

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технології та обладнання переробних і харчових виробництв

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття
ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Удосконалення технологічного процесу фільтрації при виробництві
молочних продуктів»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 4
Яківець Владислав Сергійович
Керівник: Левченко Ю. В.
Рецензент: Біловод О. І.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективність промислової переробки молока в країні, на сьогодні, нерозривно пов'язана з впровадженням нових безвідходних або маловідходних технологій і технічних рішень, що дозволяють переробляти вторинну молочну сировину та отримувати з нього цінні, в т. ч. білкові, продукти.

Процес виробництва сиру на більшості підприємств організований за традиційною для отримання сичужних сирів схемою – сирна маса згортається з молока під дією сичужних ферментів, які в незначних кількостях додаються до маси молока. Вторинним продуктом при такій схемі виробництва є молочна, або підсирна, сироватка - рідка маса, що залишається після вилучення білкових компонентів молока, що згорнулися під дією сичужних ферментів. В результаті технологічного процесу маса сиру становить 10 - 20% маси вихідного молока, а 80 - 90% маси доводиться на молочну сироватку.

Довгий час молочна сироватка вважалася відходом виробництва і скидалася на очисні споруди. У деяких випадках така сироватка використовувалася в кормових цілях для сільськогосподарських тварин або в якості добрива. Однак, використання сироватки в якості добрива, навіть в розведеному вигляді, веде до пригнічення росту багатьох сільськогосподарських культур [1, 2]. Крім того, використання сироватки пов'язане з додатковими труднощами, з огляду на її високу біологічну активність. Тому широке поширення набула практика утилізації підсирної сироватки на очисних спорудах для стічних вод.

За даними Міжнародної молочної асоціації, з 140 млн. тон сироватки, одержуваної в світі, до 50% зливається на очисні споруди. Але ця сироватка при належній переробці може служити сировиною для виробництва різних харчових продуктів. У молочну сироватку переходять повноцінні білки, які містять незамінні амінокислоти, які використовуються організмом для

синтезу білків печінки, утворення гемоглобіну і плазми крові. Крім білків, у сироватці залишаються всі водорозчинні вітаміни, солі і мікроелементи вихідного молока. Ці чинники зумовили цінність вторинної молочної сировини для молочної промисловості.

Метою роботи є розробка і наукове обґрунтування процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки.

Об'єктом дослідження є: процеси ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки.

Предметом дослідження є: закономірності, умови і режими процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки.

Практичну цінність становлять. Експериментально визначені оптимальні умови реалізації процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки з імпульсним підведенням струму: із застосуванням ультрафільтраційних мембран УПМ-100 при тиску 1 МПа, з накладенням електричних імпульсів періодом 1 с, щільністю струму 75 A/m^2 і відведенням тепла, що забезпечує підтримку температури на рівні 293 К.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Класифікація молочної сировини і способи її використання

Традиційні способи переробки молока і виробництва молочних продуктів, таких як сир, білок та інші, сприяють утворенню побічних продуктів, які називають вторинною молочною сировиною. До такої сировини відноситься пахта, молочна сироватка і знежирене молоко. До цієї ж сировини можна віднести побічні продукти переробки молока іншими способами, а саме безказеїнову фазу і ультрафільтрат, а також промивні води, що містять незбиране молоко.

При цьому маса вторинної молочної сировини значно перевищує масу отриманого основного продукту. У складі вторинної молочної сировини залишається значний вміст основних цінних компонентів молока (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Основні компоненти вторинної молочної сировини [1]

Сировина	Масова частка, %				
	Сухої речовини	Білків	Молочного жиру	Молочного цукру	Мінеральних речовин
Цільне молоко	12,3	3,2	3,6	4,8	0,7
Знежирене молоко	8,9	3,2	0,05	4,8	0,75
Пахта	9,1	3,2	0,5	4,7	0,7
Молочна сироватка	6,3	0,9	0,3	4,5	0,6

У вторинну сировину переходить більше половини сухих речовин молока, більше 90% молочного цукру і значна кількість білків - від 24% для молочної сироватки, до 97% для знежиреного молока і пахти. Більшість білків, які перейшли у молочну сироватку - сироваткові [2].

У незначних кількостях (1 - 10%) у вторинну молочну сировину переходить молочний жир, який відрізняється високою дисперсністю - від 0,5 до 1,0 мкм. У свою чергу, мінеральні речовини молока переходять у вторинну сировину майже повністю. Крім того, в сироватку потрапляють і солі, що вносяться додатково для отримання основного продукту (сир, казеїн). У продукті залишається лише 2 - 4% солей.

Крім основних компонентів молока у вторинну сировину потрапляють і такі сполуки, як вітаміни, ферменти, фосфатиди, гормони і небілкові сполуки азоту [3].

Слід враховувати, що вміст жиророзчинних вітамінів, таких як А, D, Е, у вторинній сировині значно нижче вихідного їх вмісту в молоці. Однак, вміст деяких вітамінів групи В навпаки значно перевищує початковий вміст, що обумовлено діяльністю молочнокислих бактерій [4].

Таким чином, за своїм складом вторинну молочну сировину - пахта, молочна сироватка і знежирене молоко - це повноцінна харчова сировина, що володіє значною біологічною цінністю і при цьому дієтична. Енергетична цінність такої сировини нижче цінності вихідного молока більш ніж в 2 рази.

Однак, говорячи про використання вторинної молочної сировини, слід враховувати різницю фізико-хімічних властивостей в порівнянні з цілісним молоком. Так, у вторинній сировині вміст вологи значно вищій, ніж в молоці. Крім того, вода у вторинній сировині пов'язана з сухими компонентами іншими, більш енергоємними зв'язками, що знижує ефективність процесів сушіння і випарювання. А низький ступінь переходу сироватки і пахту жиру обумовлює менші їх щільність і в'язкість, в порівнянні з цілісним молоком.

Важливо при використанні вторинної молочної сировини враховувати необхідність її охолодження, тому що в процесі виробництва в таку сировину потрапляє значна кількість молочнокислих бактерій, а нагрів сировини в технологічному циклі призводить до створення оптимальних умов для їх життєдіяльності.

Процеси бродіння можуть привести до утворення молочної кислоти, що, в свою чергу, збільшує кислотність і призводить до втрати лактози. А гідроліз білків і жирів призводить не тільки до зміни смаку сировини, а й до накопичення шкідливих речовин. Тому рекомендується використання вторинної сировини і, в першу чергу, молочної сироватки в перші години після отримання. В іншому випадку сироватку необхідно піддавати тепловій обробці або консервації.

Найбільш відомі напрямки переробки вторинної молочної сировини це: комплексне використання для виробництва напоїв і згущених продуктів, використання окремих компонентів (наприклад, витяг білка) [4] і отримання похідних від компонентів сировини (наприклад, етилового спирту).

Виходячи з вихідного промислового процесу отримання вторинної молочної сировини, його поділяють на знежирене молоко, пахту і молочну сироватку.

Знежирене молоко, як правило, використовують для отримання молочних продуктів для безпосереднього вживання. Прикладами таких товарів можуть бути кисломолочні і білкові нежирні напої, деякі сири і замітники молока. Крім того із знежиреного молока отримують медичні препарати і корми для тварин. Перспективним є напрямок отримання зі знежиреного молока окремих компонентів – казеїну і білка.

Пахта відрізняється підвищеним вмістом жиру і біологічно активних речовин в порівнянні зі знежиреним молоком. З пахти отримують більше 50 найменувань продуктів харчування, серед яких різні кисломолочні і свіжі напої, морозиво. Пахту використовують для нормалізації молока по жиру, а також для отримання згущених продуктів [5].

Молочна сироватка володіє не менш великою сферою застосування. Отримана при виробництві сирів, кисломолочного сиру або казеїну, молочна сироватка підходить для виробництва окремих її компонентів, харчових продуктів для безпосереднього вживання і харчових продуктів, придатних для тривалого зберігання. В асортименті таких продуктів більше 1000

найменувань. Одним з найбільш перспективних вважається шлях отримання сухого концентрованого сироваткового білка, який добре зберігається і використовується у виробництві великої кількості харчових продуктів, в тому числі дитячого харчування [6].

1.2 Аналіз методів поділу розчинів молочних виробництв

Після отримання, для запобігання розвитку процесів бродіння, вторинну молочну сировину необхідно обробити одним з способів, розглянутих нижче [6].

1.2.1 Теплові методи

Охолодження. Як правило, якщо переробка сировини затримується, то стримування небажаних процесів бродіння проводять охолодженням сировини, і зокрема - сироватки. Така обробка підходить, головним чином для тимчасового зберігання.

Охолоджують сироватку безпосередньо після її отримання, не допускаючи попадання в неї сторонньої мікрофлори. Використовують для цього процесу різні холодильні установки. Ключовим фактором є швидкість охолодження. Однак найбільш ефективною є поєднання процесів пастеризації та охолодження.

