	$\tau \cdot 60^{-2}$ , с	P, МПа
Головний рівень	X <sub>0</sub>	40	2	0,4
Верхній рівень	X <sub>1</sub>	60	4	0,6
Нижній рівень	X <sub>2</sub>	20	0,5	0,2

Рівняння регресії визначали для наступних характеристик:

$y_1$  – продуктивність мембрани ПАН-100 за пермеатом у тупиковому режимі (G);

$y_2$  – продуктивність мембрани ПАН-100 за пермеатом у режимі вібраційного перемішування ( $G^T$ );

$y_3$  – концентрація ПР у концентраті для мембрани ПАН-100 ( $C_{ПР}$ );

$y_4$  – вміст СР у концентраті для мембрани ПАН-100 ( $C_{с.р.к.}$ );

$y_5$  – вміст СР у пермеаті для мембрани ПАН-100 ( $C_{с.р.п.}$ );

$y_6$  – продуктивність мембрани ПАН-50 в тупиковому режимі (G);

$y_7$  – продуктивність мембрани ПАН-50 у режимі вібраційного перемішування ( $G^T$ );

$y_8$  – концентрація ПР у концентраті для мембрани ПАН-50 ( $C_{ПР}$ );

$y_9$  – вміст СР у концентраті для мембрани ПАН-50 ( $C_{с.р.к.}$ );

$y_{10}$  – вміст СР у пермеаті для мембрани ПАН-50 ( $C_{с.р.п.}$ ).

За планом факторного експерименту (додаток а.1) було проведено 10 дослідів. під час проведення експериментів необхідний тиск у надмембранному просторі ультрафільтраційного модуля створювали за допомогою компресора і змінювали від 0,2 до 0,6 мпа. швидкість руху потоку пе в міжмембранному

каналі за вібраційного режиму становила 0,5...2,0 м/с, доцільність використання цього параметра досліджено в праці [16]. через 20 хв, коли швидкість ультрафільтрації ставала постійною, виміряли кількість фільтрату, що пройшов через мембрану за 10 хв.

За режиму з вібраційним перемішуванням вмикали електродвигун, поєднаний із мішалкою, розташованою всередині ультрафільтраційного модуля. Необхідні гідродинамічні умови над поверхнею напівпроникної мембрани створювали за допомогою ЛАТР – 1м. Результати експериментів для напівпроникної мембрани ПАН-100 наведено в таблиці 3.2, для ПАН-50 – у таблиці 3.3.

Для напівпроникної мембрани ПАН-100:

– для продуктивності в тупиковому режимі:

$$G = 3,082 + 1,076 \cdot 10^{-3} t - 2,38 P - 1,215 \tau + 1,908 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,835 P^2 + 0,229 \tau^2 + 0,04 t \cdot P - 4,786 \cdot 10^{-3} t \cdot \tau - 0,786 \cdot 10^{-3} P \cdot \tau; \quad (3.2)$$

– для продуктивності в режимі з вібраційним перемішуванням:

$$G^T = 3,089 - 0,029 t + 6,648 P - 0,663 \tau - 7,121 \cdot 10^{-5} t^2 - 2,656 P^2 + 0,087 \tau^2 + 0,021 t \cdot P - 2,929 \cdot 10^{-3} t \cdot \tau - 0,386 P \cdot \tau; \quad (3.3)$$

– для концентрації ПР у пектиновому концентраті:

$$C_{\text{ПР}} = 3,718 + 0,028 t - 10,804 P - 1,251 \tau - 6,362 \cdot 10^{-4} t^2 + 9,063 P^2 + 0,145 \tau^2 + 0,085 t \cdot P + 7,143 \cdot 10^{-3} t \cdot \tau + 1,429 P \cdot \tau; \quad (3.4)$$

Таблиця 3.2 – Результати дослідження процесу УФ-концентрування пектинового екстракту УФ-мембраною ПАН-100

t, °C	P, МПа	$\tau$ , с·10 <sup>-2</sup>	G, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год	G <sup>T</sup> , дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год	C <sub>ПР</sub> , %	C <sub>с.р.к.</sub> , %	C <sub>с.р.п.</sub> , %
60	0,2	4	1,85	3,75	2,5	6,5	2,8
60	0,6	0,5	6,068	7,83	3,0	6,6	3,0
60	0,2	0,5	4,052	4,59	2,1	4,2	1,8

60	0,6	4	2,77	5,45	5,4	9,8	4,7
20	0,6	2	2,74	5,36	1,9	6,1	1,7
20	0,4	4	1,75	3,9	2,0	6,5	1,9
20	0,4	0,5	3,83	5,7	1,6	4,5	1,6
20	0,2	2	1,83	3,69	1,5	6,6	2,1
40	0,2	4	1,67	3,47	2,3	6,8	2,3
40	0,4	2	2,63	5,17	2,1	7,4	3,4

– для концентрації ПР у пектиновому концентраті:

$$C_{\text{ПР}} = 3,718 + 0,028 t - 10,804 P - 1,251 \tau - 6,362 \cdot 10^{-4} t^2 + 9,063 P^2 + 0,145 \tau^2 + 0,085 t \cdot P + 7,143 \cdot 10^{-3} t \cdot \tau + 1,429 P \cdot \tau; \quad (3.4)$$

– для вмісту СР у пектиновому концентраті:

$$C_{\text{с.р.к.}} = 12,37 - 0,065 t - 13,589 P + 4,592 \tau - 6,004 \cdot 10^{-4} t^2 - 4,152 P^2 - 0,908 \tau^2 + 0,492 t \cdot P + 0,01 t \cdot \tau + 1,786 P \cdot \tau; \quad (3.5)$$

– для вмісту СР у пермеаті:

$$C_{\text{с.р.п.}} = -1,082 + 0,092 t + 6,982 P + 2,267 \tau - 1,484 \cdot 10^{-3} t^2 - 23,973 P^2 - 0,634 \tau^2 + 0,303 t \cdot P + 0,016 t \cdot \tau + 1,571 P \cdot \tau. \quad (3.6)$$

Таблиця 3.3 – Результати дослідження процесу УФ-концентрування пектинового екстракту УФ-мембраною ПАН-50

t, °C	P, МПа	$\tau$ , с·10 <sup>-2</sup>	G, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·ГОД	G <sup>T</sup> , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·ГОД	C <sub>ПР</sub> , %	C <sub>с.р.к.</sub> , %	C <sub>с.р.п.</sub> , %
60	0,2	4	1,32	3,25	4,0	4,7	2,2
60	0,6	0,5	5,62	6,49	1,3	4,6	2,3
60	0,2	0,5	3,017	4,62	1,0	3,6	1,2
60	0,6	4	2,46	4,57	4,9	2,7	3,2
20	0,6	2	1,49	3,74	2,8	2,8	0,1
20	0,4	4	1,17	2,9	3,3	3,2	0,3
20	0,4	0,5	2,7	4,1	1,2	2,0	0,6
20	0,2	2	0,96	2,64	1,1	2,5	0,8
40	0,2	4	1,14	3,19	3,5	4,6	2,4
40	0,4	2	2,046	4,54	1,9	4,7	2,1

Для напівпроникної мембрани ПАН-50:

– для продуктивності в тупиковому режимі:

$$G = 1,207 - 4,667 \cdot 10^{-3} t + 5,465 P - 0,83 \tau + 2,126 \cdot 10^{-4} t^2 - 4,822 P^2 + 0,209 \tau^2 + 0,09 t \cdot P - 6,418 t \cdot \tau - 1,045 P \cdot \tau; \quad (3.7)$$

– для продуктивності в режимі з вібраційним перемішуванням:

$$G^T = 0,356 + 0,113 t + 6,789 P - 0,417 \tau - 1,049 \cdot 10^{-3} t^2 - 4,902 P^2 + 0,064 \tau^2 + 0,033 t \cdot P - 3,036 \cdot 10^{-3} t \cdot \tau - 0,393 P \cdot \tau; \quad (3.8)$$

– для концентрації ПР у пектиновому концентраті:

$$C_{ПР} = 0,243 + 0,055 t - 1,607 P - 0,45 \tau - 4,0 \cdot 10^{-4} t^2 + 8,036 P^2 + 0,157 \tau^2 - 0,071 t \cdot P + 8,571 \cdot 10^{-3} t \cdot \tau - 0,429 P \cdot \tau; \quad (3.9)$$

– для вмісту СР у пектиновому концентраті:

$$C_{с.р.к.} = -6,111 + 0,198t + 16,232P + 2,417X_3 - 1,395 \cdot 10^{-3}t^2 - 13,08P^2 - 0,22\tau^2 - 0,037t \cdot P - 0,011t \cdot \tau - 2,143P \cdot \tau; \quad (3.10)$$

– для вмісту СР у пермеаті:

$$C_{с.р.п.} = -0,677 + 0,163t - 5,339P - 0,383\tau - 2,306 \cdot 10^{-3}t^2 + 1,92P^2 + 0,033\tau^2 + 0,11t \cdot P + 8,929 \cdot 10^{-3}t \cdot \tau + 0,071P \cdot \tau. \quad (3.11)$$

За отриманими даними, наведеними в табл. 3.2 та 3.3 було проведено додаткові дослідження для уточнення показників зміни продуктивності УФ-мембран у процесі ультрафільтрації за різних технологічних чинників в області раціональних значень параметрів процесу.

Залежності зміни продуктивності УФ-мембран у процесі УФ-концентрування пектинових екстрактів показано на рис. 3.1–3.4. Залежності якісних характеристик продуктів мембранної обробки – пектинового концентрату та пермеату, одержаних із використанням вібраційного режиму – на рис. 3.5–3.6. Результати показали, що залежності продуктивності напівпроникних мембран ПАН-50 та ПАН-100, концентрації ПР у концентраті, вмісту сухих речовин у пермеаті та концентраті за різних технологічних режимів мають нелінійний характер.

Це пояснюється складністю сукупного впливу трьох чинників процесу УФ-концентрування ПЕ як на продуктивність напівпроникної мембрани, так і на якісні показники ПК. Апроксимація даних рівняннями регресії дозволила виявити неоднозначні залежності продуктивності УФ-мембран, концентрації ПР та вмісту СР від тиску, температури та тривалості процесу УФ-концентрування ПЕ.

Із графічної залежності продуктивності мембран ПАН-50 та ПАН-100 від тиску УФ (рис. 3.1) видно, що характер зміни продуктивності з підвищенням

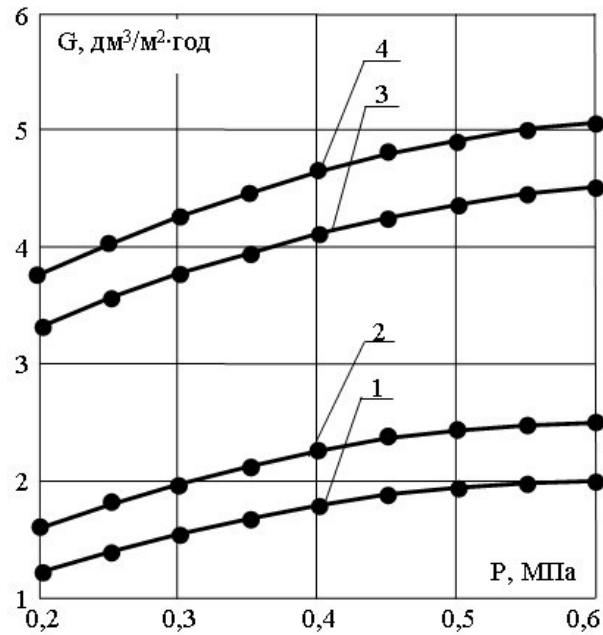


Рисунок 3.1 – Залежність продуктивності ультрафільтраційних мембран типу ПАН від тиску при УФ-концентруванні пектинових екстрактів за температури 50°C:

1, 3 – мембрана ПАН-50 у тупиковому режимі та в режимі з вібраційним перемішуванням відповідно;

2, 4 – мембрана ПАН-100 у тупиковому режимі та в режимі з вібраційним перемішуванням відповідно

тиску у випадку тупикового режиму та режиму з вібраційним перемішуванням процесу УФ-концентрування різних. Для значень тиску від 0,2 до 0,4 МПа в тупиковому режимі спостерігається повільне зростання продуктивності, а в режимі з вібраційним перемішуванням – різке збільшення продуктивності для обох мембран. На ділянці від 0,4 до 0,6 МПа продуктивність мембран із підвищенням тиску в тупиковому режимі суттєво не змінюється. У режимі вібраційного перемішування продуктивність обох мембран із підвищенням тиску повільно зростає.

Так, для тупикового режиму значення продуктивності при  $P = 0,4$  МПа складає: для мембрани ПАН-50 –  $1,8 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 –  $2,3 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ; при  $P = 0,6$  МПа: для мембрани ПАН-50 –  $2,0 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 –  $2,5 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ . У режимі

вібраційного перемішування

перфорованою вібруючою пластиною значення продуктивності складає при  $P = 0,4$ : для мембрани ПАН – 50 –  $4,1 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 –  $4,7 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ; при  $P = 0,6 \text{ МПа}$ : для мембрани ПАН-50 –  $4,5 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 –  $5,1 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ . Збільшення продуктивності мембран за умови використання перфорованої вібруючої пластини можна пояснити підвищенням тиску (приблизно на  $1 \text{ МПа}$ ) над поверхнею мембрани за рахунок потоків, направлених у напрямку руху вібруючого диска до поверхні мембрани.

Аналіз одержаних даних показує, що збільшення тиску під час УФ-концентрування ПЕ більше  $0,4 \dots 0,5 \text{ МПа}$  є недоцільним, оскільки це не є недоцільним, оскільки це не призводить до значного збільшення продуктивності обох типів мембран. Крім того, використання вібруючого перфорованого диска дозволяє не тільки значно підвищити продуктивність УФ-мембран за рахунок запобігання утворенню гель-шару на їх поверхні, але й знизити робочий тиск у напірному каналі УФ-модуля.

Графічна залежність впливу температури ПЕ на продуктивність напівпроникних мембран типу ПАН (рис. 3.2) показує відмінність кривих для обох режимів. При цьому зі зростанням температури в тупиковому режимі та режимі турбулізації спостерігається збільшення продуктивності для обох типів мембран, що досліджуються. У діапазоні значень температури від  $20$  до  $45^\circ\text{C}$  спостерігається інтенсивне збільшення продуктивності напівпроникних мембран типу ПАН для обох режимів. Зі збільшенням температури від  $45$  до  $60^\circ\text{C}$  у випадку тупикового режиму продуктивність мембрани ПАН-50 та ПАН-100 змінюється незначно та має подібний характер. У випадку вібраційного перемішування зі збільшенням температури продуктивність для обох типів мембран набуває сталого значення. Подальше збільшення температури є недоцільним, що пояснюється деструкцією ПР в екстракті під час його УФ-концентрування.