Пастеризація. Попадання сторонньої мікрофлори в сироватку, а також перехід в неї молочнокислих бактерій із заквасок, що вносяться на стадії виробництва основного продукту, обумовлюють необхідність пастеризації молочної сироватки. Крім того, пастеризація необхідна для придушення активності сичужних ферментів, також вносяться на стадії виробництва основного продукту.

У зв'язку з утворенням накипу на обладнанні, при нагріванні сироватки до температур денатурації білків, прийнято використовувати трубчасті установки для пастеризації. Розрізняють два режими пастеризації молочної

сироватки - повільний і швидкий. При повільній пастеризації нагрів здійснюють до температури 60 - 65°C і витримують сироватку при такій температурі 30 хвилин. Цей режим вимагає значних витрат часу, а також наявності вільних ємностей для витримки. Швидкий режим має на увазі більш інтенсивне нагрівання (до 72°C), але при цьому витримка не перевищує 20 секунд. Однак при такому режимі на обладнанні інтенсивно утворюється пригар.

Коагуляція сироваткових білків. Існує безліч способів виділення білків із сироватки. Серед них реакції з комплексонами, адсорбція, ультрафільтрація, теплова денатурація і інші.

Найбільш поширеним і вивченим способом сьогодні є теплова денатурація, що проводиться зі зміною реакції середовища. Однак великі перспективи мають способи мембранного поділу (ультрафільтрація) і сорбції.

Початковий стан частинок білка в молочній сироватці - нативний. Денатурація білка спрямована на зміну цього стану - руйнування структури білка. При розриві 10 - 20% зв'язків глобула втрачає стійкість, розгортається, змінюючи конфігурацію частинок [2].

Для досягнення такого стану можливе використання різних шляхів денатурації. Серед них механічний вплив, нагрівання, введення окислювачів, зміна реакції середовища і багато інших. Всі способи ведуть до одного результату - розрив внутрішньо молекулярних зв'язків і розгортання глобул білка. Потім в результаті асоціації та хімічних процесів відбувається виділення білка, найбільш близьке за структурою до процесу коагуляції. Потім коагуляцію закріплюють, запобігаючи поверненню білка в нативний стан. Цьому сприяє введення кислот і лугів, які розпушують сольові зв'язки.

1.2.2 Відцентрові методи

Сепарування. У процесах освітлення (відділення попередньо скоагульованого білка) і знежирення (відділення молочного жиру) прийнято використовувати сепарування. Процеси відділення жиру і білків можуть

здійснюватися як для підвищення якості виробленого продукту, так і мати самоціллю отримання цих речовин в чистому вигляді, що пов'язано з їх високою енергетичною і біологічною цінністю і можливістю їх використання в харчових цілях.

При виробництві сичужних сирів, частина жиру переходить в сироватку. Кількість перейшовшого жиру сильно коливається в залежності від того чи іншого технологічного процесу. Вміст таких жирів в сироватці, як правило, становить 0,2 - 0,6% [9]. При цьому частки жиру розподіляються таким чином, що основна частина жиру знаходиться в вигляді кульок діаметром 2 - 6 мкм. При порушенні технологічного процесу в сироватку відходить підвищений обсяг жиру, що негативно позначається на якості одержуваного продукту.

Крім жирових частинок в сироватці також міститься казеїновий пил. Він становить приблизно 0,4% сироватки і витягується фільтрацією, центрифугуванням або відстоюванням. Відстоювання проводиться протягом 2 - 3 годин, що вимагає додаткових обсягів ємностей і сприяє змінам в сироватці в результаті бродіння. А використання фільтрації ускладнене тим, що частинки казеїнового пилу забивають пори фільтрів [2]. Тому, найбільш ефективним способом залишається центрифугування. Час проведення цього процесу складає всього 30 секунд.

Найбільше застосування при відділенні жиру і казеїнового пилу з сироватки знайшли сепаратори комбінованого типу, в яких є два типи тарілок (освітлювальні та розділові), між якими розміщена міжсекційна тарілка. Це сепаратори періодичного типу. Можливо і застосування сепараторів для молока, але за умови зниження їх продуктивності на 20%.

Очищення сироватки від пластівців білка. Коагуляція сироваткових білків призводить до отримання суспензії. Великі пластівці білка зважені в сироватці. При цьому різні способи коагуляції призводять до отримання різної кількості зважених часток.

В процесі центрифугування на пластівці білка виявляється механічна дія, що призводить до збільшення їх дисперсності в осаді, в порівнянні зі зваженим станом.

Щільність молочної сироватки при 20°C коливається в межах 1022 - 1026 кг/м³. При нагріванні до температури денатурації і очищення від білка щільність сироватки значно знижується - до 1005 кг/м³. А щільність утворених пластівців білка дорівнює 1045 - 1060 кг/м³ (вологість осаду 80 - 86%).

Як уже зазначалося, суспензію білкових пластівців в сироватці можна розділити декількома способами - відстоювання, фільтрація і центрифугування.

Процес відстоювання відбувається за рахунок різниці щільності дисперсної фази і дисперсійного середовища.

Після відстоювання верхній освітлений шар сироватки зливається і залишається так зване альбумінове молоко - маса відстояного білка (вміст білка досягає 5%).

Метод відстоювання набув широкого поширення у виробництві молочного цукру, проте до його недоліків відноситься низька ефективність (80 - 85%), втрата сироватки з осадом, тривалість і необхідність великих обсягів ємнісного обладнання. Тому цей метод слід застосовувати лише як попередній.

Застосування фільтрації без наповнювачів або без попереднього відстоювання недоцільно, тому що білковий осад має високу спалюваність.

З наведених даних випливає, що відцентровий метод найбільш ефективний. Здійснюється такий метод в промисловості в сепараторах з механічним відділенням осаду.

1.2.3 Консервування

Консервування дозволяє найбільш просто і дешево зберегти сироватку, запобігти розкладання компонентів, що входять до її складу і запобігти зміні смаку, запаху, а також зберегти вихідну енергетичну та біологічну цінність.

Досягається такий ефект за рахунок пригнічення мікроорганізмів, що викликають бродіння сироватки, а також за рахунок зниження швидкостей реакцій, викликаних ферментами.

Найбільш популярні способи консервування, застосовувані для збереження молочної сироватки в різних комбінаціях - згущення, охолодження і введення консервантів. Вибір конкретного методу або поєднання методів залежить від одержуваного продукту.

Згущення і сушіння. Вирішити питання збереження сировини, при цьому ще й значно знизивши його обсяг, дозволяють методи згущення і сушіння. При згущенні молочної сироватки підвищується осмотичний тиск і відбувається збільшення концентрації молочної кислоти, що, в кінцевому рахунку, викликає консервуючий ефект. Осмотичний тиск в натуральній молочній сироватці дорівнює 0,74 МПа, що цілком комфортно для життєдіяльності мікроорганізмів, що володіють внутрішньоклітинним тиском 0,6 МПа. Однак при згущенні сироватки хоча б в 5 разів, осмотичний тиск підвищується в 10 разів, і створюються умови несприятливі для діяльності мікроорганізмів, що викликають псування сироватки. Крім того, підвищення температури сироватки до 65°C в процесі її згущення забезпечує пастеризацію сировини, а накопичення молочної кислоти підвищує кислотність до 100°Т, також надаючи несприятливий вплив на мікроорганізми [10, 11].

Згущення сироватки в 10 разів сприяє збільшенню терміну її зберігання до 60 діб при температурі 2 - 5°C, або до 5 - 30 діб при більш високих температурах.

У деяких технологічних процесах, наприклад при виробництві сирів, передбачено внесення додаткової солі $NaCl$ для підсолення сиру. Переходячи в сироватку, ця сіль значно підвищує осмотичний тиск (до 2 МПа) і надає переважну дію на мікроорганізми, тим самим знижуючи необхідну ступінь концентрування сировини. Однак слід не допускати вторинного обсіменіння згущеної сироватки, тому що можлива адаптація мікроорганізмів до нових умов.

І той і інший способи являють собою, по суті, видалення води з сироватки. Таке концентрування можливо проводити різними методами - шляхом випаровування, гіперфільтрацією або виморожуванням. Процес випарювання при температурі кипіння розчину на практиці і називають згущенням. Виморожування цікаво з точки зору енергозбереження. А найбільш перспективні на сьогодні методи – зворотний осмос (гіперфільтрація), електродіаліз і ультрафільтрація [12].

1.2.4 Мембранні методи обробки

Різні методи мембранного концентрування і розділення розчинів - мікрофільтрація, ультрафільтрація, зворотний осмос, електродіаліз, іонний обмін - застосовні і для цілей переробки вторинної молочної сировини в цінні кінцеві продукти. Це обумовлено тим, що, по суті, молочна сироватка - це гетерогенна система, в якій чітко виражена диференціація її компонентів за розміром частинок.

Відповідно до сучасних напрацювань, найбільший інтерес в практичному плані викликають процеси електродіаліз, сорбції, ультрафільтрації та зворотного осмосу [12].

Однак у мембранних процесів є свої недоліки і складнощі, пов'язані з організацією процесу. Великий негативний вплив на процеси мембранного розділення надає ефект концентраційної поляризації - утворення шару з високою концентрацією виділяемого компонента безпосередньо на поверхні

мембрани. Такий шар перешкоджає руху розчинника через мембрану і знижує ефективність розділення [13].

Незважаючи на недоліки, вивчення мембранних методів триває, завдяки тому, що вони забезпечують можливість регулювання складу і властивостей продукту, вимагають порівняно невеликих витрат енергії, дозволяють створювати нові продукти і сприяють раціональному використанню вторинної молочної сировини [13].

1.3 Електро- і баромембранні методи поділу розчинів

1.3.1 Мікрофільтрація

Цей метод можна застосовувати для поділу крупнодисперсних систем - суспензій і колоїдних розчинів. Величина пор мембран для мікрофільтрації становить 0,1 - 1 мкм. Таким чином, цей метод дозволяє проводити стерилізацію молочної сироватки без нагрівання, а також відокремлювати залишковий молочний жир [14]

1.3.2 Стаціонарний

У процесах ультрафільтрації зовнішній тиск, прикладений до системи, перевищує осмотичний, а величина пір мембрани дозволяє витягувати з розчинів високомолекулярні сполуки. Величина пір в таких мембранах потрапляє в діапазон від 10 до 100 нм. Як правило, молекулярна маса затриманих ультрафільтрацією компонентів перевищує 10⁴ од. [14].

Значний діаметр пір ультрафільтраційних мембран дозволяє при ультрафільтрації молочної сироватки затримувати великі частки білка, в той час як компоненти, що утворюють «істинний» розчин - мінеральні солі і лактоза - проходять крізь пори мембран в фільтрат. Вітаміни ж залишаються в концентраті. Таким чином, ультрафільтрація дозволяє відокремити від концентрату приблизно 30% кальцію і 50% фосфору. А ступінь відділення

таких речовин як магній, хлор і калію становить 70 - 90%. Процес протікає при накладенні тиску 0,1 - 1 МПа

Існують певні складнощі проведення процесу. Так, у зв'язку з тим, що молочну сировину легко піддається бродінню, до води для промивання устаткування пред'являються особливі вимоги чистоти [15].

Концентрати, отримані при ультрафільтрації, можуть піддаватися повторній обробці, шляхом розведення чистою водою і подачі на ультрафільтрацію. Таким чином, вимиваються залишкові низькомолекулярні і мінеральні сполуки. Такий процес називають діафільтрація.

1.3.3 Зворотний осмос

Процес зворотного осмосу схожий з ультрафільтрацією. Тут також долається осмотичний тиск розчину за рахунок накладення зовнішнього тиску. Однак через менші за розміром пори при зворотному осмосі нинішній тиск вище, ніж при ультрафільтрації. З тієї ж причини, при зворотному осмосі концентруються майже всі компоненти молочної сироватки, і відділяється чистий розчинник, що дещо менш вигідно в порівнянні з концентрацією білка в процесі ультрафільтрації, з практично точки зору. Зворотний осмос, по суті, зводиться до згущення молочної сироватки, шляхом вилучення надлишку розчинника.

Так як мінеральні речовини також затримуються мембраною, а осмотичний тиск розчинів мінеральних речовин значно вище осмотичного тиску розчинів високомолекулярних сполук, то і тиск, необхідний для запобігання осмотичного, в разі зворотного осмосу значно вище, ніж в разі ультрафільтрації. Величина робочого тиску в цих процесах перевищує 10 МПа. Діаметр пір зворотноосмотичних мембран становить 1 - 10 нм. У процесах зворотного осмосу затримуються практично всі речовини молекулярної маси від 50 од. Як і інші мембранні методи, зворотний осмос не вимагає нагрівання розділяється розчину і тому енергетично кілька

вигідніше інших традиційних способів згущення, що вимагають зміни температури сироватки.

Тому зворотноосмотична обробка молочної сировини знайшла певне застосування в промисловості. У Франції існують підприємства, які обробляють 80 т сироватки на добу, отримуючи, таким чином, 20 т концентрату і 60 т чистої води [10].

Також за кордоном є хороший досвід поєднання ультрафільтрації та зворотного осмосу. Відокремивши концентрат білка в процесі ультрафільтрації, можна направити фільтрат на стадію зворотного осмосу з отриманням концентрату лактози і води. Як показує практика, мембранні методи дозволяють сконцентрувати суху молочну сировину до вмісту сухих речовин 20 - 30%.

Концентрування молочної сировини зворотним осмосом має ряд складнощів. До них відноситься осадження на мембрані високомолекулярних сполук, наприклад білків, а також наявність шару солей і лактози. Усунення такого білкового осаду з мембранного обладнання вимагає спеціальних операцій. А наявність цих відкладень значно знижує продуктивність обладнання. З плином часу між молекулами осаду утворюються міцні зв'язки, і видалити його стає ще більш проблематично.

Для промивки мембранного обладнання застосовуються спеціальні ферментні розчини, нагрівання, а також зворотний потік фільтрату. Дезінфекцію проводять розчинами хлору. Після чистки виконують промивання водою протягом декількох годин.

1.3.4 Електродіаліз

Застосування електродіалізу сприяє ефективній демінералізації молочної сироватки. Під дією електричного поля напівпроникна мембрана пропускає тільки іони одного знака, затримуючи іони протилежного заряду. Використовуючи дві мембрани - катіонітових і аніонітових - можна виділити

із сироватки мінеральні речовини. Катіони мінеральних речовин витягуються з боку катода через катіонітову мембрану, а аніони, рухаючись до анода, видаляються через аніонітову мембрану. В результаті цих процесів сироватка знесолюється. Так як молекули білків і лактози електронейтральні, то в результаті процесу електродіалізу їх концентрація не змінюється [8].

В першу чергу із сироватки видаляються одновалентні іони. Слід зазначити, що саме одновалентні хлор, натрій і калій найбільш сильно змінюють смак молочної сировини. Що ж стосується вмісту мікроелементів, то експерименти показали, що цинк, залізо, мідь і ін. Мікроелементи не витягаються електродіалізом [18].

Експерименти з електродіалізом молочної сироватки показали, що можливе досягнення 90% рівня демінералізації. При цьому не відбувається зміни рН. Найбільша ступінь вилучення відповідає іонів хлору, калію і натрію. В процесі електродіалізу якість білків сироватки, вітамінів і лактози не знижується. Мають місце незначні втрати білка (в діапазоні 2 - 3%). Для лактози величина втрат трохи більше - 6%. Значно поліпшується смак та інші органолептичні властивості сироватки [9].

Найбільш вигідні процеси демінералізації сироватки, вже зазнали попередньої обробки. Спочатку традиційними способами очищують сироватку від казеїнової пилу і молочного жиру. При такій попередній обробці витрати на демінералізацію значно скорочуються на 30%. Швидкість знесолення сироватки також вище в разі її попереднього згущення.

Важливо відзначити, що економічно електродіаліз до рівня демінералізації 90% не вигідний. Цей процес залишається економічно ефективним лише до рівня 70%. Подальше збільшення ступеня демінералізації, за даними французьких переробників, призводить до значного підвищення витрат сироватки. Знесолення ж до рівнів вище 70% ефективно іншими способами. Один з них - використання іонообмінних смол.

Актуальною сферою для досліджень є об'єднання методів ультрафільтрації та електродіаліз. Таким способом одержують демінералізований білковий концентрат. Поки максимальний вміст білка в концентраті становить 35%, проте дослідження тривають. Зразкове значення енерговитрат на отримання 1 кг демінералізованої сироватки становить 10 - 30 кВт · год.

1.3.5 Сорбція - десорбція

Так як метою переробки вторинної молочної сировини є витяг з нього цінних компонентів, цілком природно, що одним з методів, що дозволяє реалізувати таке вилучення, є метод сорбції. В якості сорбентів, які отримують білкові з'єднань, використовують різні природні сорбенти і синтетичні смоли.

У разі молочної сироватки, витяг корисних компонентів відбувається за допомогою поверхні сорбенту. Іншими словами, йде процес адсорбції. Після адсорбції, білкові речовини витягують з поверхні сорбенту [18].

Найбільшого поширення сорбційні процеси знайшли в промисловому виробництві молочного цукру, а також в деяких аналізах. Однак розроблені і процеси, що дозволяють отримувати в чистому вигляді білки. Для цих процесор розроблені спеціалізовані сорбенти. Однак слід враховувати, що процес десорбції призводить до отримання розчину цільового продукту, який як і раніше вимагає концентрування і сушіння. Хоча продукт в кінцевому рахунку виходить дуже чистим, необхідність проведення операцій сорбції-десорбції і потім ще і концентрування (ультрафільтрацією), а також розпилувальної сушки, істотно здорожує виробництво. Крім того, при реалізації процесу, залишаються питання необхідності великих обсягів води, а також раціонального використання елюата. Безсумнівним достоїнством процесів сорбції-десорбції є високі показники терміну служби сорбентів.