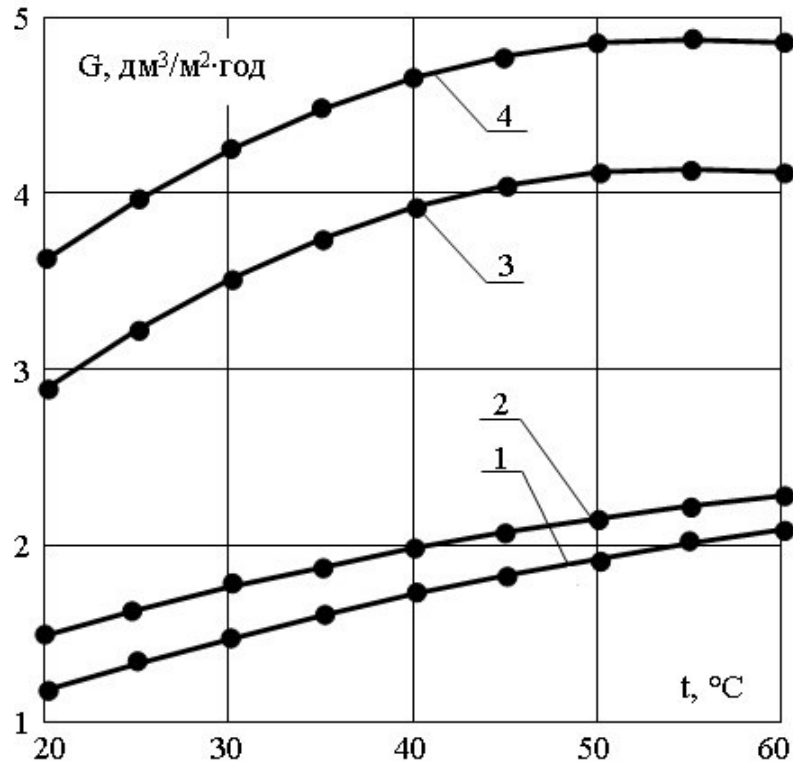


Рисунок 3.2 – Залежність продуктивності ультрафільтраційних мембран типу ПАН від температури при УФ-концентруванні пектинових екстрактів за тиску 0,4 МПа:

1, 3 – мембрана ПАН-50 у тупиковому режимі та в режимі з вібраційним перемішуванням відповідно;

2, 4 – мембрана ПАН-100 у тупиковому режимі та в режимі з вібраційним перемішуванням відповідно

Так, для тупикового режиму значення продуктивності при  $t = 45^{\circ}\text{C}$  складає: для мембрани ПАН-50 –  $1,7 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 –  $2,2 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ; при  $t = 60^{\circ}\text{C}$ : для мембрани ПАН-50 –  $2,1 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 –  $2,3 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ . В режимі турбулізації процесу УФ перфорованою вібруючою пластиною значення продуктивності складає при  $t = 45^{\circ}\text{C}$ : для мембрани ПАН-50 –  $4,1 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 –  $4,7 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ; при  $t = 60^{\circ}\text{C}$ : для мембрани ПАН-50 –  $4,2 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 –  $4,9 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ . Збільшення продуктивності напівпроникних УФ-мембран типу ПАН із підвищенням температури можна пояснити зменшенням в'язкості ПЕ,

що приводить до пом'якшення структури гель-шару, який утворюється на поверхні мембрани.

Аналіз отриманих даних показує, що підвищення температури ПЕ під час їх УФ-концентрування понад 45...55°C є недоцільним, оскільки значного зростання продуктивності напівпроникних мембран при цьому не відбувається. Крім того, слід урахувати, що надто високі температури призводять до небажаних біохімічних перетворень ПР та зниження їх функціональних властивостей.

За даними одержаної залежності впливу тривалості процесу УФ-концентрування ПЕ на продуктивність напівпроникних мембран типу ПАН (рис. 3.3) видно, що характер кривих залежностей має чітко виражену відмінність. За тупикового режиму протягом перших 0,5...2,0 годин відбувається різке зменшення продуктивності напівпроникних мембран. Подальша ультрафільтраційна обробка не приводить до істотного зниження продуктивності мембран. У режимі з вібраційним перемішуванням спостерігається дещо інший характер зміни продуктивності мембран залежно від тривалості процесу ультрафільтрації ПЕ. При цьому також зменшується продуктивність обох типів мембран, але в значно меншій мірі.

Отже, для тупикового режиму значення продуктивності в діапазоні часу  $\tau = 0,5...2,0 \cdot 60^2$  с знижується таким чином: для мембрани ПАН-50 – з 4,0 до 2,4  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 – з 4,7 до 2,8  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ; при  $\tau = 4 \cdot 60^2$  с продуктивність зменшується: для мембрани ПАН-50 – до 1,8  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 – до 2,2  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ . У режимі вібраційного перемішування перфорованою вібруючою пластиною значення продуктивності в діапазоні часу  $\tau = 0,5...2,0 \cdot 60^2$  с знижується таким чином: для мембрани ПАН-50 – з 5,7 до 4,8  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 – з 6,3 до 5,4  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ; при  $\tau = 4 \cdot 60^2$  с продуктивність зменшується: для мембрани ПАН-50 – до 4,2  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , для мембрани ПАН-100 – до 4,6  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ .

Зниження продуктивності напівпроникних мембран зі збільшенням тривалості процесу можна пояснити інтенсивним утворенням гель-шару

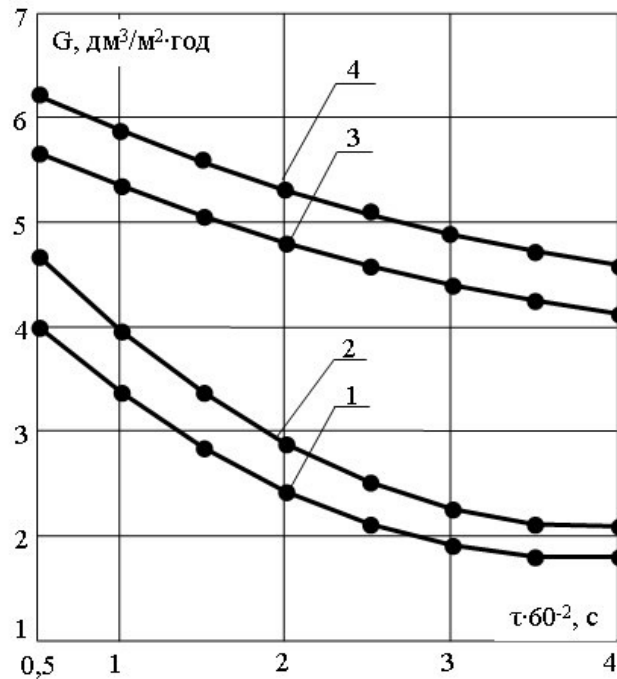


Рисунок 3.3 – Залежність продуктивності ультрафільтраційних мембран типу ПАН від тривалості процесу УФ-концентрування пектинових екстрактів за температури 50°C і тиску 0,4 МПа:

1, 3 – мембрана ПАН-50 у тупиковому режимі та в режимі з вібраційним перемішуванням відповідно;

2, 4 – мембрана ПАН-100 у тупиковому режимі та в режимі з вібраційним перемішуванням відповідно високомолекулярних речовин на їх поверхні, що значно уповільнює процес УФ-концентрування ПЕ. У режимі з вібраційним перемішуванням повільніший характер зменшення продуктивності УФ-мембран обумовлений впливом вібраційної турбулізації на товщину поляризаційного осаду, що утворюється на їх селективній поверхні.

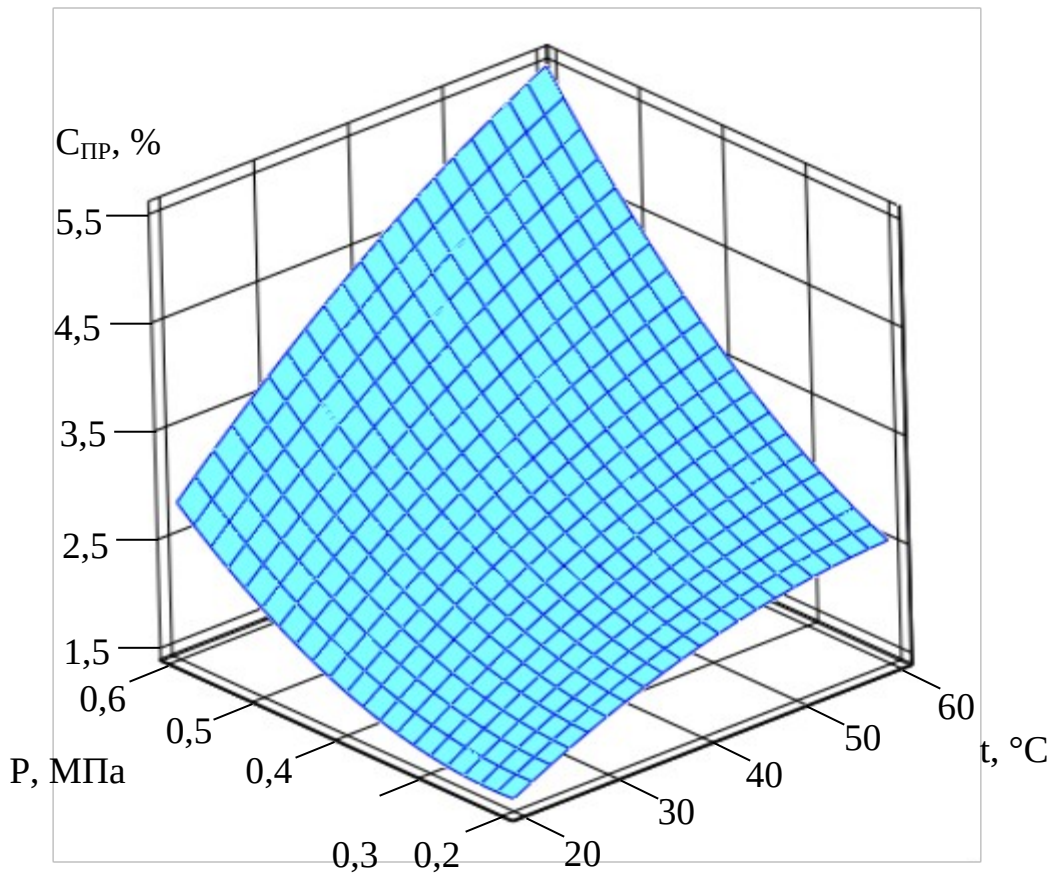


Рисунок 3.4 – Залежність зміни концентрації ПР від температури ( $t$ ) та тиску ( $P$ ) процесу УФ-концентрування ПЕ для ПАН-100

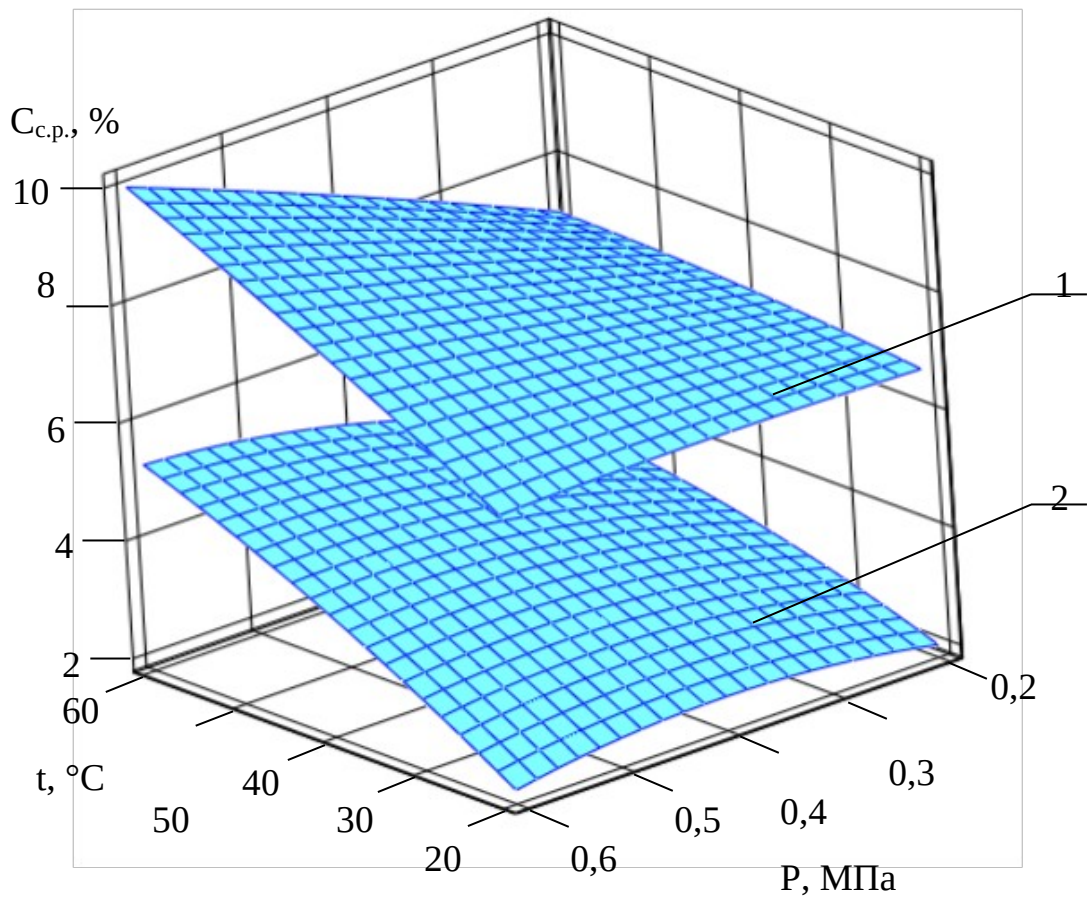


Рисунок 3.5 – Залежність зміни вмісту СР від температури ( $t$ ) та тиску ( $P$ ) процесу УФ-концентрування для ПАН-100: 1 – у концентраті; 2 – у пермеаті

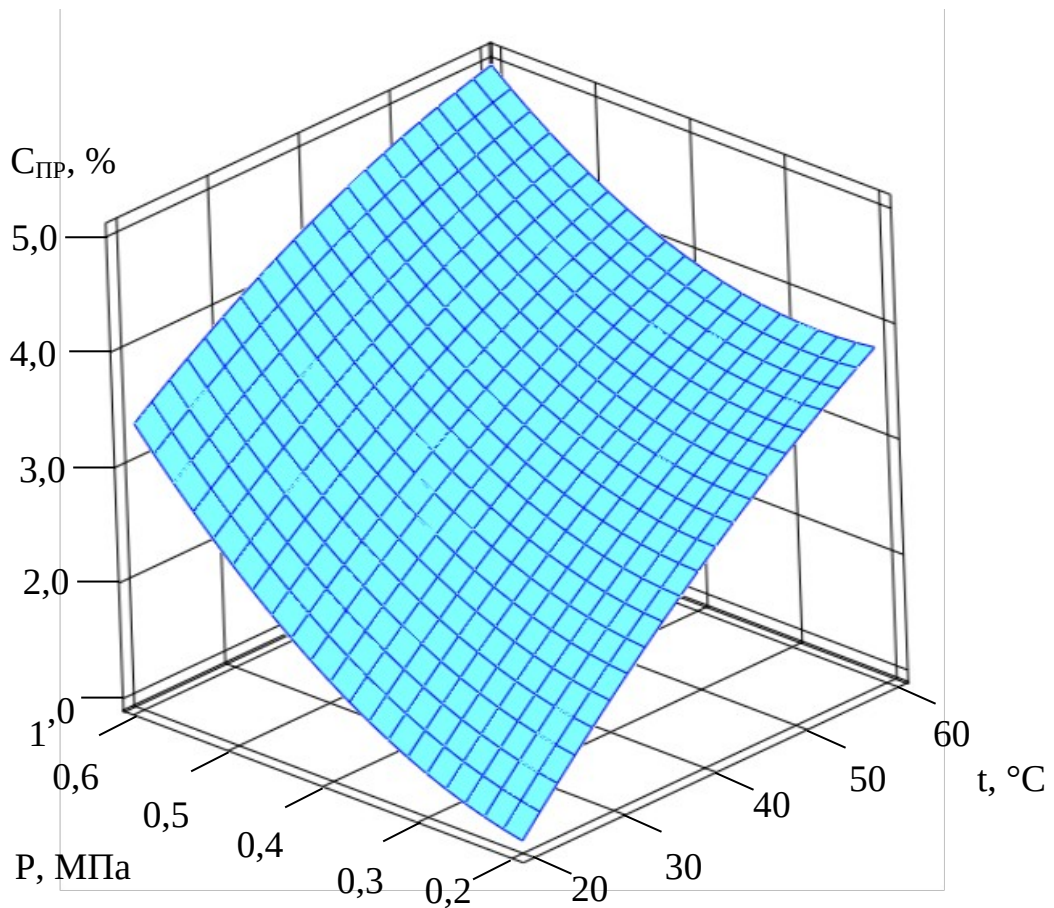


Рисунок 3.6 – Залежність зміни концентрації ПР від температури ( $t$ ) та тиску ( $P$ ) процесу УФ-концентрування ПЕ для ПАН-50