Експерименти показали, що деякі з них можуть працювати без будь-яких змін структури і властивостей близько двох років.

1.4 Апаратурно-технологічне оформлення мембранних процесів

Існують різні класи установок мембранного поділу розчинів. За типом процесу виділяють установки зворотного осмосу, ультрафільтрації та ін. За призначенням установки ділять на установки для опріснення, концентрування, очищення і т. д. Залежно від режиму робіт бувають безперервні і періодичні установки. Також виділяють прямоточні і циркуляційні установки по кратності циркуляції.

Можна виділити також два основних способи протікання процесу - тупиковий і проточний (рис. 1.1) [10, 12, 19].

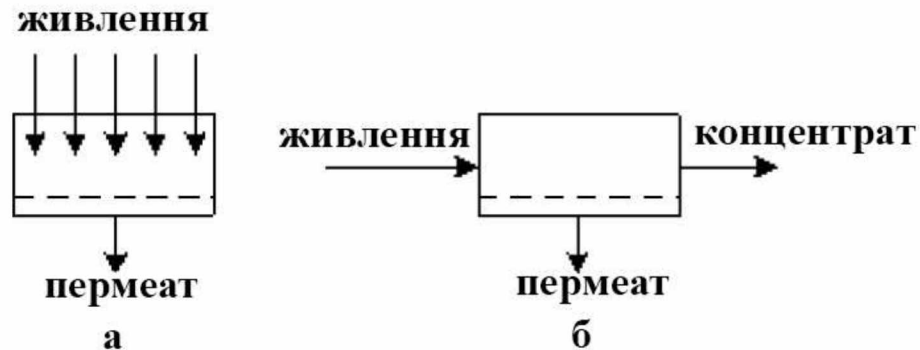


Рисунок 1.1 - Тупиковий (а) і проточний (б) способи мембранного поділу

Застосування тупикового способу, як правило, обмежене патронними модулями. А використання проточного способу вимагає врахування низки обставин. Так, об'ємна витрата по довжині апарату буде змінюватися, за рахунок відтоку пермеата, що веде до збільшення впливу концентраційної поляризації. Крім того збільшується концентрація розчину по довжині

апарату і падає тиск за рахунок гідравлічних опорів. Це призводить до необхідності застосування каскадних багатоступеневих схем з'єднання апаратів. Крім того проточна схема дозволяє використовувати як прямоточну, так і циркуляційну конфігурацію потоків (рис. 1.2).

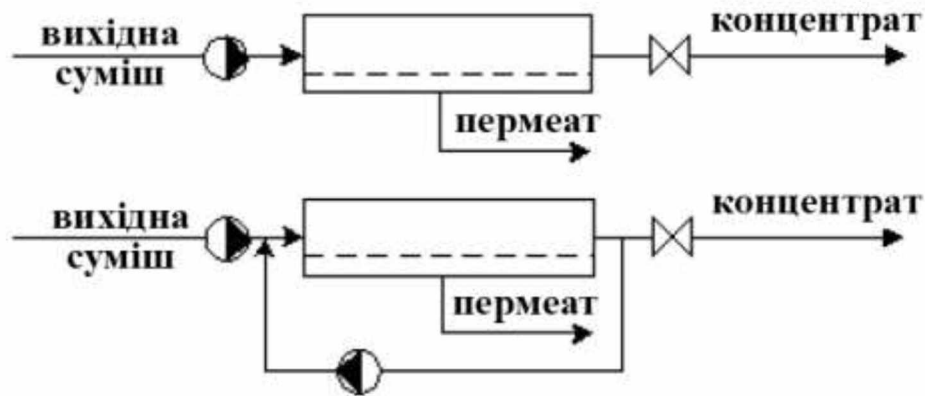


Рисунок 1.2 – Принципова схема прямоточної (а) і циркуляційної (б) установок [10]

Застосування циркуляційних конфігурацій дозволяє забезпечити високу швидкість розчину в напірному каналі і знизити ефект гелеутворення на мембрані.

Виділяють також установки одноступінчасті і багатоступінчасті. Кожне одноразове проникнення розчину через мембрану вважається сходинкою. Якщо одноступінчатий процес не дозволяє отримати необхідної якості розділених компонентів, застосовують багатоступінчате мембранне розділення. На рис. 1.3 представлений простий варіант багатоступеневої установки.

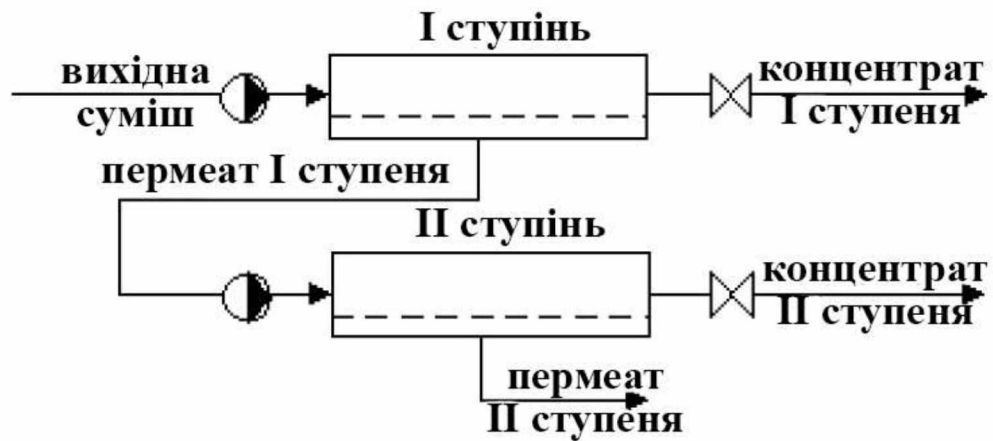


Рисунок 1.3 - Принципова схема двоступеневої установки [10]

Існують різні способи організації потоку розчину в установці - секціоновані і несекціоновані установки мембранного поділу. Секціонування має на увазі з'єднання апаратів паралельно в секції і послідовне з'єднання секцій між собою. Це дозволяє підтримувати досить постійну високу швидкість розчину в напірному каналі, так як у міру скорочення витрат скорочується число мембранних апаратів (див. рис. 1.4)

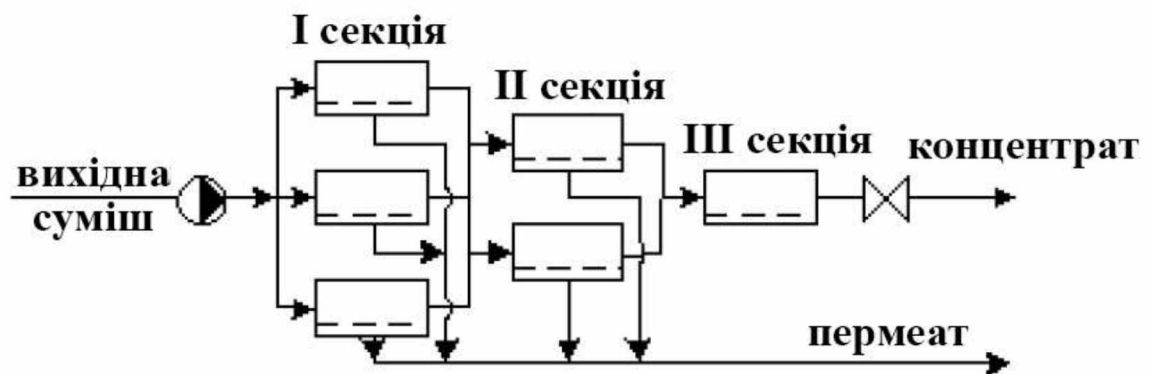


Рисунок 1.4 – Принципова схема мембранної установки з трьох секцій

У циркуляційній схемі той же ефект досягається установкою циркуляційного насоса. При цьому протистояти зниженню ефективності

розділення можна використовуючи схему з декількох секцій мембранних апаратів з власним циркуляційним насосом кожна (рис. 1.5).

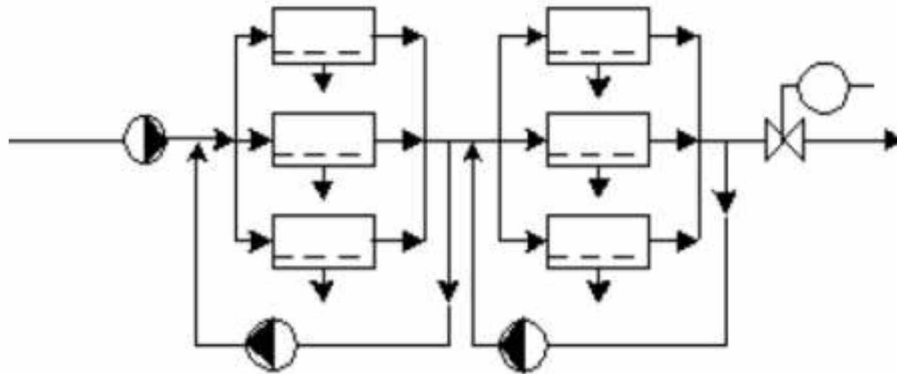


Рисунок 1.5 - Багатосекційна циркуляційна схема

Вибір тієї чи іншої схеми з'єднання апаратів залежить від розв'язуваного завдання в рамках конкретного виробництва [10].