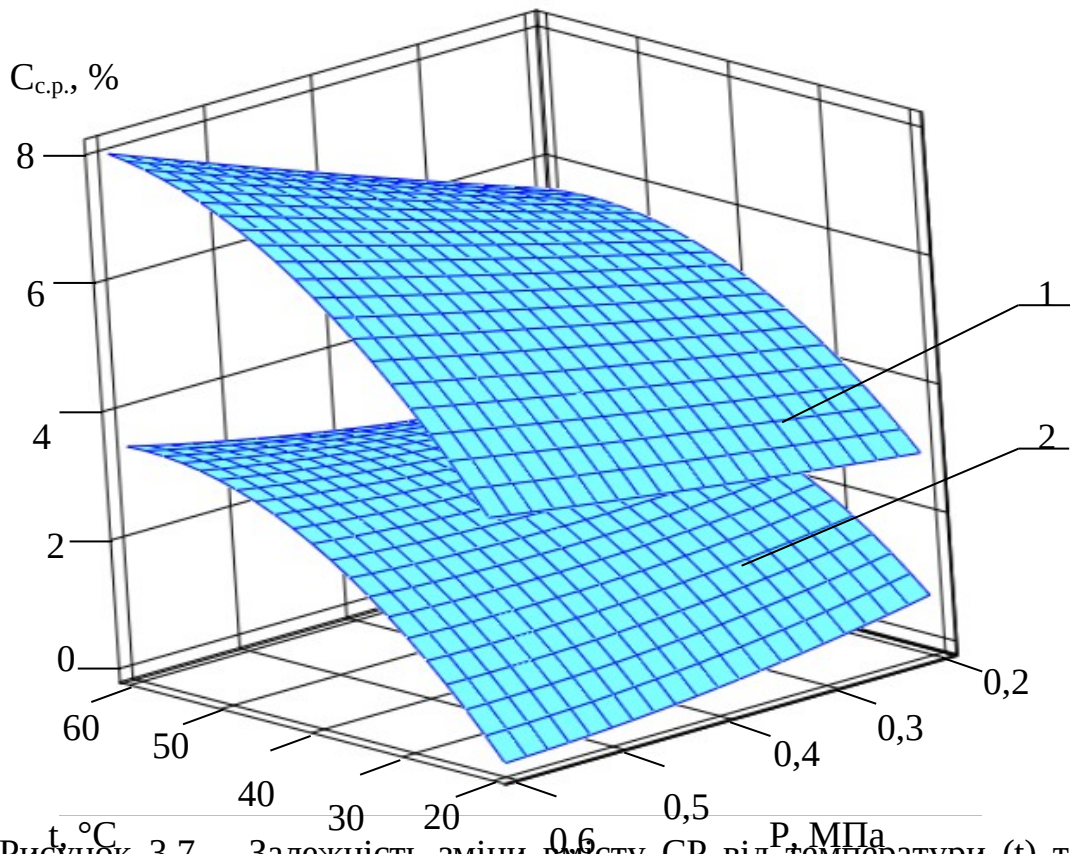


Рисунок 3.7 – Залежність зміни вмісту СР від температури ( $t$ ) та тиску ( $P$ ) процесу УФ-концентрування для ПАН-50: 1 – у концентраті; 2 – у пермеаті спостерігається за різних значень температури та тиску процесу

екстракції.



Значення якісних характеристик ПК (концентрація ПР у ПК та вміст СР у концентраті та пермеаті), отриманих у режимі з вібраційним перемішуванням, залежать від тиску, тривалості та температури. Але значна відмінність

Із наведених даних видно, що ПК, одержані із застосуванням напівпроникної мембрани ПАН-100 протягом 4 годин, мають більші значення вмісту СР та концентрації ПР, ніж ПК, одержані із застосуванням мембрани ПАН-50. При цьому слід зазначити, що наявність ПР у пермеаті була майже відсутньою для обох типів напівпроникних мембран типу ПАН.

Зміна значень концентрації ПР у пектинових концентратах одержаному УФ-концентруванням, та вміст СР у концентраті та пермеаті для обох типів напівпроникних мембран типу ПАН підтверджує складний характер нелінійних залежностей. Так, залежність концентрації ПР у ПК має значення максимумів у точках застосування максимальних параметрів для обох типів напівпроникних мембрани і спадний характер зі зменшенням параметрів процесу УФ-концентрування. Так, максимальні значення концентрації ПР у концентраті  $C_{ПР}$  (4,8% для мембрани ПАН-50 та 5,4% – для мембрани ПАН-100) спостерігаються за температури 60°C та тиску процесу 0,5...0,6 МПа, мінімальні значення  $C_{ПР}$  (1,2% для мембрани ПАН-50,  $C_{ПР} = 1,6\%$  для мембрани ПАН-100) – за температури 20°C та тиску 0,2. За визначених раціональних значень температури й тиску ультрафільтрації концентрація пектинових речовин у ПК складає:  $C_{ПР} = 3,5...4,0\%$  – із застосуванням мембрани ПАН-50 та  $C_{ПР} = 4,0...4,5\%$  – із ПАН-100 відповідно.

Значення вмісту СР у ПК для обох видів напівпроникних мембран змінюються зі збільшенням параметрів температури та тиску процесу УФ-концентрування. Так, максимальні значення вмісту СР у концентраті та пермеаті складають:  $C_{с,р,к} = 7,9\%$  та  $C_{с,р,п} = 3,6\%$  – для мембрани ПАН-50,  $C_{с,р,к} = 9,8\%$  та  $C_{с,р,п} = 5,3\%$  – для мембрани ПАН-100, якщо значення температури 50...60°C та тиску процесу 0,5...0,6 МПа; мінімальні значення:  $C_{с,р,к} = 2,9\%$  та  $C_{с,р,п} = 0,7\%$  – для мембрани ПАН-50,  $C_{с,р,к} = 5,8\%$  та

$C_{с.р.п} = 2,1\%$  – для мембрани ПАН-100, якщо значення температури 20...25°C та тиску 0,2...0,3 МПа.

На рис. 3.8 наведено графічну залежність впливу швидкості пульсуючих потоків вібраційного перемішування ПЕ під час їх УФ-обробки на продуктивність УФ-мембран типу ПАН. Із графічних залежностей видно, що зміна продуктивності як для мембрани ПАН-50, так і для ПАН-100 має однаковий характер. Зі збільшенням швидкості пульсуючих потоків до значень  $U = 1,5...1,7$  м/с спостерігається підвищення продуктивності мембран в 1,5...1,6 рази. У разі подальшого підвищення швидкості пульсуючих потоків вібраційного перемішування відбувається стабілізація процесу, при цьому продуктивність напівпроникних мембран типу ПАН збільшується, але незначно. Це пояснюється тим, що в цьому проміжку швидкостей під дією тиску пульсуючих потоків виникає ущільнення як шару осаду, так і матеріалу мембрани, а вплив перфорованої вібруючої пластини набуває свого максимального значення, при якому щільність гель-шару стає постійною.

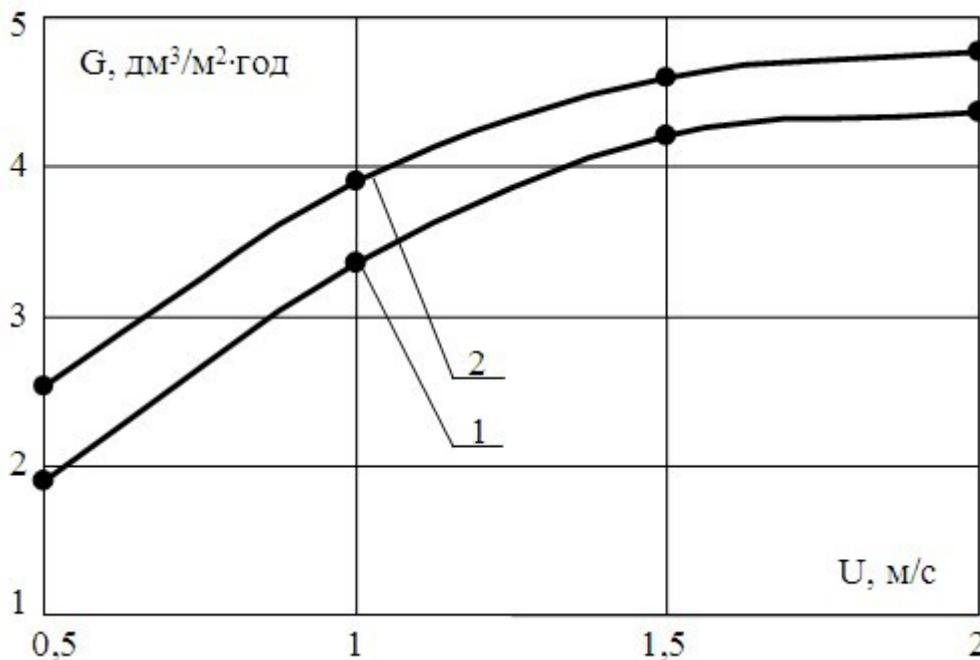


Рисунок 3.8 – Залежність продуктивності УФ-мембран типу ПАН від швидкості вібраційного перемішування процесу мембранного розділення пектинових екстрактів за температури 50°C і тиску 0,4 МПа:

1 – мембрана ПАН-50; 2 – мембрана ПАН-100



Проведені дослідження свідчать, що раціональними режимами УФ-концентрування пектинового екстракту з використанням напівпроникних мембран є такі значення: тиску – 0,4...0,5 МПа, температури – 45...55 °С, тривалості процесу УФ-концентрування – 1,5...2 години. При цьому значної інтенсивності ультрафільтраційному концентруванню ПЕ надає режим вібраційного перемішування, раціональні значення швидкості якого входять у діапазон 1,5...1,7 м/с.

Таким чином, із вищенаведених даних видно, що процес УФ-концентрування ПЕ із застосуванням напівпроникних мембран типу ПАН має складний характер. Застосування математичної моделі на основі планування експерименту для виявлення характеру зміни різних характеристик залежно від параметрів процесу УФ-концентрування є в такому випадку, безперечно, доцільним.

Порівняльний аналіз розрахункових та експериментальних характеристик одержаних ПК показав повний збіг їх значень за продуктивністю та якісними характеристиками для обох типів напівпроникних мембран.

За допомогою створеної нами математичної моделі було визначено умови проведення процесу УФ-концентрування із застосуванням двох видів напівпроникних мембран типу ПАН для забезпечення раціональних показників продуктивності УФ-мембран із наступним збільшенням концентрації ПР та СР в одержаних ПЕ, а також можливого максимального значення зазначених характеристик при раціональних параметрах.

Результати оптимізації, розраховані за допомогою математичної моделі, подано в табл. 3.4.

Ураховуючи результати проведених досліджень та дані розрахунку процесу УФ-концентрування ПЕ зі свіжого бурякового жому, встановлено, що раціональними параметрами процесу є такі:

- температура процесу  $t = 45...55^{\circ}\text{C}$ ;
- тривалість процесу  $\tau = (1,5...2,0) \cdot 60^2 \text{ c}$ ;
- тиск  $P = 0,4...0,5 \text{ МПа}$ .

Таблиця 3.4 – Розрахункові значення оптимальних параметрів УФ-концентрування ПЕ на мембранах типу ПАН

Характеристика $Y_{\max}$ , що визначалася	Параметри оптимізації			
	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau \cdot 10^{-2}, \text{c}$	$P, \text{МПа}$	$Y_{\max}$
Мембрана ПАН-50				
Продуктивність, $G$ (дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год)	60	0,5	0,6	5,6
Продуктивність, $G^T$ (дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год)	60	0,5	0,6	6,5
Концентрація ПР, $C_{\text{ПР}}$ (%)	20	1	0,6	3,1
Вміст СР концентрату, $C_{\text{с.р.к.}}$ (%)	60	1	0,6	4,7
Вміст СР пермеату, $C_{\text{с.р.п.}}$ (%)	40	0,5	0,2	2,5
Мембрана ПАН-100				
Продуктивність, $G$ (дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год)	60	0,5	0,6	6,1
Продуктивність, $G^T$ (дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год)	60	0,5	0,6	8,0
Концентрація ПР, $C_{\text{ПР}}$ (%)	60	1	0,6	2,6
Вміст СР концентрату, $C_{\text{с.р.к.}}$ (%)	60	1	0,6	13,2
Вміст СР пермеату, $C_{\text{с.р.п.}}$ (%)	60	1	0,5	6,0

Таким чином, проведені аналітичні та експериментальні дослідження показують технологічні межі регулювання режиму одержання ПК у процесі УФ-концентрування ПЕ.

Для проведення діафільтраційного очищення одержаного ПК нами було обрано періодичний процес з безперервним (циклічним) розбавленням концентрату. У цьому випадку ПК розбавляється декілька разів і стільки ж разів піддається процесу УФ-діафільтрації [21].

Чинниками, що впливають на процес УФ-діафільтрації, є такі [8; 22]:

- ступінь попереднього концентрування;
- ступінь розбавлення;
- число циклів розбавлення.

Дослідження проводилися на експериментальній установці – ультрафільтраційному модулі з вібраційним турбулізатором за температури 50°C, тиску 0,4 МПа.

Метою дослідження було визначення тривалості обробки ПК діафільтрацією залежно від вищеперерахованих чинників.

Графічна залежність продуктивності УФ-мембран від часу та кратності розбавлення за циклічного способу періодичної діафільтрації наведена на рисунку 3.9. Із цієї залежності видно, що за умови діафільтраційного очищення ПК під час його розбавлення продуктивність УФ-мембрани циклічно підвищується до певного значення. Під час подальшого концентрування ПК продуктивність мембрани знижується. При цьому тривалість кожного циклу концентрування та продуктивність УФ-мембрани суттєво не змінюються. Після першого фільтраційного циклу підвищення швидкості фільтрації не спостерігається. Імовірно, це відбувається за рахунок виходу значної кількості низькомолекулярного баласту УФ-концентрату, що призводить до зниження осмотичного тиску ПК. Така зміна пояснюється тим, що за визначеної концентрації пектинових речовин у ПК низькомолекулярні сполуки не мають значного впливу на процес ДФ-очищення.

Порівнявши характер процесів УФ-концентрування ПЕ та очищення ПК діафільтрацією, робимо висновок, що продуктивність УФ-мембрани в процесі концентрування обернено пропорційна концентрації ПР у ПЕ. У процесу ДФ під час розбавлення ПК продуктивність УФ-мембрани за пермеатом підвищується пропорційно ступеню розчинення [8].

Проаналізувавши процес діафільтрації, можна зробити висновок про те, що залежність зростання продуктивності УФ-мембрани в процесі ДФ-очищення від ступеня розчинення має нелінійний характер. Висока концентрація ПР у концентраті веде до зменшення зростання продуктивності під час розбавлення ПК. Швидкість фільтрування значно знижується за рахунок щільного гель-шару, що утворюється на селективній поверхні мембрани.

У таблиці 3.5 наведено якісні показники одержаного пектинових концентратів після їх діафільтраційного очищення.



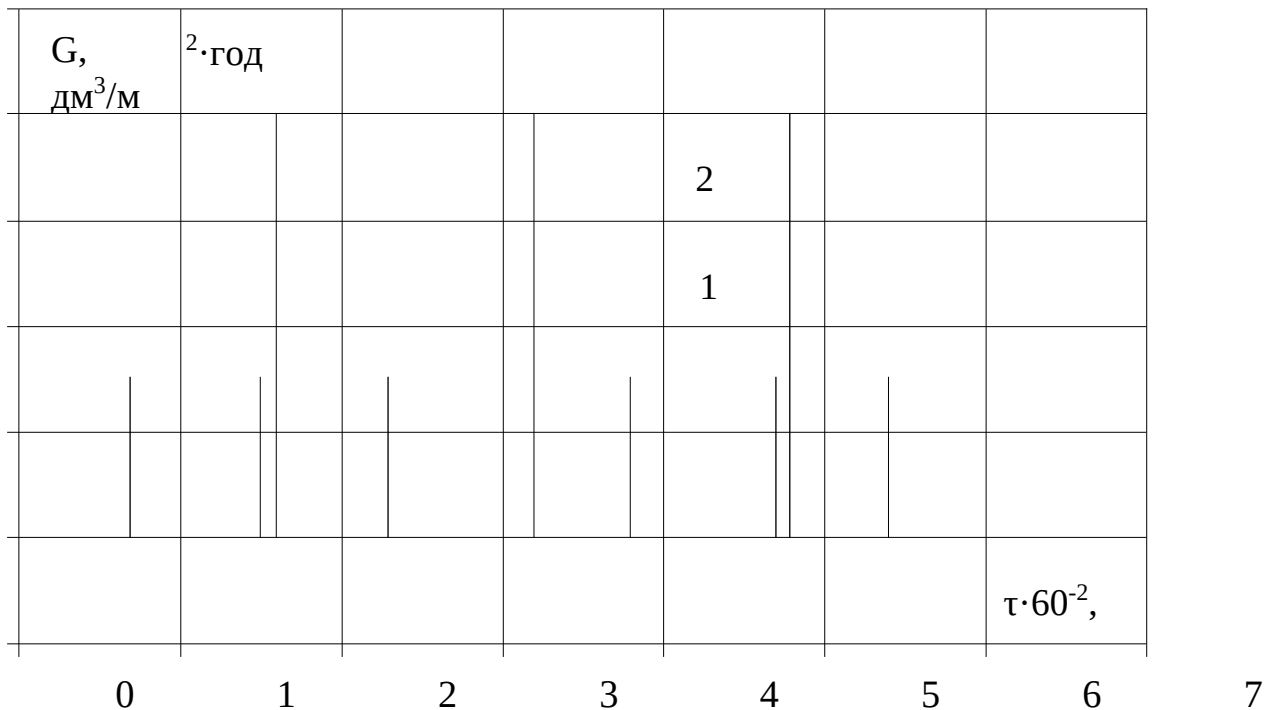


Рисунок 3.9 – Залежність продуктивності УФ-мембрани ПАН-100 від часу в процесі ДФ-очищення пектинового концентрату за тиску 0,4 МПа, температури 50°C та кратності розбавлення: 1 – n = 2 (число циклів N = 7); 2 – n = 4 (число циклів N = 4)

Із таблиці 3.5 видно, що після застосування процесу ДФ-очищення концентрація пектинових речовин у ПК залишається незмінною за одночасного зменшення вмісту сухих речовин. При цьому спостерігається суттєве підвищення показників комплексо- та драглеутворюючої здатності пектинових речовин в отриманих концентратах.

Таким чином, застосування діяфільтрації для одержання очищених ПК дозволяє підвищити якість кінцевого продукту та є доцільним за умови використання технологічного режиму за періодичною схемою з безперервним або циклічним розбавленням. При цьому для скорочення тривалості процесу ДФ-очищення ПК доцільно застосовувати попереднє розбавлення концентрату, що піддається УФ-концентруванню, та проводити процес ДФ-очищення за концентрації ПР, одержаної в результаті розбавлення [8].

Таблиця 3.5 – Фізико-хімічні показники пектинопродуктів із бурякового жому

Показник	Пектиновий концентрат			
	Екстракт свіжої сировини		Екстракт сушеної сировини	
	ПК до ДФ-очищення	ПК після ДФ-очищення	ПК до ДФ-очищення	ПК після ДФ-очищення
Вміст сухих речовин, %	7,9	5,1	7,2	4,1
Концентрація ПР, %	4,4	4,4	3,7	3,7
Зольність, %	2,1	0,03	2,5	0,04
Молекулярна маса, Да	22400	24700	17100	18900
Комплексоутворююча здатність, мг Pb <sup>2+</sup> /г	24,8	26,5	12,7	14,6
Драглеутворююча здатність за Валентом,	217	236	149	162

3.2. Одержання та обґрунтування основних науково-технічних результатів досліджень, їх аналіз з точки зору достовірності, наукової новизни та практичної цінності

Результатом роботи став запропонований ультрафільтраційний модуль із перфорованими вібруючими пластинами.

Пристрій має вібратор ексцентриковий (або іншої конструкції), поєднаний за допомогою полого штока, що має спроможність здійснювати зворотно-поступовий рух, із системою перфорованих пластин у вигляді дисків. При цьому перфоровані пластини жорстко закріплені на полуму штоці та розташовані в напірних каналах між двох напівпроникних мембран кожна. На ділянках полого штока, які не стикаються із напірними каналами, виконані

отвори для відведення пермеату. А вертикальний канал для відведення концентрату розташований уздовж напірних каналів та поєднаний із ними за допомогою отворів.

Суть розробки пояснюється кресленням, представленим на рис. 3.10 – схематичний повздовжній переріз пристрою.

Ультрафільтраційний модуль (рис. 3.10) складається із основи 1, проміжної пластини 2, ущільнювачів проміжної та опорної пластин 3, напівпроникних мембран 4, розташованих у напірних каналах перфорованих пластин у вигляді дисків 5 та опорної пластини 6. Напірні канали поєднані отворами 7 із вертикальним каналом для відведення концентрату 8. У верхній частині пристрою розташована гнучка гумова мембрана 9, манометр 10, вібратор ексцентриковий (або іншої конструкції) 11, закріплений жорстко на верхній плиті. Канал вводу 12 рідини, що розділяється, поєднаний за допомогою отворів 13 із напірними каналами (робочою камерою пристрою). Вібратор ексцентриковий 11 поєднаний із системою перфорованих пластин у вигляді дисків 5 за допомогою полого штока 14, який має спроможність здійснювати зворотно-поступовий рух. В полуму штоці виконані отвори для відведення пермеату 15. Для щільності герметизації пристрою використовується стяжка 16.

Робота пристрою для ультрафільтрації біологічних рідин полягає в наступному. Напівпроникні мембрани 4 кріпляться між опорною 6 та проміжною 2 пластинами так, щоб біологічна рідина не минала їх, а повністю проходила розділення. Пристрій для ультрафільтрації герметизують за допомогою гнучкої гумової мембрани 9, ущільнювачів проміжної та опорної пластин 3 та стяжки 16. Подають через канал вводу 12 рідину, що розділяється, із необхідним тиском (0,4...0,5 МПа). Величину тиску регулюють за допомогою манометра 10. Біологічна рідина подається до напірних каналів (робочої камери пристрою) через отвори 13. Після заповнення напірних каналів біологічною рідиною вмикають вібратор ексцентриковий 11, який через полий шток 14 передає зворотно-поступовий рух системі перфорованих пластин 5.

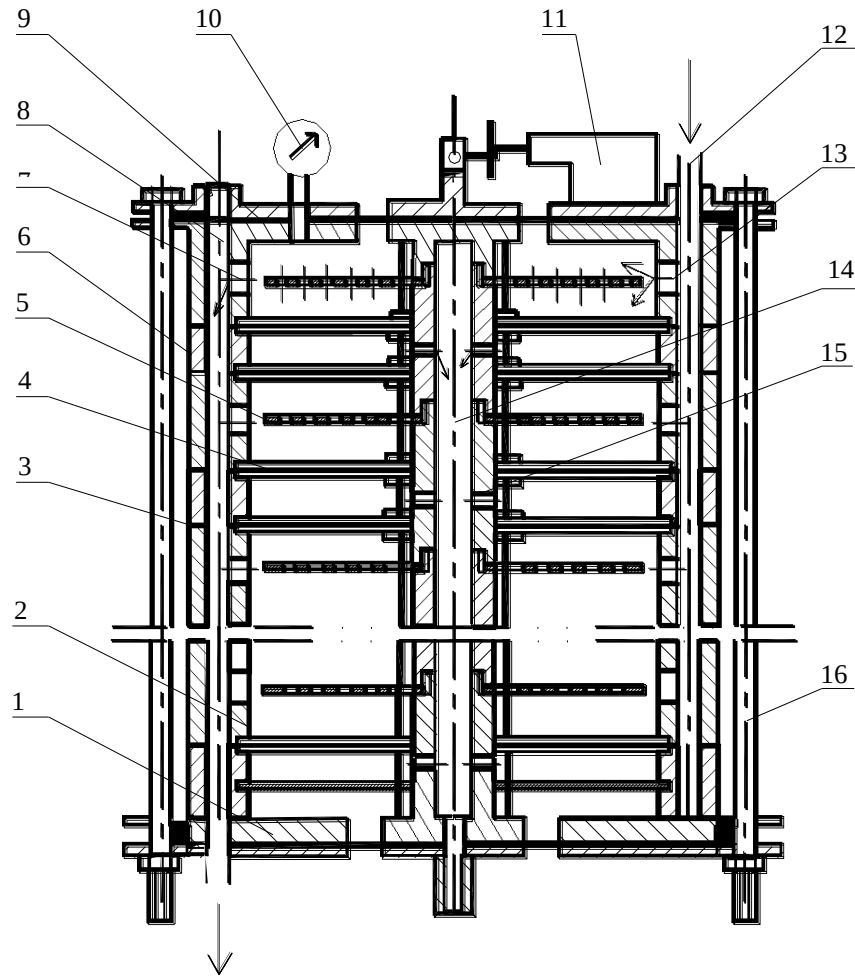


Рисунок 3.10 – Промисловий ультрафільтраційний модуль із перфорованими вібруючими пластинами для розділення біологічних рідин: 1 – основа; 2 – проміжна пластина; 3 – ущільнювач проміжної та опорної пластин; 4 – напівпроникна мембрана; 5 – перфорований вібруючий диск; 6 – опорна пластина; 7 – отвори; 8 – вертикальний канал для відведення концентрату; 9 – гнучка гумова мембрана; 10 – манометр; 11 – вібратор ексцентриковий; 12 – канал вводу рідини; 13 – отвір; 14 – полий шток; 15 – отвір відведення пермеату; 16 – стяжка

Перфоровані пластини вібрують в межах напірного каналу, здійснюючи додатковий тиск на поверхню напівпроникних мембран, та шляхом механічного впливу розбивають поляризаційний шар високомолекулярних речовин, що утворюється на поверхні мембран. Таким чином підвищується проникнення (продуктивність) мембран та швидкість процесу ультрафільтрації.



Пермеат біологічної рідини відводиться крізь отвори 15 у полуму штоці 14. Концентрат, що утворився, відводиться крізь вертикальний канал 8 за допомогою отворів 7.

Технічні характеристики розробленого ультрафільтраційного модуля із перфорованими вібруючими пластинами наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики ультрафільтраційного модуля із перфорованими вібруючими пластинами

Технічні характеристики	Одиниці вимірювань	Значення
Продуктивність за вихідною сировиною	дм <sup>3</sup> /год	120...125
Максимальна кількість напірних каналів	шт	150
Внутрішній діаметр напірного каналу	м	0,25
Висота напірного каналу	м	0,014
Тиск	МПа	0,4...0,5
Температура, рідини, що розділяється	°С	40...50
Потрібна потужність електродвигуна	кВт	0,5
Швидкість вібраційної турбулізації	м/с	1,5...1,7
Напруга	В	220 10%
Частота струму	Гц	50 1
Габаритні розміри:		
висота	м	3,5
діаметр	м	0,3
Маса	кг	100

Запропонований пристрій для ультрафільтрації біологічних рідин дозволяє усунути утворення на поверхні напівпроникних мембран поляризаційного шару високомолекулярних речовин та значно збільшити проникнення (продуктивність) мембран та швидкість процесу ультрафільтрації.

Промисловий ультрафільтраційний модуль із перфорованими вібруючими пластинами може бути використаний для підприємств як середньої та малої, так і великої потужності. Продуктивність модуля можна регулювати, збільшуючи або зменшуючи в ньому кількість напірних каналів.

### 3.3. Визначення ПР в концентратах

Визначення ПР у пектинових концентратах є складним через відсутність даних про структуру протопектину та наявність в концентраті речовин, що дають такі ж якісні реакції, що й пектин.

Для визначення в отриманих ПК наявності ПР застосовували кількісний аналіз. До розгляду обрано метод об'ємного визначення ПР [2]. Похибка визначення цього методу менша, ніж традиційного кальцій пектатного, до 0,01%. При цьому точність отриманих результатів добре відтворювана.

До 200 мл отриманого екстракту додають 2,5 мл 40-відсоткового розчину гідроксиду натрію та залишають за кімнатної температури протягом 15 хв. Утворену пектову кислоту осаджують 10 мл концентрованої соляної кислоти та центрифугують при 3000 об./хв протягом 10 хв у градуйованій пробірці. Користуючись калібрувальною кривою (табл. 1.3) та кількістю отриманого осаду, визначають концентрацію ПР (пектину).

Таблиця 1.3 – Об'єм осаду пектової кислоти залежно від концентрації вихідного розчину

Концентрація розчину, %		Об'єм осаду*, мл
Пектин	Галактуронан	
0,06	0,035	11,0
0,10	0,07	21,5
0,15	0,105	30,0
0,20	0,140	34,5
0,25	0,175	39,7
0,30	0,210	44,0
* Середньоарифметичні дані		

Метод об'ємного визначення ПР є простим та загальнодоступним, що може використовуватися в лабораторіях будь-якого типу. Разом із тим, ураховуючи умови промисловості, було зроблено висновок про необхідність прямого методу визначення ПР.

### 3.4. Удосконалення технологічної схеми одержання пектинового

концентрату

Одержані результати експериментальних досліджень процесу екстрагування пектинових речовин лягли в основу удосконаленої нами технологічної схеми виробництва пектинового концентрату, що представлено на рис. 3.11.

Згідно схеми (рис. 3.11) одержанні нами пектинові екстракти з високими якісними показниками та показником  $pH=2,8...3,0$  були направлені на ультрафільтраційне (УФ) концентрування та діалізаційне (ДФ) очищення, що проводились мембранними методами. Після ДФ-очищення спостерігалось підвищення показника  $pH$  ПК до значень  $5,5...6,5$ . У табл. 3.7 наведено якісні показники одержаних пектинових концентратів після їх УФ-концентрування та ДФ-очищення.

Із табл. 3.7 видно, що після застосування процесу ДФ-очищення концентрація пектинових речовин у ПК залишається незмінною за одночасного зменшення вмісту сухих речовин. При цьому спостерігається суттєве підвищення показників комплексоутворюючої здатності пектинових речовин в отриманих концентратах.