Висновки та завдання досліджень

За результатами проведеного огляду літератури проаналізовано методи дослідження, розробки, технологічного оформлення та розрахунку мембранних методів очищення і концентрування вторинного молочної сировини. Відзначено істотна роль ультрафільтраційних процесів в концентруванні і очищенні вторинних розчинів молочного виробництва. Виявлено наявні слабкі сторони.

Можна зробити висновок, що мембранні методи розділення розчинів мають великі перспективи в області переробки вторинної молочної сировини. А вплив накладення електричного поля на мембранні апарати дозволяє значно варіювати характеристики мембранного процесу.

Основні завдання дослідження:

1. Вивчити технологічні та кінетичні характеристики процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки.

2. Розробити математичну модель процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки.
3. Запропонувати високоефективну конструкцію ультрафільтраційного апарату плоскокамерного типу для концентрування і демінералізації підсирної сироватки.
4. Визначити оптимальні умови реалізації процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки.
5. Обґрунтувати економічну ефективність.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкти досліджень

Вивчення кінетичних характеристик процесу мембранного концентрування підсирної сироватки здійснювалося за допомогою ультрафільтраційних напівпроникних мембран УАМ-150, УПМ-100 і УПМ-К.

Вибір полімерних мембран заснований на співвідношеннях радіусів пор і розмірів молекул молочних білків і мінеральних солей, а також на доступності і невисокій ціні мембран. Полімерні мембрани мають заряд і мають іонообмінні властивості і електропровідністю, що дозволяє одночасно з процесом концентрування здійснювати демінералізацію. Основні параметри названих мембран представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Об'єкти досліджень – мембрани

Назва мембрани	Матеріал активного шару	Продуктивність по дистильованій воді, м ³ /м ² с	Коефіцієнт затримки		
			по міоглобуліну	по альбуміну	по γ-глобуліну
УПМ-100	«Сульфон-4Т»	2,33 · 10 ⁻⁴	0,950	0,970	0,980
УПМ-К		2,78 · 10 ⁻⁵			
УАМ-150	Ацетат целюлози	4,11 · 10 ⁻⁶	0,985	0,970	0,985

Мембрани, що застосовувалися в дослідженнях, проходили попередній візуальний огляд і підготовку. Метою візуального огляду було виявлення зовнішніх дефектів, що призводять до непридатності даного зразка мембрани. У разі виявлення тріщин, стиснення поверхонь чи інших пошкоджень активного шару зразок мембрани замінювався на інший. Минулі огляди мембрани відмочувалися в дистильованій воді з метою очищення від

сорбованих домішок, які могли залишитися в процесі виробництва або зберігання мембрани.

Для дослідження використовувалися промислові розчини (підсирна сироватка), а також модельні розчини цільного молока [20]. Ступінь переходу компонентів вихідної сировини в підсирну сироватку представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Розподіл компонентів молока [1, 2]

Компонент	Перехід в сир, %	Перехід в сироватку, %	Втрати, %
Сухі речовини	48,5	48,5	3,0
Білки	76,0	22,0	2,0
Жир	86,0	10,0	4,0
Лактоза	5,0	92,0	3,0
Мінеральні речовини	12,0	73,0	5,0

Дослідження впливу концентрації на різні параметри процесу мембранного концентрування підсирної сироватки проводилося з використанням модельних розчинів, приготованих розведенням дистильованою водою цільного молока або підсирної сироватки.

Основними показниками якості білкового концентрату були обрані вміст в концентраті молочних білків і мінеральних солей. Діапазони досліджуваних параметрів: температури 293 ... 308 К, концентрації білків 9 ... 32 кг/м³, концентрації мінеральних солей 0,14 ... 1,1 кг/м³ - вибиралися виходячи з початкових значень у вихідній сировині і подальшої зміни параметрів в процесі концентрування і демінералізації до досягнення встановленого виду кривих. Досліджуваний діапазон робочого тиску 0,5 ... 2,0 МПа вибирався виходячи з значень осмотичного тиску підсирної сироватки.

2.2 Методика і експериментальна установка для дослідження дифузійного потоку

Схема установки, що використовувалася для проведення досліджень дифузійного потоку через мембрани, наведена на рис. 2.1 і 2.2.

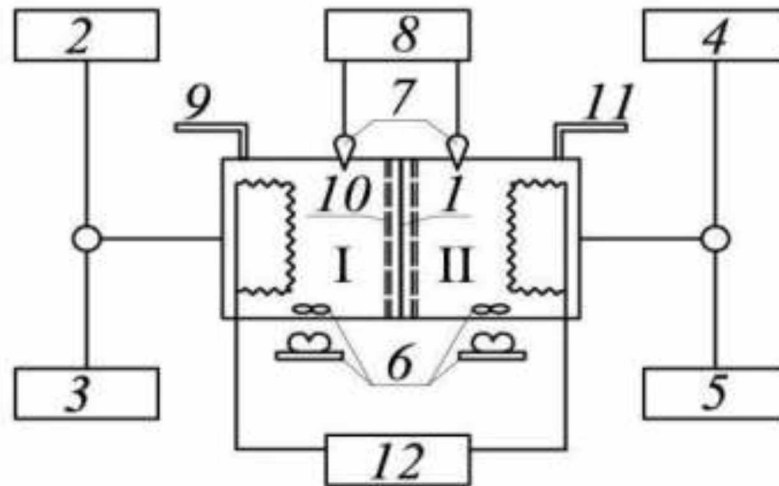


Рисунок 2.1 – Схема лабораторної установки для визначення дифузійного потоку через полімерні мембрани 1 - мембрана; 2 і 4 - ємності вихідних розчинів; 3 і 5 - ємності відпрацьованих розчинів; 6 - магнітні мішалки; 7 - термопари; 8 - потенціометр; 9 і 11 - вимірювальні капіляри; 10 - решітка; 12 - термостат

Дві камери установки I і II виконані з оргскла і разом складають робочу зону сумарним обсягом $0,62 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. У камери осередку введені вимірювальні капіляри 9 і 11. Розчини поступають в клітинку з ємностей для вихідних розчинів 2 і 4, і йдуть в ємності для відпрацьованих розчинів 3 і 5. Камери осередку між собою розділені ґратами 10, виготовленої з оргскла (рис. 2.2.). На решітку укладається мембрана 1 площею $267 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. За допомогою термостата 12, термопар 7 і потенціометра 8 здійснюється контроль і підтримка заданої температури осередку.

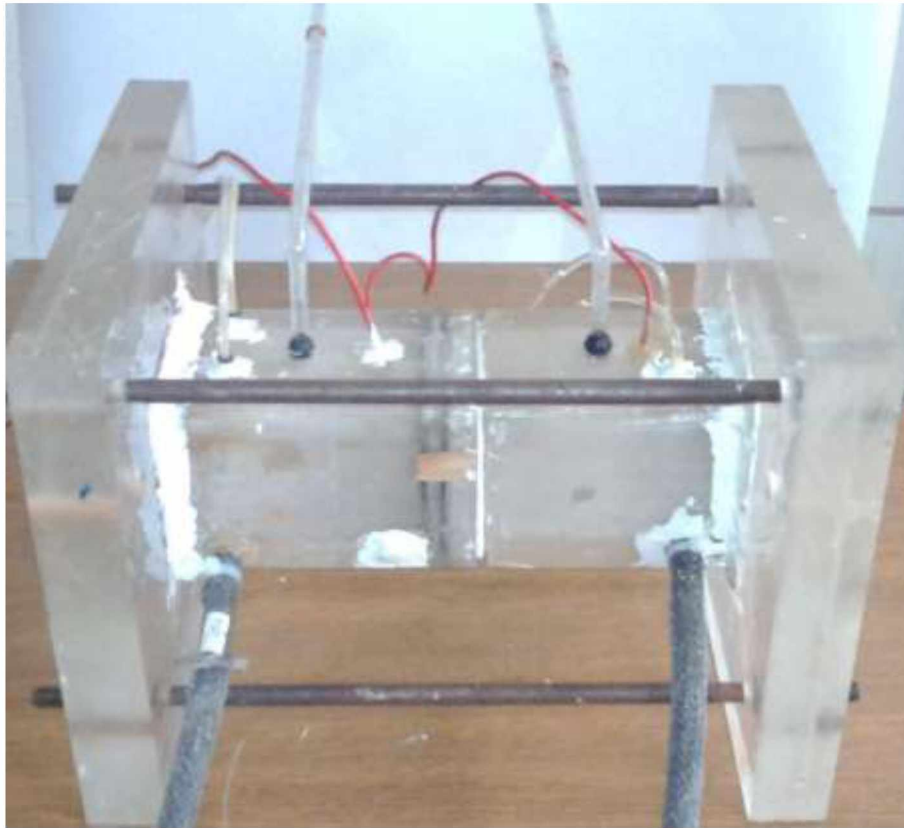


Рисунок 2.2 – Лабораторна комірка для дослідження дифузійного потоку

На описаній вище установці проводилися дослідження за такою методикою.