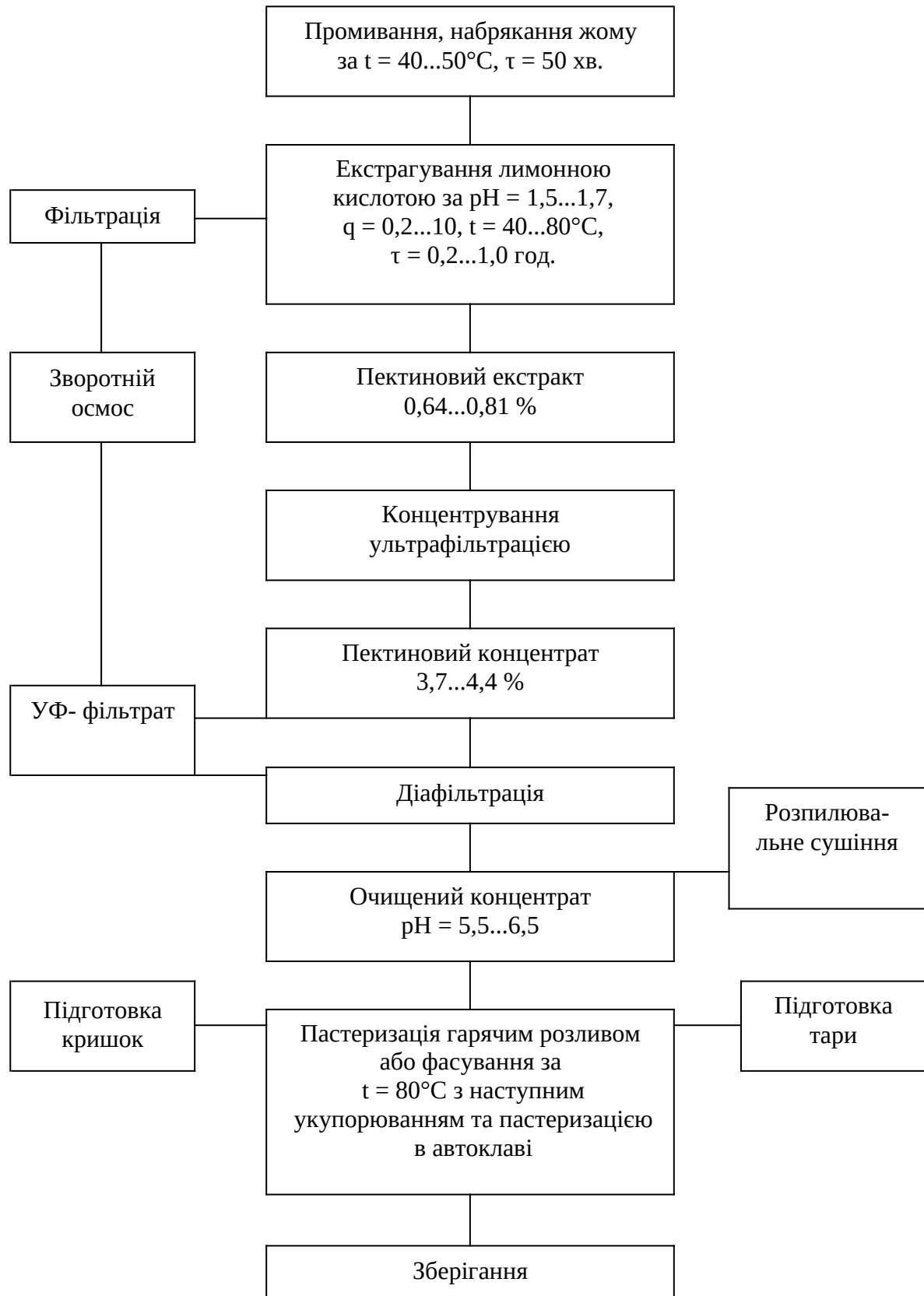


Рисунок 3.11 – Технологічна схема отримання бурякового пектинового концентрату

Таблиця 3.7 – Фізико-хімічні показники пектинових концентратів із бурякового жому

Показник	Пектиновий концентрат із сушеної сировини	
	ПК до ДФ- очищення	ПК після ДФ- очищення
Вміст сухих речовин, %	7,2	4,1
Концентрація ПР, %	3,7	3,7
Зольність, %	2,5	0,04
Молекулярна маса, Да	17100	18900
Комплексоутворююча здатність, мг Рb <sup>2+</sup> /г	12,7	14,6
Діапазон рН в системі	2,8...3,0	5,5...6,5
Вміст цукру білого в 1 кг концентрату, кг	-	0,243
Сумарний вміст сухих речовин (з урахуванням вмісту цукру білого), %	-	28,4

### 3.5 Розробка принципової схеми технологічної лінії з виробництва пектинових концентратів із пектинвмісної сировини

Розроблене промислове обладнання для екстракції рослинної сировини може використовуватись у харчовій, фармацевтичній та мікробіологічній промисловостях як окремо для отримання ПЕ з рослинної сировини, так і в складі технологічних ліній з виробництва різних видів пектинопродуктів (рідких або сухих пектинових концентратів, пектину, модифікованого пектину тощо).

Нами розроблена принципова схема технологічної лінії з безвідходного виробництва сухих пектинових концентратів на основі ПЕ, отриманих із використанням розробленого екстракційного обладнання, яку наведено на рис. 3.12.

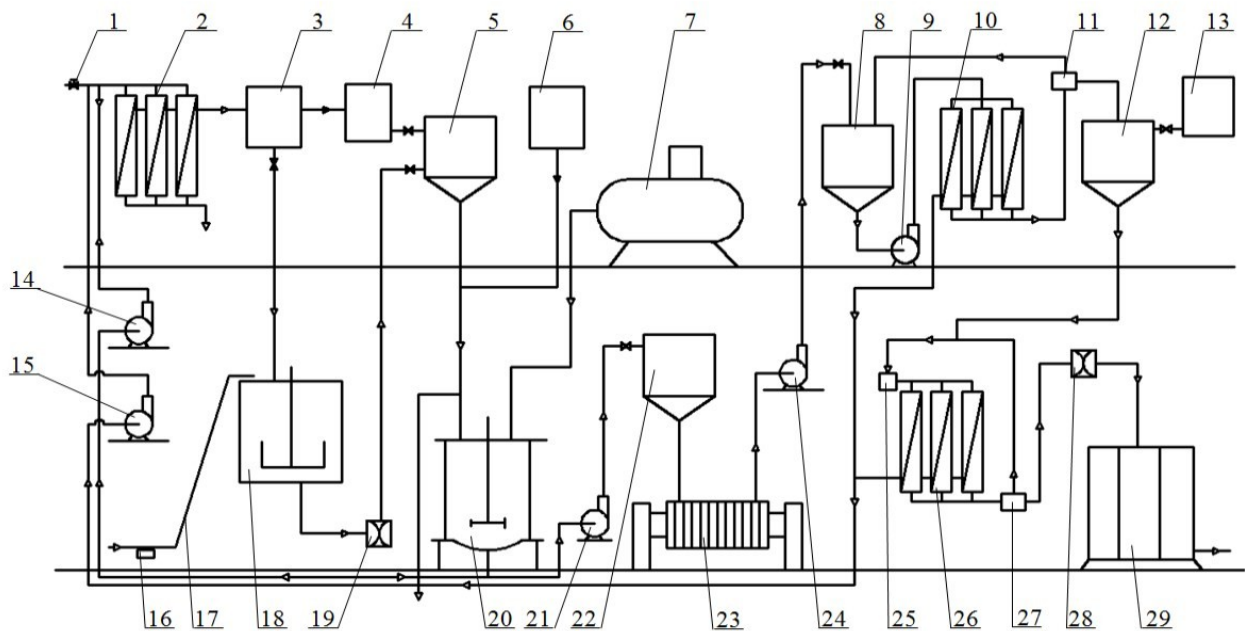


Рисунок 3.12 – Принципова схема технологічної лінії з виробництва сухих пектинових концентратів (пектину): 1 – вентиль; 2 – зворотноосматична установка; 3, 13 – збірник очищеної води; 4 – бак з розчином кислоти; 5, 8, 12, 22 – збірник; 6 – ємність з нейтралізатором; 7 – компресор; 9, 14, 15, 21, 24 – насос відцентровий; 10 – ультрафільтраційна установка; 11, 27 – рефрактометр; 16 – ваги; 17 – транспортер; 18 – ємність для змішування; 19, 28 – насос мембранний; 20 – екстрактор; 23 – фільтрпрес; 25 – насос із префільтром; 26 – діафільтраційна установка; 29 – розпилювальна сушарка

Відповідно до схеми (рис. 3.12) свіжий або сушений буряковий жом подається транспортером (17) через поточні ваги (16) до ємності (18), де змішується з підготовленою на зворотноосматичній установці (2) водою, що подається через вентиль (1) до збірника (3). Далі одержана суміш за допомогою мембранного насоса (19), через збірник (5), надходить до екстрактора (20), де піддається промиванню-набряканню за температури 40...50°C впродовж 35...50 хвилин. У процесі набрякання з бурякового жому видаляються баластні речовини (залишок цукру, мінеральні елементи, барвники, частинки пилу та димових газів тощо), які значно погіршують органолептичні та фізико-хімічні показники

готового продукту. Промитий жом,

що набряк, відділяється від рідкої фази стисненим повітрям, одержаним

компресором (7), перегородку в основі екстрактора (20) і повертається до зворотноосматичної установки (2) на повторну очистку.

Далі в робочу ємність екстрактора (20) подається кислотний розчин з бака (4) в потрібному співвідношенні (1:10). Після чого суміш екстрагується. Після закінчення процесу екстракції до робочої зони екстрактора з ємності (6) надходить нейтралізуюча речовина для нейтралізації ПЕ. Нейтралізований екстракт стисненим повітрям видаляється через фільтрувальну перегородку екстрактора і за допомогою відцентрового насоса (21) подається до збірника (22). Жом, що залишився в робочій камері екстрактора, вивантажується через вхідний патрубок струменем води, що надходить у комбінований патрубок екстрактора, і транспортується для подальшого використання.

Екстракт бурякового пектину – прозора рідина яскраво-сірого кольору; вміст ПР у ній складає 0,5...0,9%; густина екстракту – 1,01...1,02 кг/м<sup>3</sup>; рН – 1,6...1,7.

Із збірника (22) екстракт через фільтрпрес (23), де попередньо очищається на фільтрувальному полотні, подається відцентровим насосом (24) до збірника (8). Далі ПЕ відцентровим насосом (9) подається до УФ-установки (10), де проходить процес УФ-концентрування до вмісту ПР 3,6...5,1%. При цьому вміст СР у концентраті, що визначається за допомогою автоматичного поточного рефрактометра (11), складає 7,1...8,2%

Після УФ-концентрування ПК подається до збірника (12), в якому відбувається процес розбавлення. Далі ПК насосом із префільтром (25) подається в ДФ-установку (26), де відбувається процес ДФ-очищення. Кислотність очищеного ПК складає рН = 3,7, а вміст СР – 3,0...5,3%.

Далі ПК направляється на консервування або на сушіння. У вищезазначеній технологічній схемі ПК піддається сушінню. При цьому для одержання більш якісного продукту та збільшення тривалості його



зберігання ПК за допомогою мембранного насоса (28) подається до розпилувальної сушарки (29), після якої сухий ПК (пектин) надходить на пакування.

У випадку направлення продукту на консервування очищений пектиновий концентрат піддається стерилізації методом гарячого розливу в бутилі ємністю 3 дм<sup>3</sup> або 10 дм<sup>3</sup> з додаванням масової частки цукру 24...25 % за температури не нижче 89 °С з послідуочим охолодженням на повітрі.

Після охолодження бутилі миють, висушують і зберігають у чистих сухих, захищених від потрапляння прямих сонячних променів приміщеннях за температури 2...25 °С та відносної вологи 75 %. Термін зберігання 8 місяців. Після закінчення цього терміну масова частка ПР суттєво зменшується.

Пермеат, що утворився під час УФ-концентрування та ДФ-очищення ПЕ, із мембранних установок (10) та (26) надходить до зворотноосмотичної установки (2). Тонке очищення пермеату зворотним осмосом дозволяє одержати рідину, подібну до дистильованої води. Одержаний пермеат зі зворотноосмотичної установки (2) використовується для технологічних потреб. Утворений на поверхні зворотноосмотичної мембрани ПК може бути повернений до мембранної установки на повторне очищення.

## 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ СОКІВ

### 4.1. Об'єкти та предмети дослідження

Предмет дослідження – сік яблучний, ультрафільтраційні мембрани, експериментальний зразок апарата для освітлення соку.

Об'єкт дослідження – процес освітлення соку.

Завдання дослідження:

- провести аналітичні дослідження процесів освітлення соку;
- розробити методику для визначення швидкості ультрафільтрації;
- провести дослідження впливу тиску на продуктивність мембрани;
- розробити конструкцію апарата для забезпечення розробленого способу освітлення;
- здійснити комплекс заходів для практичного впровадження розробки у виробництво;
- оцінити економічний та соціальний ефект від впровадження розробки у виробництво.

### 4.2 Методика та експериментальна установка для дослідження параметрів процесу ультрафільтрації плодovих соків

Удосконалений процес освітлення плодovого соку реалізується за допомогою впровадження у склад лінії для виробництва соку мембранної ультрафільтраційної установки. Основними завданнями під час проведення досліджень процесу освітлення соку було швидкості процесу ультрафільтрації, продуктивності, а також селективності апарата.

### 4.3 Експериментальна установка для дослідження процесу ультрафільтрації соку

До складу пілотної установки для дослідження кінетичних і гідродинамічних закономірностей процесу ультрафільтрації водопровідної води (рисунок 4.1) входили: мембранні модулі 4 АР - 0,2 на базі порожніх волокон ВПУ - 100 ПА, перистальтичний насос 2 з реверсивним обертанням і джерело постійного струму.

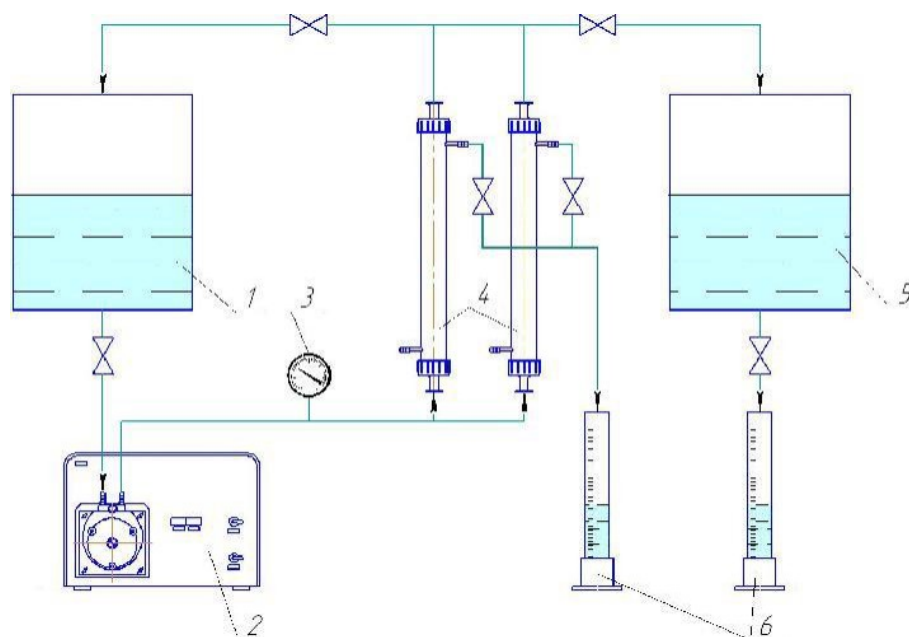


Рисунок 4.1 – Схема експериментальної установки УПВ - 0,6 для ультрафільтрації соків з мембранними модулями АР - 0,2 на базі порожніх волокон ВПУ - 100 ПА: 1 – ємність з вихідним соком; 2 – насос перистальтичний; 3 – манометр; 4 – мембранний модуль з порожніми волокнами; 5 – ємність з концентратом; 6 – мірний циліндр з пробами соку

Також до складу пілотної установки на базі порожніх волокон входили ємності для вихідного розчину 1, концентрату 5, дезинфікуючого розчину (3% -й розчин перекису водню). Манометр 3 призначався для створення в системі необхідної величини тиску. Для визначення пропускної здатності

мембран призначалися мірні циліндри 6. Експериментальна установка дозволяла здійснювати прямі і зворотні промивання половолоконного мембранного модуля пермеат відповідно до заявленої програмою досліджень.