Попередня підготовка мембран полягає в стисненні вимоченої в дистильованій воді мембрани на лабораторній мембранній установці при тиску 0,1 МПа протягом 4 годин.

Підготовлена мембрана розміщувалася на решітці між камерами I і II осередки для дослідження дифузійної проникності мембран. Установка збиралася і заповнювалася наступним чином. В камеру I подавався розчин відомої концентрації, а в камеру II - дистильована вода. Розчини витримуються в камерах протягом 11 - 13 годин з метою встановлення стаціонарних дифузійних потоків. Потім розчини зливаються, а камери осередку, після промивання дистильованою водою, знову заповнюються за

тією ж схемою. Відбір проб здійснюють з ємностей відпрацьованих розчинів, після чого камери доповнюють з ємностей вихідних розчинів.

Протягом 3 - 6 годин здійснюють перемішування розчинів в камерах за допомогою магнітних мішалок. За цей час розчинена речовина переходить за допомогою дифузії через мембрану в напрямку протилежному напрямку осмотичного перенесення. Кількість перейшов речовини визначають шляхом відбору проб після зливу розчинів в ємності для відпрацьованих розчинів. За допомогою осмотичного перенесення чиста вода переходить через мембрану в напрямку камери II. Кількісно перенесення визначають по зміні обсягу в вимірювальних капілярах.

Розрахунок коефіцієнта дифузійної проникності здійснювали за формулою:

$$P_{\delta} = \frac{C_2 \cdot V_2 \cdot \delta}{(C_1 - C_2) \cdot F_m \cdot \tau} \quad (2.1)$$

де P_{δ} – коефіцієнт дифузійної проникності,

$C_{1,2}$ – концентрації розчиненої речовини в камерах експериментальної комірки, розділених мембраною, кг/м³,

δ – товщина мембрани після набрякання, м,

F_m – робоча площа поверхні мембрани, м²,

τ – час проведення експерименту, с,

ΔV – об'єм перенесеного розчинника з однієї камери в іншу, м³.

2.3 Методика та лабораторне обладнання для дослідження

Лабораторне обладнання, необхідне для дослідження сорбційних властивостей (коефіцієнта розподілу) мембран, включає в себе лабораторні ваги, мікромметр, термостат, скляні бюкси і лінійку. У даній роботі

застосовувалося обладнання з наступними характеристиками: аналітичні лабораторні ваги А-31 з похибкою вимірювань $\pm 0,5 \cdot 10^{-4}$ г; водяний термостат ТС-80М2 з робочим діапазоном температури від 273 до 333 К; бюкси обсягом 50 мл. Обсяг термостата становив $0,024 \text{ м}^3$.

Методика проведення досліджень полягала в наступному. Вирізалися зразки мембран заданого розміру (60 x 150 мм). Їх довжина і ширина контролювалися лінійкою, а товщина - мікрометром. Зразки підготовлялись: обжимаються в мембранній установці до отримання постійних значень продуктивності по дистильованій воді. Після підготовки товщина мембрани знову вимірювалася мікрометрів. У скляних бюксах готували розчин відомої концентрації, в який поміщали мембрани після підготовки і щільно закривали. Бюкси поміщалися в термостат із заданою температурою і витримувалися в ньому протягом доби. Потім мембрани витягувалися і знову вимірювали їх лінійні розміри: довжину, ширину і товщину. Вимірювали концентрацію розчинів в бюксах і визначали різницю вихідної та кінцевої концентрацій:

$$\Delta C = C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}; \quad (2.2),$$

Після насичення мембрани розчином речовиною в системі встановлюється рівновага. При цьому рівноважним коефіцієнтом розподілу називається відношення концентрацій розчиненої речовини в мембрані і в вихідному розчині, якщо вважати в першому наближенні, що концентрація розчиненої речовини в мембрані змінюється стрибкоподібно від $C_{\text{исх}}$ до C_m :

$$k_p = C_m / C_{\text{исх}}; \quad (2.3)$$

де k_p – коефіцієнт розподілу;

C_m – рівноважна концентрація розчиненої речовини в досліджуваному зразку мембрани, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_{icx} – рівноважна концентрація розчиненої речовини в вихідному досліджуваному розчині, кг/м³.

При цьому концентрацію розчиненої речовини в мембрані визначали відношенням експериментально виміряної маси розчиненої речовини в мембрані m_m до обсягу мембрани V_m :

$$C_m = m_m / V_m, \quad (2.4)$$

де обсяг мембрани визначався як добуток довжини a , ширини b і товщини δ :

$$V_m = a \cdot b \cdot \delta; \quad (2.5)$$

Наведені вище висловлювання йдуть з матеріального балансу системи мембрана-розчин:

$$C_{icx} \cdot V_{icx} = C_m \cdot V_m + C_1 \cdot V_{icx}, \quad (2.6)$$

де C_{icx} – концентрація розчиненої речовини в вихідному розчині,

V_{icx} – обсяг вихідного розчину,

C_m – концентрація розчиненої речовини в мембрані,

V_m – обсяг мембрани,

C_1 – концентрація розчиненої речовини в розчині після закінчення процесу сорбції.

Концентрації розчиненого речовини визначалися методом формольного титрування [21].

Висновки

Розглянуто основні об'єкти досліджень процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації. Описані застосовувані в дослідженнях ультрафільтраційні мембрани із зазначенням їх основних фізико-хімічних характеристик та методики їх підготовки до роботи. Розглянуто досліджувані промислові та модельні розчини, наведено їх компонентний склад і фізико-хімічні властивості.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Дослідження сорбційних властивостей мембран

На етапі вибору мембран і попереднього визначення умов проведення мембранного процесу важливим є вивчення сорбційних характеристик мембран при роботі в середовищі підсирної сироватки.

На сорбцію речовин з сироватки впливає концентрація речовин у вихідній сироватці і температура проведення процесу. В рамках даної роботи були проведені дослідження коефіцієнта розподілу молочних білків і мінеральних солей в ультрафільтраційних мембранах УАМ-150, УПМ-100 і УПМ-К. Дослідження проводилися при різних концентраціях вихідного розчину і різних температурах.

Результати експериментальних досліджень представлені на рис. 3.1 - 3.3.

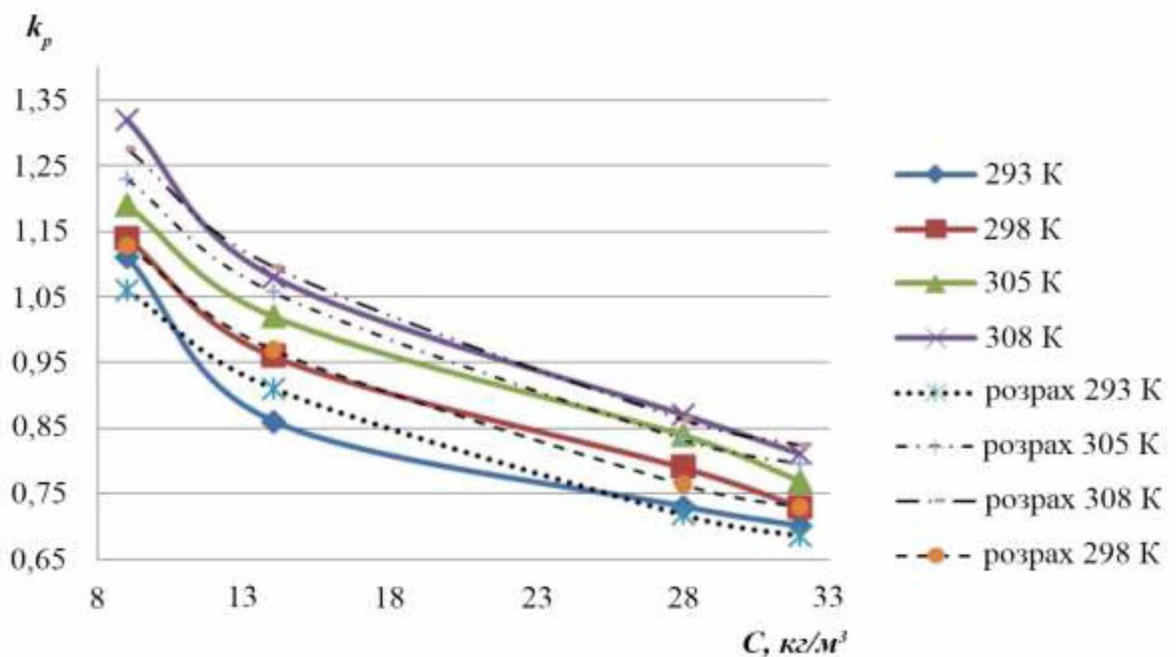


Рисунок 3.1 – Залежність коефіцієнта розподілу (k_p) від концентрації білка (C , кг/м³) і температури (T , К) для ультрафільтраційної мембрани УАМ-150.