#### 4.4. Дослідження процесу ультрафільтраційного освітлення плодового соку

З метою встановлення раціональних параметрів проведення процесу освітлення соку та раціональних параметрів проведення процесу необхідно було провести серію експериментальних досліджень.

На першому етапі досліджень необхідно було визначити залежність швидкості процесу ультрафільтрації. На рисунках 4.6.-4.8 представлені відповідні графічні залежності. Під час проведення експериментальних досліджень змінювався змінювався тиск сировини, яка подається, а також тривалість процесу.

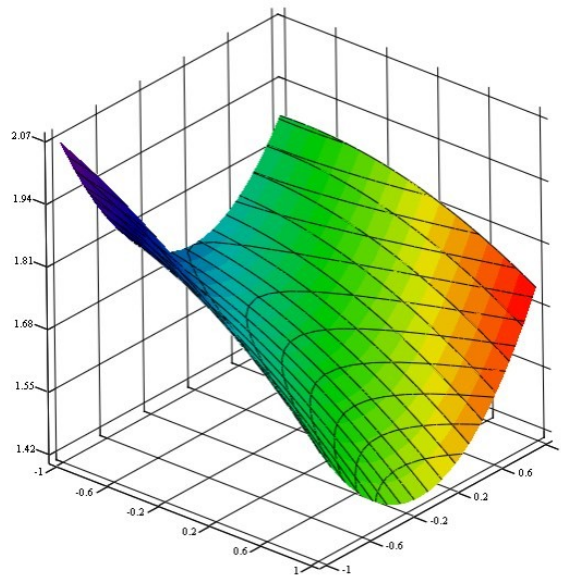


Рисунок 4.6 – Залежність продуктивності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,090 мкм)

Проведені дослідження показують, що зі збільшенням тривалості процесу обробки сировини продуктивність зменшується. Дослідження процесу проводили для значень тиску 8 МПа, 10 МПа, 12 МПа та 16 МПа.

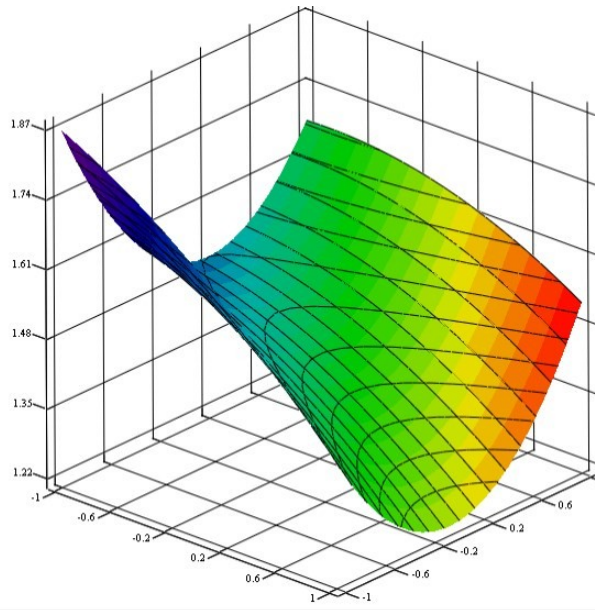


Рисунок 4.7 – Залежність продуктивності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,80 мкм)

Під час проведення експериментальних досліджень змінювався хід плунжера за допомогою зміни кривошипно-шатунного механізму. Хід поршня має значення 0,06 м, 0,07 м та 0,08 м.

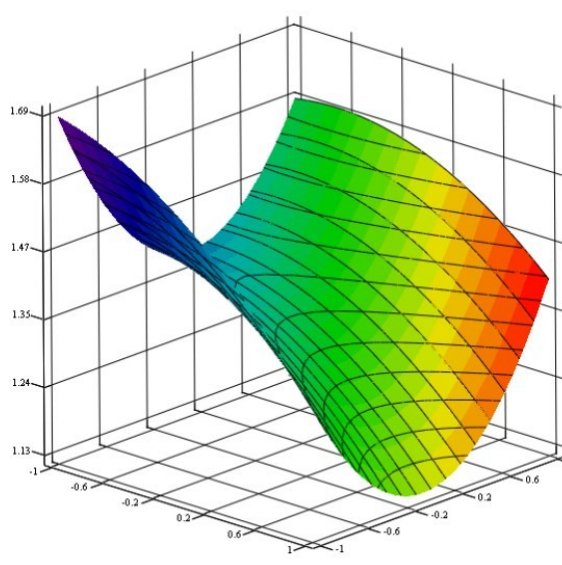


Рисунок 4.8 – Залежність продуктивності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,70 мкм)

Наступним етапом проведення досліджень було визначення селективності мембранного апарата, залежно від швидкості руху рідини та тривалості процесу.

На рисунках 4.9-4.11 представлені графічні залежності значень селективності мембранного апарата, залежно від швидкості руху рідини та тривалості процесу. Під час проведення експериментальних досліджень змінювався тиск сировини, а також швидкість руху сировини.

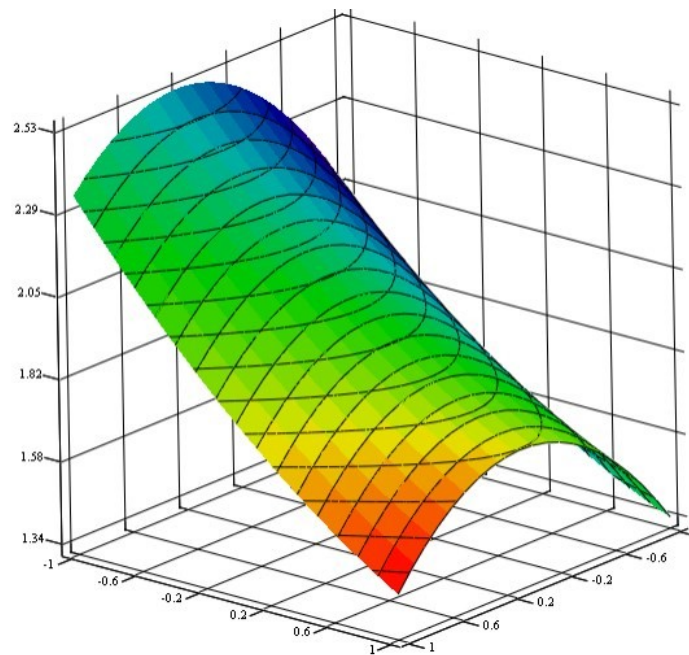


Рисунок 4.9 – Залежність продуктивності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,90 мкм)

Під час проведення досліджень діаметр вихідного сопла змінювався. Були використані спеціальні насадки вихідного сопла діаметром 0,002 м, 0,003 м та 0,004 м.

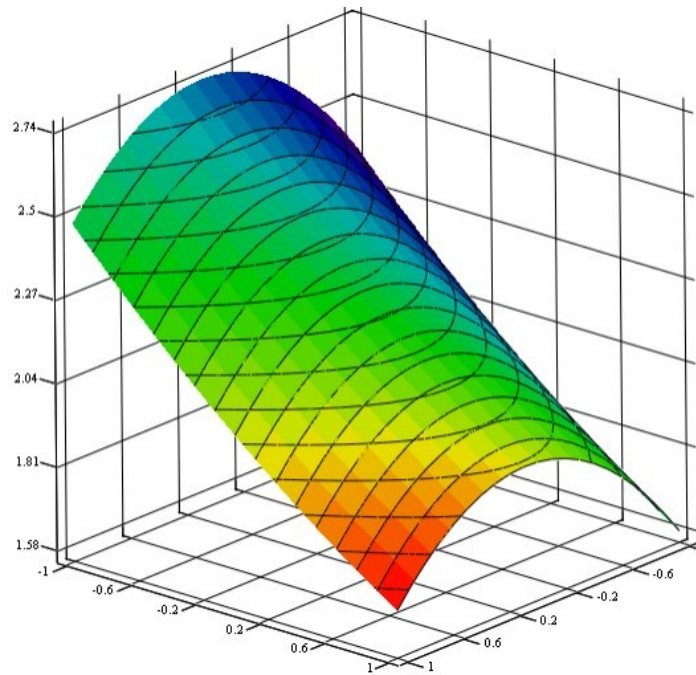


Рисунок 4.10 – Залежність селективності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,80 мкм)

На першому етапі зі зменшенням збільшенням швидкості спостерігається збільшення значення продуктивності мембран. Потім спостерігається певне зменшення продуктивності, що пояснюється зниженням пропускної здатності мембрани.

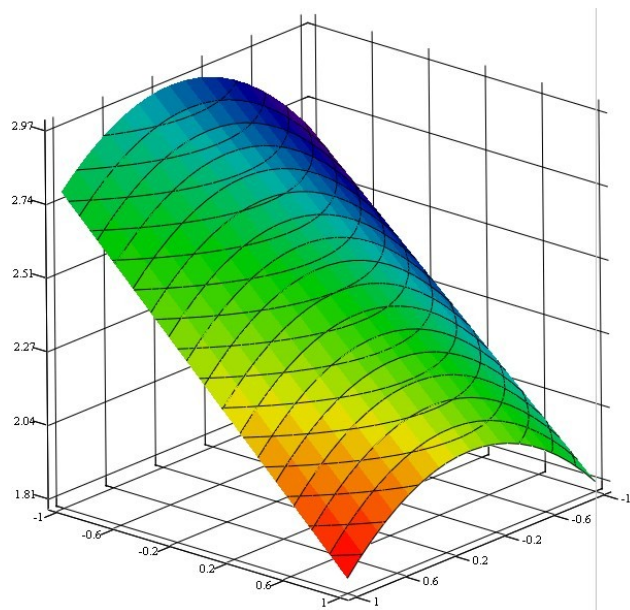


Рисунок 4.11 – Залежність селективності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,70 мкм)

Таким чином встановлено, що на середній розмір мікропор має вплив хід поршня, діаметр впускного патрубку, а також діаметр вихідного сопла.

На рисунках 4.12 – 4.14 показано залежності продуктивності.

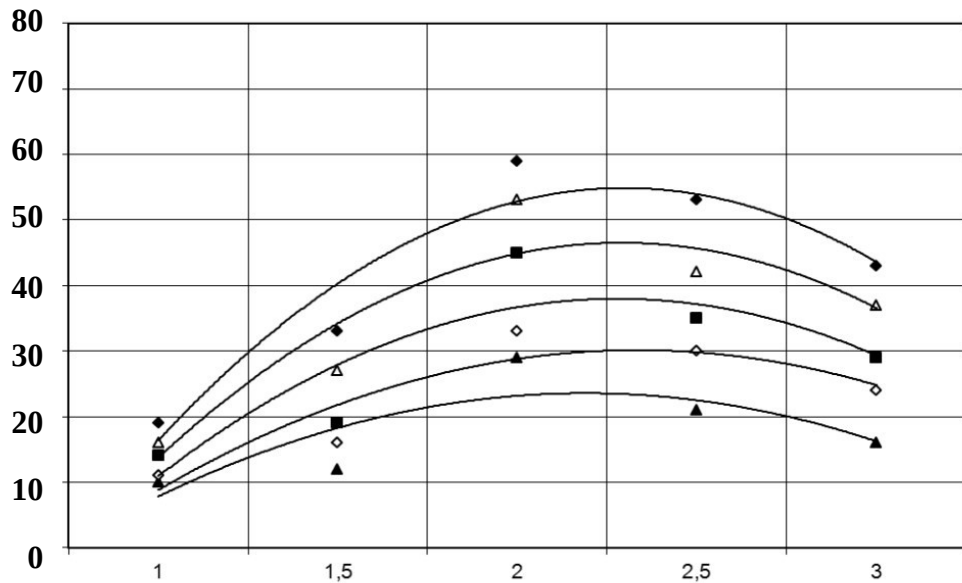


Рисунок 4.12 – Залежність селективності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,90 мкм)

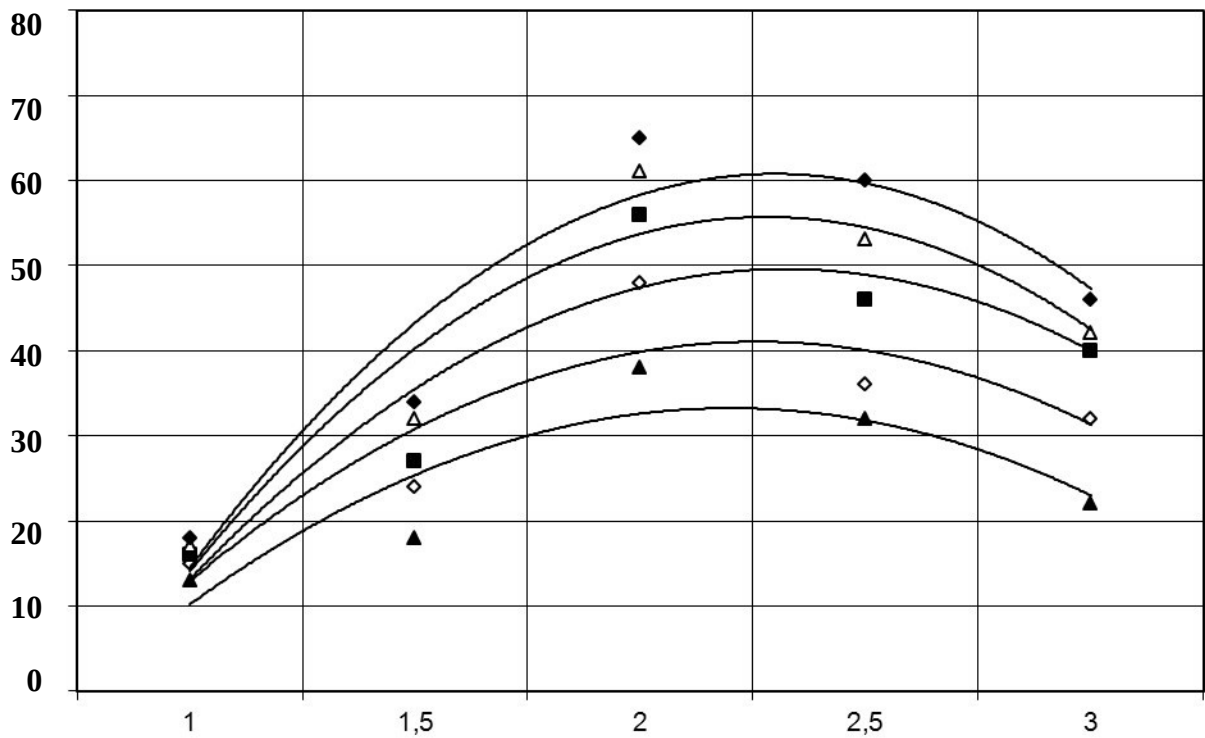


Рисунок 4.13 – Залежність продуктивності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,80 мкм)



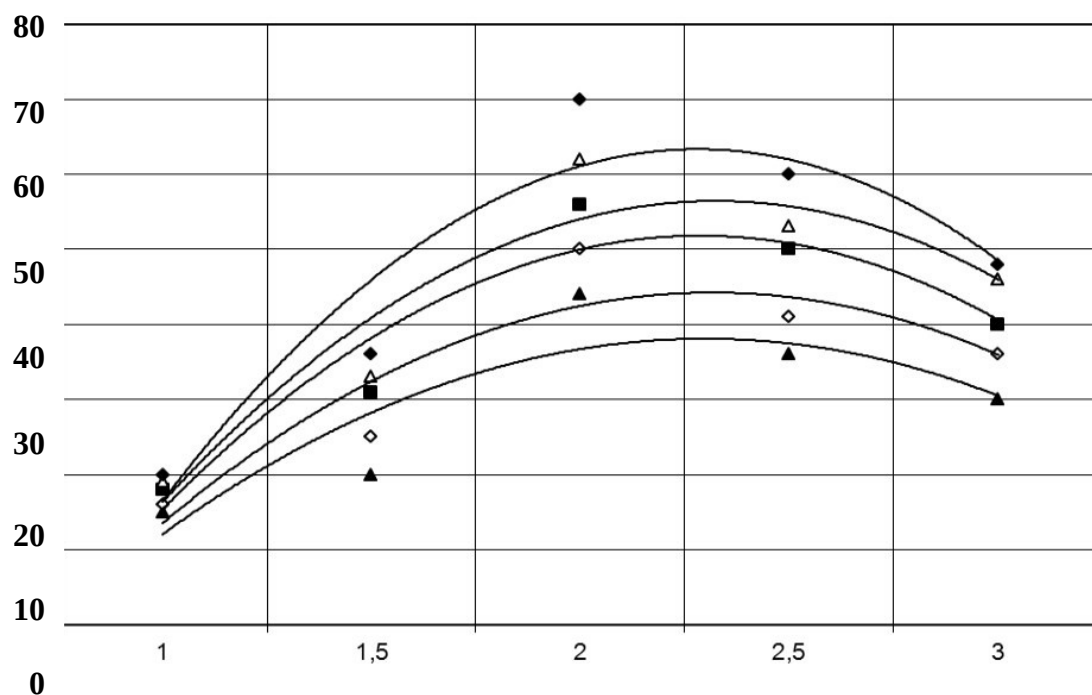


Рисунок 4.14 – Залежність продуктивності мембранного апарата від тривалості проведення процесу (розмір пор мембран 0,70 мкм)

Встановлено, що для здійснення процесу освітлення соку раціонально використовувати мембрану із діаметром пор 0,80 мкм і тиском 0,6 МПа.