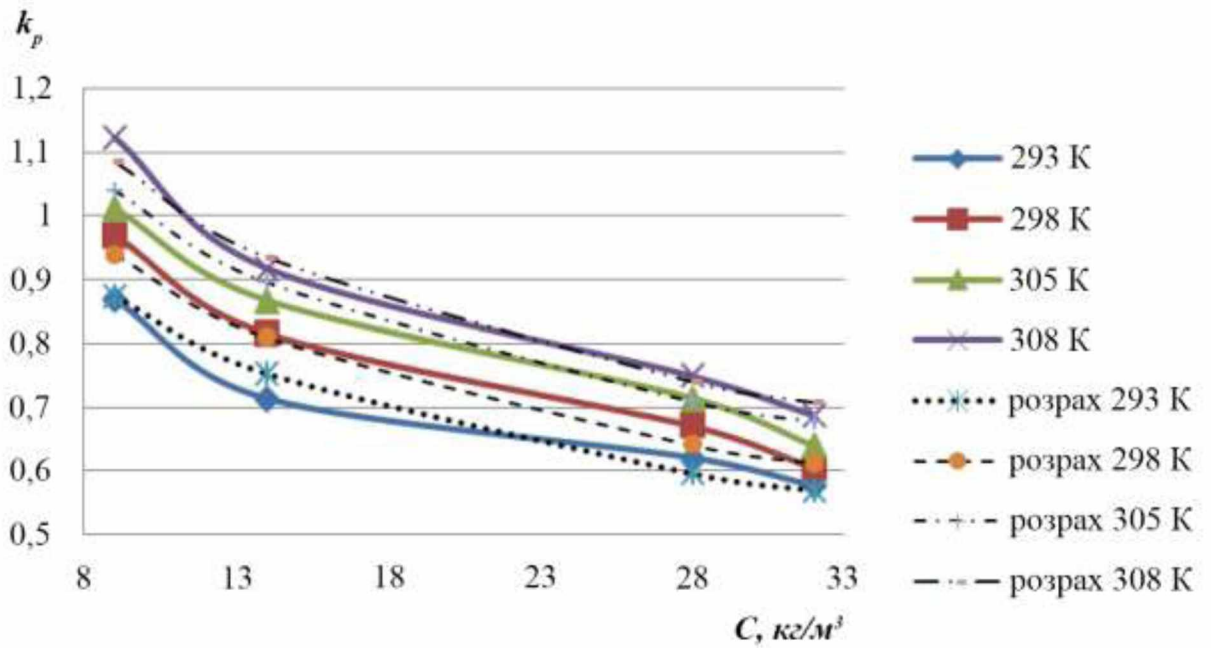


Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнта розподілу (k_p) від концентрації білка (C , кг/м³) і температури (T , К) для ультрафільтраційної мембрани УПМ-100

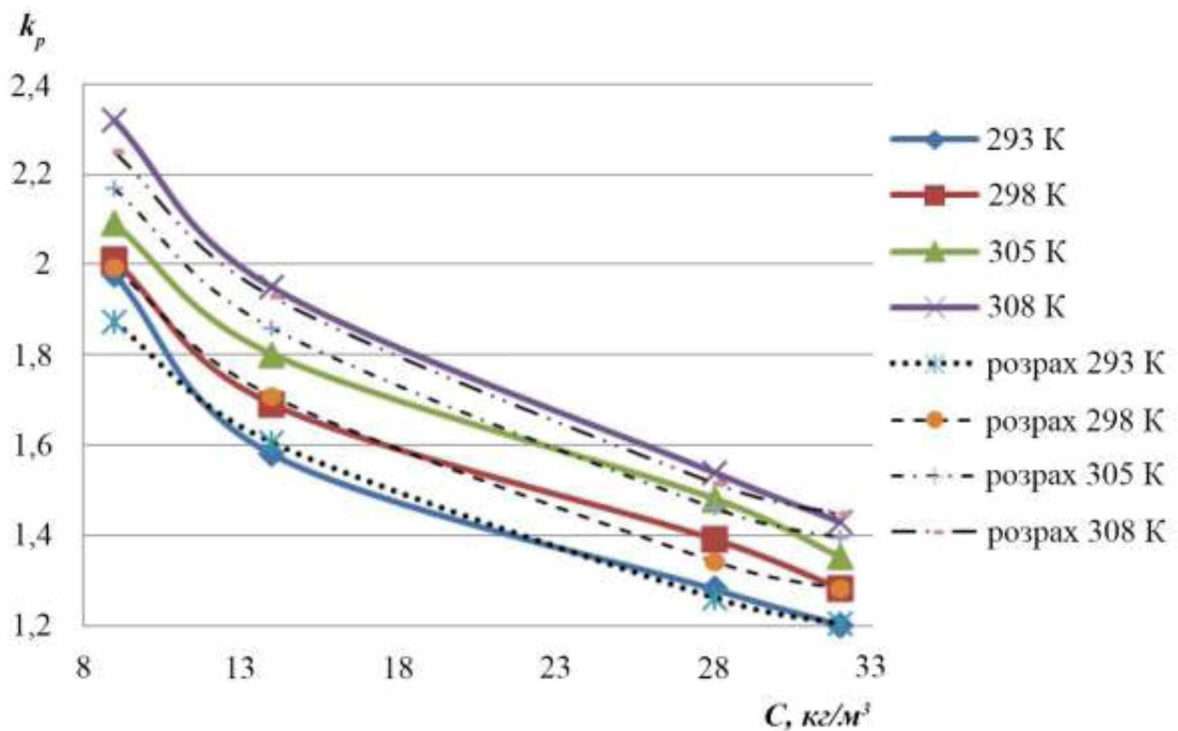


Рисунок 3.3 – Залежність коефіцієнта розподілу (k_p) від концентрації білка (C , кг/м³) і температури (T , К) для ультрафільтраційної мембрани УПМ-К.

Із залежностей випливає, що зі збільшенням концентрації білка у вихідному розчині його концентрація в мембрані збільшується. Ця тенденція простежується для всіх видів досліджуваних мембран.

Як видно з графіків, мембрана УПМ-К сорбує розчинений білок більшою мірою, ніж мембрани УАМ-150 і УПМ-100. Це явище пояснюється фізико-хімічної природою матриці напівпроникних мембран і знаком заряду активного шару мембрани (ацетилцелюлозні мембрани несуть негативний, а поліамідні – позитивний заряди). Значний вплив надає також характер і величина пор полімерних мембран.

Зміна температури проведення мембранного процесу може надавати різний вплив на сорбційну активність мембран – як позитивний, так і негативний. У досліджуваному випадку, зі збільшенням температури розділеного розчину молочний білок сорбується ультрафільтраційними мембранами в меншій мірі. Також відомо, що чим вище розчинність досліджуваної речовини в розчиннику, тим воно менше адсорбується адсорбентом.

Необхідною умовою якісного концентрування сироваткового білка є знесолення концентрату. Тому були досліджені сорбційні характеристики мембран стосовно мінеральних солей в сироватці (рис. 3.4-3.6).

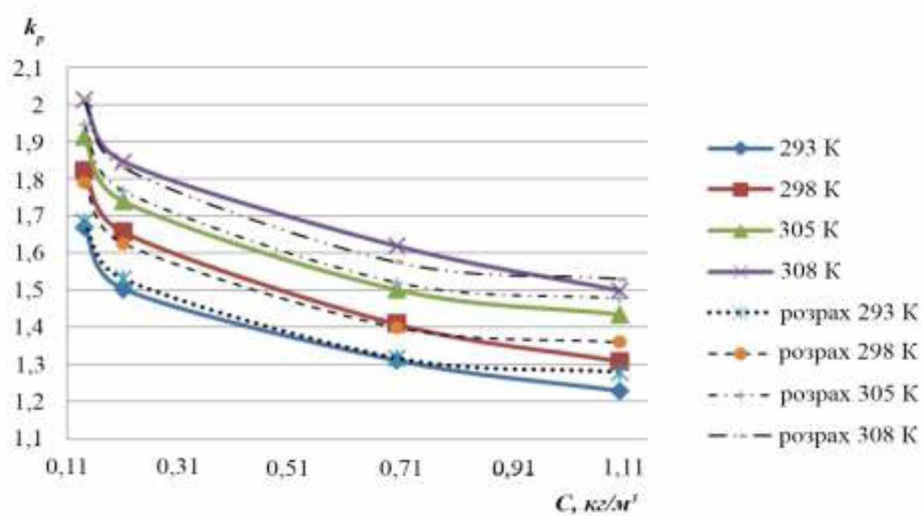


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнта розподілу (k_p) від концентрації мінеральних солей (C , кг/м³) і температури (T , К) для ультрафільтраційної мембрани УАМ-150