4.5 Експериментальна установка для проведення мембранної обробки соку

Трубочасті апарати є відносно новим інструментом мембранного поділу. Трубочасті елементи (рисунок 4.15) являють собою одно- і багатоканальні трубки з пористих кераміки, металу, скло і граффітопласта.

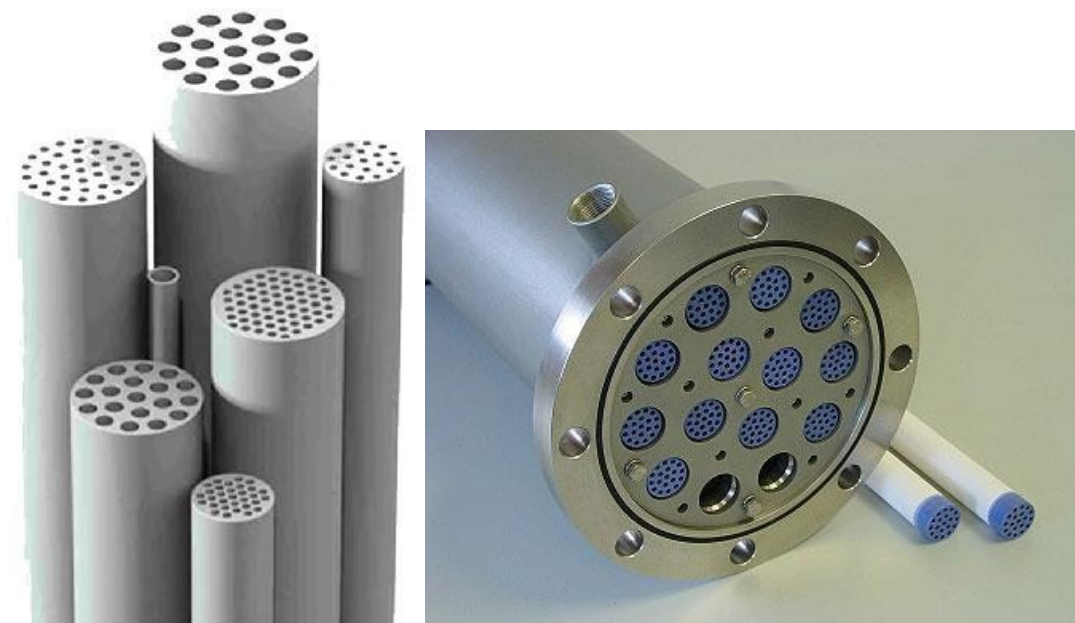


Рисунок 4.15 – Зовнішній вигляд керамічних трубчастих мембранних елементів

Мембранний апарат з трубчастими мембранами має корпус 1 (рисунок 5.5) у вигляді металевої або пластмасової труби зі штуцерами виведення пермеата, всередині якої паралельно розміщується кілька прямих керамічних трубок 3 з дренажним матеріалом 2, відкриті кінці яких герметично відокремлюються від корпусу. По кінцях корпусу розташовуються камери, гідравлічно з'єднані з внутрішніми порожнинами трубок. Схематично по влаштуванню такі апарати близькі до половолоконной. Вихідний розчин подається в кінцеву камеру, а з неї розподіляється всередину трубок, проходить по ним і у вигляді концентрату виводиться з протиположного кінця модуля, а пермеат відводиться зовні з порожнини між трубчастим модулем і корпусом. Перевагою цих апаратів є можливість очищення рідин з великою кількістю колоїдів, високомолекулярних речовин, тонко і грубодисперсних суспензій, аж до великих, а також відносна легкість заміни поламаних модулів

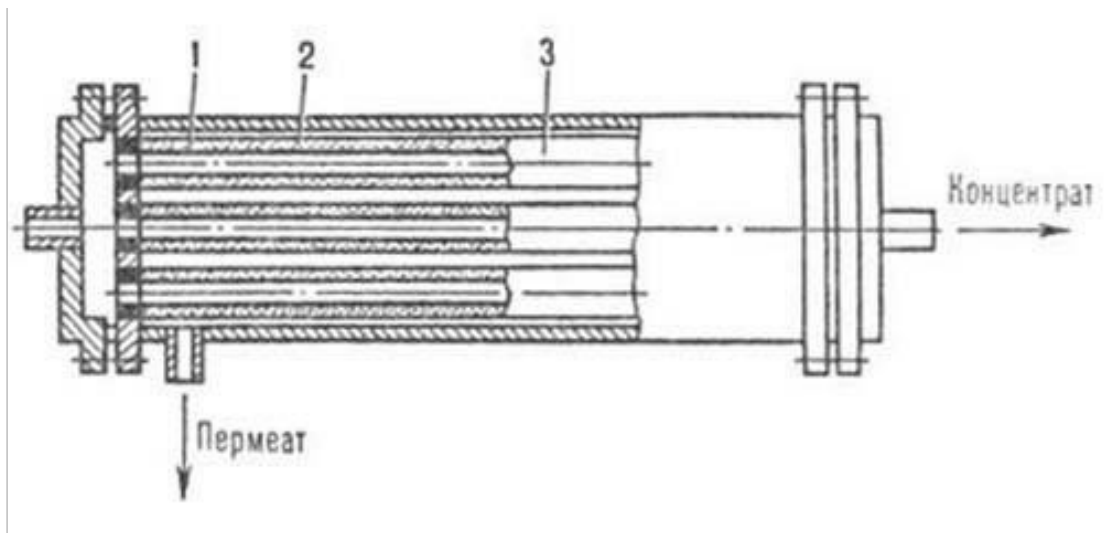


Рисунок 4.16 – Мембраний апарат з трубчатими мембранами:  
1 – корпус; 2 – дренажний матеріал; 3 – керамічна трубка

До недоліків апаратів з трубчастими мембранними елементами слід віднести більш складний монтаж трубчастих елементів, ніж у фільтрпресамі, низька щільність упаковки мембран (до  $100 \text{ м}^2 / \text{м}^3$ ), для апаратів з мембраною усередині трубки - мала питома поверхня мембран в апараті ( $60 \dots 200 \text{ м}^2 / \text{м}^3$ ). Труднощі забезпечення високої рівномірності нанесення внутрішнього покриття в трубках і отримання високої селективності розділення обумовлює використання трубчастих елементів в основному для мікро- і ультрафільтрації рідких середовищ.

## ВИСНОВКИ

1. На сьогоднішній день досліджувалася залежність ступеня освітлення яблучного соку на ультрафільтраційних мембранних установках від діаметра пор мембран. Експериментальні дані свідчать про те, що мембрани з діаметром пор 0,025-0,045 мкм забезпечують високу ступінь видалення колоїдних речовин при збереженні в соку вихідних кількостей цукрів, вітамінів та інших цінних розчинних речовин.

2. Мембрани з великим діаметром пор не дозволяють отримувати необхідну ступінь освітлення. Мембрани з більш дрібними порами мають низьку пропускну здатність. Проведені дослідження показують, що ультрафільтрація є економічно ефективним способом освітлення, яка має суттєві переваги перед традиційними способами освітлення. Однак слід зазначити, що соки повинні бути добре підготовлені. Дослідження по визначенню впливу попередньої підготовки соку на швидкість і фільтрувальну здатність ультрафільтраційних установок при обробці яблучного соку показали, що найбільш ефективна обробка ферментами з подальшою сепарацією. Застосування додаткового освітлення яблучного соку желатином і кізельземом перед ультрафільтрацією показало низьку ефективність. Залежно від типу ультрафільтраційної установки, що використовується яблучний сік часто перед ультрафільтрацією обробляють ферментами і сепарують або фільтрують.

3. Встановлено, що ультрафільтраційні мембрани затримують колоїди, при цьому пропускають всі цінні компоненти соку такі як цукор, органічні кислоти, мінеральні речовини, розчинні вітаміни і амінокислоти. В результаті застосування ультрафільтраційних установок харчова і біологічна цінність освітлених соків не знижується.

4. На підставі аналізу науково-технічної літератури, комплексних патентних досліджень було зроблено висновок, що основними причинами відсутності пектинового виробництва в харчовій промисловості України є

недостатній рівень теоретичних розробок процесів концентрування та очищення пектинових екстрактів з пектинвмісної сировини, відсутність високоефективного енергоощадного обладнання пектинового виробництва. Доведено необхідність дослідження процесів мембранної обробки пектинових концентратів, з метою удосконалення процесу виробництва пектинового концентрату з подальшим його використанням в технологіях оздоровчої кулінарної продукції.

5. Доведено, що за швидкістю фільтрації та селективністю за пектиновими речовинами ультрафільтраційні мембрани типу ПАН є перспективними для здійснення УФ-концентрування пектинових екстрактів. Визначені раціональні технологічні параметри процесу УФ-концентрування ПЕ. Встановлено, що робочий тиск процесу повинен дорівнювати 0,4...0,5 МПа, температура фільтрації – 45...55°C, тривалість процесу –  $(1,5...2,0) \cdot 60^2$  с.

6. Проаналізовано чинники, що впливають на рівень концентраційної поляризації на поверхні напівпроникних мембран типу ПАН в процесі УФ-концентрування. Встановлено раціональні технологічні параметри процесу УФ-концентрування пектинових екстрактів з використанням заходів його інтенсифікації. Доведено, що застосування вібраційного перемішування зі швидкістю пульсуючих потоків пектинових екстрактів в міжмембранному каналі 1,5...1,7 м/с дозволяє інтенсифікувати процес УФ-концентрування пектинових екстрактів порівняно з УФ-концентруванням в тупиковому режимі в 1,5...1,6 рази.

7. Визначено вплив ступеня та числа циклів розбавлення пектинового концентрату на продуктивність УФ-мембрани ПАН-100 за очищення пектинових концентратів в процесі діафільтрації. Встановлено, що при кратності розбавлення 2 кількість циклів процесу ДФ-очищення складає 7, а при кратності розбавлення 4 – відповідно 4. Доведено, що після застосування процесу ДФ-очищення концентрація пектинових речовин у ПК залишається

незмінною.

8. Встановлено фізико-хімічні показники якості кінцевого продукту – пектинового концентрату на основі пектинових екстрактів, що одержані за раціональних параметрів процесу ультрафільтрації.

9. Розроблені дослідно-промислові зразок ультрафільтраційного модуля з плоскими фільтрувальними елементами та вібраційним перемішуванням рідини над поверхнею мембран. Визначені основні техніко-економічні показники роботи модуля. Представлено технологічну схему одержання пектинових концентратів, а також схему удосконаленої лінії з виробництва пектинових концентратів.

10. Визначено соціальний та економічний ефект одержаних результатів. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень, який складає 2056,2 тис. грн/рік, за рахунок зниження собівартості виробництва сухих пектинових концентратів. Описано комплекс заходів із впровадження результатів досліджень в практику.

11. Описані загальні умови щодо охорони праці перед початком роботи, за виконання та закінчення робіт на виробництві сухих пектинових концентратів. Зазначені характерні несправності обладнання та їх усунення.

12. Розроблені процеси та обладнання процесів мембранної обробки пектинових екстрактів можуть бути використані для одержання високоякісних пектинових концентратів та виробництва різноманітної кулінарної продукції на основі бурякового пектинового концентрату, як на переробних так і на спеціалізованих підприємствах харчової промисловості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Домарецький В. А. Технологія харчових продуктів : [підруч.] / В. А. Домарецький, М. В. Остапчук, А. І. Українець – К. : НУХТ, 2003. – 572 с.
2. Донченко Л. В. Пектин: основные свойства, производство и применение : [монография] / Л. В. Донченко, Г. В. Фирсов. – М. : ДеЛи, 2007. – 276 с.
3. Hui Y. H. Handbook of food science technology and engineering: in 3 t. T. 3 / Y. H. Hui. – New York : Woodhead Publishing Limited, 2006. – 712 p.
4. Дейниченко Г. В. Аналіз процесів концентрування та очищення пектинових екстрактів / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк., В. В. Гузенко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць. – Х. : ХДУХТ, 2013. – Вип. 1(17). – С. 135–141.
5. Phillips G. O. Handbook of hydrocolloids / G. O. Phillips, P. A. Williams. – New York : Woodhead Publishing Limited, 2009. – 1003 p.
6. Modifying additives in jelly products : The monograph / [F. Pertsevov, Yu Savgira, A. Foshchan et al.] ; edited by F. Pertsevov. – К. : NUFT, 2005. – 260 p.
7. Берегова І. Пектини й карагінани / І. Берегова // Харчова і переробна промисловість. – 2006. – № 1. – С. 26–27.
8. Голубев В. Н. Пектин: химия, технология, применение : [монография] / В. Н. Голубев, Н. П. Шелухина. – М. : РАТНИЭЧ, 1995. – 387 с.
9. Williams P. A. Handbook of hydrocolloids / P. A. Williams. – Cambridge : Woodhead Publishing limited, 2000. – 490 p.
10. Сухий пектин / М. Купчик, І. Гулий, Є. Богданов, В. Чук // Харчова і переробна промисловість. – 2002. – № 12. – С. 13–14.
11. Microbial alkaline pectinases and their industrial application: A



review / [G. Hoondal, R. Tiwari, R. Tewari et al.] // Application Microbiological Biotechnology. – 2002. – V. 59. – P. 409–418.

12. Роїк О. І. Методичні підходи до розробки гелів для очищення шкіри і волосся від солей важких металів / О. І. Роїк // Фармацевтичний часопис. – 2010. – № 3. – С. 31–35.

13. Ильина И. А. Концентрирование пектиновых экстрактов на роторно-пленочном испарителе / И. А. Ильина, З. Г. Земскова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 8. – С. 32–34.

14. Свитцов А. А. Введение в мембранную технологию / А. А. Свитцов. – М. : Дели-принт, 2007. – 208 с.

15. Дейниченко Г. В. Ультрафільтраційні процеси та технології раціональної переробки білково-вуглеводної молочної сировини : [монографія] / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк, І. В. Золотухіна. – Х : Факт, 2008. – 208 с.

16. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик : [навч. посіб.] / [А. Б. Горальчук, П. П. Пивоваров, О. О. Гринченко та ін.] – Х. : ХДУХТ, 2006. – 63 с.

17. Дейниченко Г. В. Аналіз упровадження мембранних технологій під час обробки пектинового екстракту / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк., В. В. Гузенко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць. – Х. : ХДУХТ, 2009. – Вип. 1(9). – С. 165–172.

18. Мирончук В. Г. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / В. Г. Мирончук, І. С. Гулий, М. М. Пушанко. – Вінниця : Нова книга, 2007. – 648 с.

19. Остапчук М. В. Математичне моделювання на ЕОМ : [підруч.] / М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич. – Одеса : Друк, 2006. – 313 с.

20. Дейниченко Г. В. Використання мембранних методів під час виробництва пектинових концентратів / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк //

Науковий вісник Полтавського університету споживчої кооперації України. – 2004. – № 2. – С.43–44.

21. Berk Z. Food process Engineering and Technology. USA : Elsevier, 2009. 605 p.

22. Cheang B., Zydney A.L. A two-stage ultrafiltration process for fractionation of whey protein isolate. I.Membr.Sci. 2004. Vol. 231, №1-2. P. 159-167.

23. Поляков Ю.С. Мембранное разделение в тупиковых половолоконных фильтрах при постоянном трансмембранном давлении. Теоретические основы химической технологии, 2005г. 39, № 5, с. 499-506.

24. Brennan J.G., Food processing handbook, Weinheim, UK: Wiley-VCH, 2006.

25. Bhattacharjee C., Saxena V., Dutta S. Fruit juice processing using membrane technology: A review. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2017. № 43. Pp. 136-153.

26. Золотухіна, І.В. (2021). Наукове обґрунтування технологій напівфабрикатів на основі цільового використання нутрієнтів білково-вуглеводної молочної сировини: дис... д-ра техн. наук: 05.18.16. Харків: ХДУХТ. 303 с.

27. Castro-Muñoz, R.; Barragán-Huerta, B.E.; Fíla, V.; Denis, P.C.; Ruby-Figueroa, R. Current role of membrane technology: From the treatment of agro-industrial by-products up to valorization of valuable compounds. Waste Biomass Valoriz. 2017, 1–17.

28. Некоз О. І., Литвиненко О. А., Пащенко Б. С. Інтенсифікація технології водоочищення для харчових підприємств. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2016. Вип. 179. С. 139-145.

29. Drioli E., Ali A., Macedonio F. Membrane Operations for Process Intensification in Desalination. Membrane Desalination. 2017. № 7(1). Pp. 70-100.

30. Selecting ultrafiltration membranes for fractionation of high added

value compounds from grape pomace extracts / S. Yammine, R. Rabagliato, X. Vitrac, M. M. Peuchot, R. Ghidossi. *OENO*. 2019. Vol. 53. No. 3.

31. Брик М.Т. Енциклопедія мембран. Т.2. Київ, Україна: Києво-Могилянська академія, 2005. 546 с.

32. Determination of ultrafiltration membranes shrinkage factor / G. Deinychenko, Z. Mazniak, D. Kramarenko, V. Guzenko. *Ukrainian Food Journal*. 2015. Vol. 4, Iss. 2. P. 328–334.

33. Брик М.Т., Енциклопедія мембран. Т. 1, Київ, Україна: Вид. дім «Києво-Могилянська академія», 2005. 658 с.

34. Wei J., Helm G. S., Corner-Walker N., Hou X. Characterization of a non-fouling ultrafiltration membrane. *Desalination*. 2006. Vol. 192, P. 252-261.

35. Peinemann V., Pereira Nunes S., Giorno L. *Membranes for food applications*. Borchester, UK: Wiley-VCH, 2011. 264 p.

36. Мирончук В. Г., Змієвський Ю. Г. Мембранні процеси в технології комплексної переробки сироватки : монографія. Київ : НУХТ, 2013. 153 с.

37. Milić J. K., Petrinić I., Goršek A., Simonič M. Ultrafiltration of oil-in-water emulsion by using ceramic membrane: Taguchi experimental design approach. // *Central European Journal of Chemistry* 2014. № 12(2). Pp. 242-249.

38. Advanced materials in ultrafiltration and nanofiltration membranes / W. J. Lau, A. F. Ismail, T. Matsuura and etc. *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological*. Abingdon: Taylor & Francis Group, LLC, 2015. P. 7–34.

39. Goma, H. G. Analysis of flux enhancement at oscillating flat surface membranes / H. G. Goma, S. Rao. *Journal of Membrane Science*. 2011. Vol. 374. P. 59–66.

40. Пащенко Б.С. Закономірності мембранного розділення дисперсних систем з урахуванням структурно-механічних параметрів фільтрувальних елементів та осаду: дис... канд. техн. наук: 05.18.12. Київ: НУХТ.

41. Аналіз конструкцій мембранних модулів на основі капілярних

мембран / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк, О. В. Гафуров. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2010. Ч. 2. № 10 (152). С. 90–92.

42. Lutz, H. Ultrafiltration for Bioprocessing. United Kingdom : Woodhead Publishing, 2015. 244 p.

43. Lobasenko B., Semenov A. Intensification of ultrafiltration concentrating by the separation of the concentration boundary layer. Foods and Raw Materials. 2013. Vol. 1. No. 1. Pp. 74–81.

44. Drioli E., Giorno L. Membrane operations: innovative separations and transformations : monography. Weinheim, UK: Wiley-VCH, 2009. 578 p.

45. Peeva P. D., Knoche T., Pieper T., Ulbricht M. Cross-flow ultrafiltration of protein solutions through unmodified and surface functionalized polyethersulfone membranes – Effect of process conditions on separation performance. Separation and Purification Technology. 2012. № 92. Pp. 83–92.

46. Бубела Г.С., Коновалова В.В., Колесник І.С., Бурбан А.Ф. Модифікування поверхні полівініліденфлуоридних мембран поліетиленіміном // *Himia, Fiyika ta Tachnologia*. 2022. V. 13. № 1. P. 94-104.

47. Arnal J. M., García-Fayos B., Sanch M. Membrane Cleaning. Expanding Issues in Desalination. 2011. Pp. 3–84

48. Пащенко Б.С., Штефан Є.В., Литвиненко О.А. Перспективні матеріали для фільтраційних мембран харчової промисловості» *Харчова промисловість*. 2016. № 20. С. 123-129.

49. Hu K., Dickson J. M. Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation. Oxford : Wiley Blackwell, 2015. 269 p.

50. Arnal J. M., García-Fayos B., Sanch M. (2011). Membrane Cleaning. Expanding Issues in Desalination. pp. 3-84

51. Pashhenko B.S., Shtefan Ye.V., Litvinenko O.A. (2016). Perspektivni materiali dlya filtracijnih membran harchovoyi promislovosti [Promising materials for filtration membranes of the kharchevo industry]. *Harchova promislovist [Food industry]*, no. 20, pp. 123-129.

52. Hu K., Dickson J. M. (2015). Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation. Oxford : Wiley Blackwell, 269 p.
53. Biological Activity and Pharmacological Application of Pectic Polysaccharides: A Review [Text] / Salima T. Minzanova , Vladimir F. Mironov , Daria M. Arkhipova , Anna V. Khabibullina , Lubov G. Mironova , Yulia M. Zakirova and Vasili A. Milyukov//Polymers (Basel). –2018. – 10(12). – P. 241–247. <https://doi.org/10.3390/polym10121407>
54. Vladisavljevic, G.T. Permeate flux and fouling resistance in ultrafiltration of depectinized apple juice using ceramic membranes [Text] / G.T. Vladisavljevic, P. Vukosavljevic, B. Bukvic//Journal of Food engineering. – 2003. – № 60(3). – P. 241–247. doi: 10.1016/s0260-8774(03)00044-
55. Инновационные способы получения пектина из различных видов растительного сырья [Текст] / М. Ю. Тамова, Е. В. Барашкина, Р. А. Журавлев, Н. Р. Третьякова, С. С. Цыганкова//Новые технологии. – 2018. – № 4 – С. 25–27.
56. Alistair, M.S. Food Polysaccharides and Their Applications [Text]//M.S. Alistair, O.P. Glyn – London-New York: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Intorma business, 2006. – 734 p.
57. Physicochemical and functional properties of Cucurbita maxima pumpkin pectin and commercial citrus and apple pectins: A comparative evaluation [Text] / Anna A. Torkova, Ksenia V. Lisitskaya, Ivan S. Filimonov, Olga A. Glazunova, Galina S. Kachalova, Vladimir N. Golubev, Tatyana V. Fedorova//Plos one. – 2018. – Vol. 13. – Issue 9. – P. 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204261>.
58. Bhattacharjee, C. Fruit juice processing using membrane technology: A review [Text] / C. Bhattacharjee, V.K. Saxena, S. Dutta//Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2017. – № 43. – P. 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.002>.
59. Cai, M. Mechanisms for the enhancement of ultrafiltration and membrane cleaning by different ultrasonic frequencies, [Text] / M. Cai, S. Zhao, H.

Liang//Desalination. – 2010. – Vol. 263. – P. 133–138. doi.org/10.1016/j.desal.2010.06.049.

60. Effect of Pectinase Immobilization in a Polymeric Membrane on Ultrafiltration of Fluid Foods / A. P. Echavarría, R. García-Valls, C. Torras, J. Pagan & A. Ibarz [Text] // Separation Science and Technology. – 2012. – P. 796–801. doi:10.1080/01496395.2011.640095.

61. Yammine, S. Selecting ultrafiltration membranes for fractionation of high added value compounds from grape pomace extracts [Text] / S. Yammine, R. Rabagliato, X. Vitrac, M. M. Peuchot, R. Ghidossi//OENO. – 2019. – Vol. 53. – No. 3. doi: 10.20870/oenone.2019.53.3.2343.

62. Brião, V. B. Pore blocking mechanism for the recovery of milk solids from dairy wastewater by ultrafiltration [Text] / V. B. Brião, C. R. G. Tavares // Brazilian Journal of Chemical Engineering. – 2012. – Vol 29. – No. 22. – P. 393–407. doi.org/ 10.1590/S0104-66322012000200019.

63. Lutz, H. Ultrafiltration for Bioprocessing [Text] / H. Lutz. – United Kingdom : Woodhead Publishing, 2015. – 244 p. https://doi.org/10.1016/C2013-0-18176-7.

64. Yapo, B. Comparison of alcohol precipitation and membrane filtration effects on sugar beet pulp pectin chemical features and surface properties [Text] / B. Yapo, B. Wathelet, M. Paquot//Food Hydrocolloids. – 2007. – No 21 – P. 245–255. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.016.

ДОДАТКИ

ПОГОДЖЕНО  
Проректор з наукової роботи  
Державного біотехнологічного  
університету

Михайлов В.М.  
МІХАЙЛОВ В.М.

« 24 » листопада 2022 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з науково-педагогічної роботи  
Державного біотехнологічного  
університету

Серік М.Л.  
СЕРІК М.Л.

« 24 » листопада 2022 р.

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і технологічних робіт в освітній процес закладів вищої освіти

Замовник Державний біотехнологічний університет  
(найменування організації)  
В.о. ректора ДБТУ к.т.н. Кудряшов А.І.  
(П.І.Б. керівника організації)

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи  
№12-21-22 Б Дослідження процесів мембранного розділення полікомпонентних рідинних  
систем у харчовій промисловості (0120U105194)  
(найменування теми, № держ. реєстрації)

Виконаної на кафедрі Харчових технологій в ресторанній індустрії  
(найменування кафедри)

Виконуваної з 01.01.2022 р. по 31.12.2022 р.  
(термін виконання)

Впроваджені на кафедрі Харчових технологій в ресторанній індустрії  
(найменування структурного підрозділу, де здійснювалося впровадження)

1. Вид впроваджених результатів Пристрій для мембранного концентрування фруктових та  
овочевих соків.  
(технологія, обладнання, методика, тощо)
2. Форма впровадження Візуальний супровід лекцій
3. Новизна результатів науково-дослідних робіт якісно нове  
(піонерське, принципово нове, якісно нове, модифікації, модернізація старих розробок)
4. Перелік курсів і дисциплін, у рамках яких викладені результати НДР по кафедрі Харчових  
технологій в ресторанній індустрії, за дисциплінами «Інтелектуальна власність» (1 курс магістри),  
«Право промислової власності» (1 курс магістри) (спеціальність 181 – Харчові технології).
5. Соціальний і науково-економічний ефект полягає у підвищенні якості навчання, зниженні  
собівартості продукції, заощадженні сировинні та енергетичних витрати на реалізацію  
процесу мембранного концентрування фруктових та овочевих соків.

Зав. кафедрою  
Гринченко О.О.  
(п.і.б.) (ініціали, прізвище)

Керівник НДР  
Дейниченко Г.В.  
(п.і.б.) (ініціали, прізвище)


Відповідальний за впровадження  
Золотухіна І.В.  
(п.і.б.) (ініціали, прізвище)

«08» листопада 2022 р.

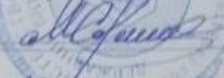
«08» листопада 2022 р.



ПОГОДЖЕНО  
Проректор з наукової роботи  
Державного біотехнологічного  
університету

  
МІХАЙЛОВ В.М.  
« 24 » листопада 2022 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з науково-педагогічної роботи  
Державного біотехнологічного  
університету

  
СЕРІК М.Л.  
« 24 » листопада 2022 р.

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і технологічних робіт в освітній процес закладів вищої освіти

Замовник Державний біотехнологічний університет  
(найменування організації)  
В.о. ректора ДБТУ к.т.н. Кудряшов А.І.  
(П.І.Б. керівника організації)

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи  
№12-21-22 Б Дослідження процесів мембранного розділення полікомпонентних рідинних  
систем у харчовій промисловості (0120U105194)  
(найменування теми, № держ. реєстрації)

Виконаної на кафедрі Харчових технологій в ресторанній індустрії  
(найменування кафедри)

Виконуваної з 01.01.2022 р. по 31.12.2022 р.  
(терміни виконання)

Впроваджені на кафедрі Харчових технологій в ресторанній індустрії  
(найменування структурного підрозділу, де здійснювалося впровадження)

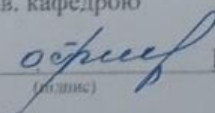
1. Вид впроваджених результатів Спосіб мембранного концентрування високомолекулярних  
харчових рідин  
(технологія, обладнання, методика, тощо)


2. Форма впровадження Візуальний супровід лекцій

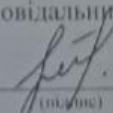
3. Новизна результатів науково-дослідних робіт якісно нове  
(піонерське, принципово нове, якісно нове, модифікації, модернізація старих розробок)

4. Перелік курсів і дисциплін, у рамках яких викладені результати НДР по кафедрі Харчових  
технологій в ресторанній індустрії, за дисциплінами «Інтелектуальна власність» (1 курс магістри),  
«Право промислової власності» (1 курс магістри) (спеціальність 181 – Харчові технології).

5. Соціальний і науково-економічний ефект полягає у підвищенні якості навчання, зниженні  
собівартості продукції, заощадженні сировинні та енергетичних витрат на реалізацію  
процесу мембранного концентрування високомолекулярних харчових рідин.

Зав. кафедрою  
  
Гринченко О.О.  
(ініціали, прізвище)

Керівник НДР  
  
Дейниченко Г.В.  
(ініціали, прізвище)

Відповідальний за впровадження  
  
Золотухіна І.В.  
(ініціали, прізвище)  
«08» листопада 2022 р.

«08» листопада 2022 р.