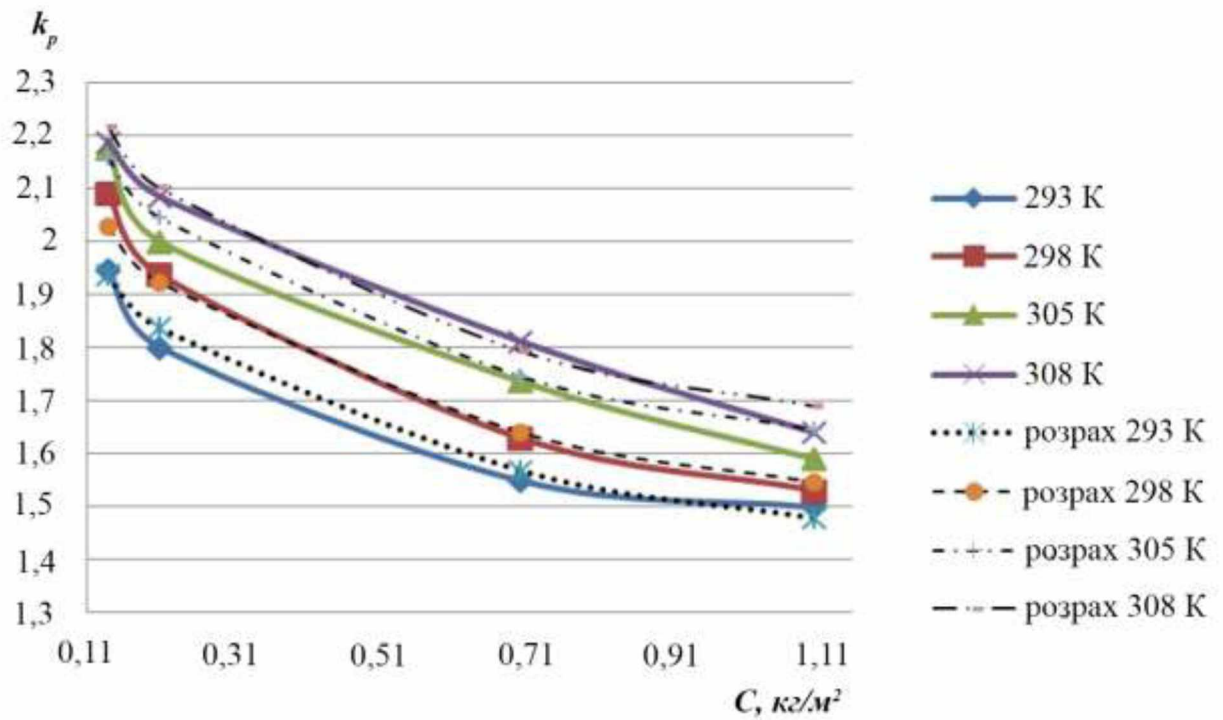


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта розподілу (k_p) від концентрації мінеральних солей (C , кг/м³) і температури (T , К) для ультрафільтраційної мембрани УПМ-100

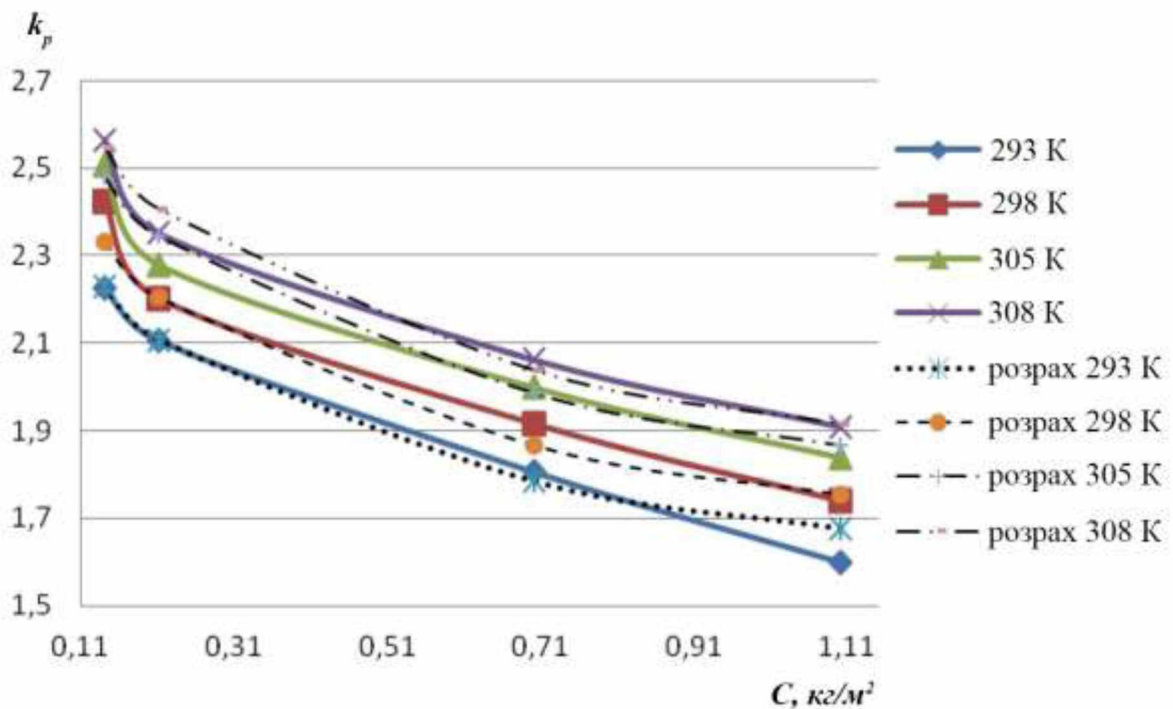


Рисунок 3.6 – Залежність коефіцієнта розподілу (k_p) від концентрації мінеральних солей (C , кг/м³) і температури (T , К) для ультрафільтраційної мембрани УПМ-К

Із залежностей видно, що характеристики сорбції солей мембранами схожі з сорбцією білка. При цьому абсолютні величини коефіцієнта розподілу дещо вищі, що пояснюється меншими розмірами молекул мінеральних солей, в порівнянні з білковими молекулами. Тут слід розуміти, що процеси сорбції солей і білка відбуваються в середовищі підсирної сироватки одночасно і чинять один на одного значний вплив. Молекули солей щільно утримуються в пористих просторах мембрани за рахунок закупорювання значно більшими молекулами білка.

3.2 Дослідження дифузійних властивостей мембран

У дослідженні властивостей мембран в середовищі підсирної сироватки велике значення мають дифузійні властивості мембран по відношенню до окремих компонентів сироватки. В рамках даної роботи найбільший інтерес представляє дифузійний потік білка і мінеральних солей через мембрану. Тому були отримані експериментальні залежності величини дифузійного потоку для білкових молекул і мінеральних солей через досліджувані зразки мембран. Результати експериментальних досліджень представлені на рис.3.7 - 3.8.

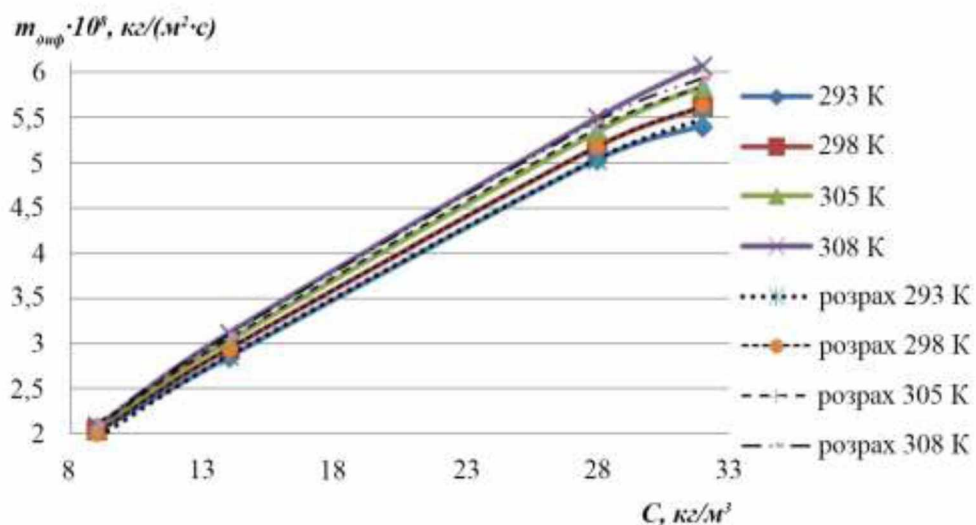


Рисунок 3.7 – Залежність дифузійного потоку ($m_{\text{диф}}$, кг/(м²·с)) білка від концентрації розчину (C , кг/м³) для ультрафільтраційної мембрани УАМ-150 при $P = 1$ МПа

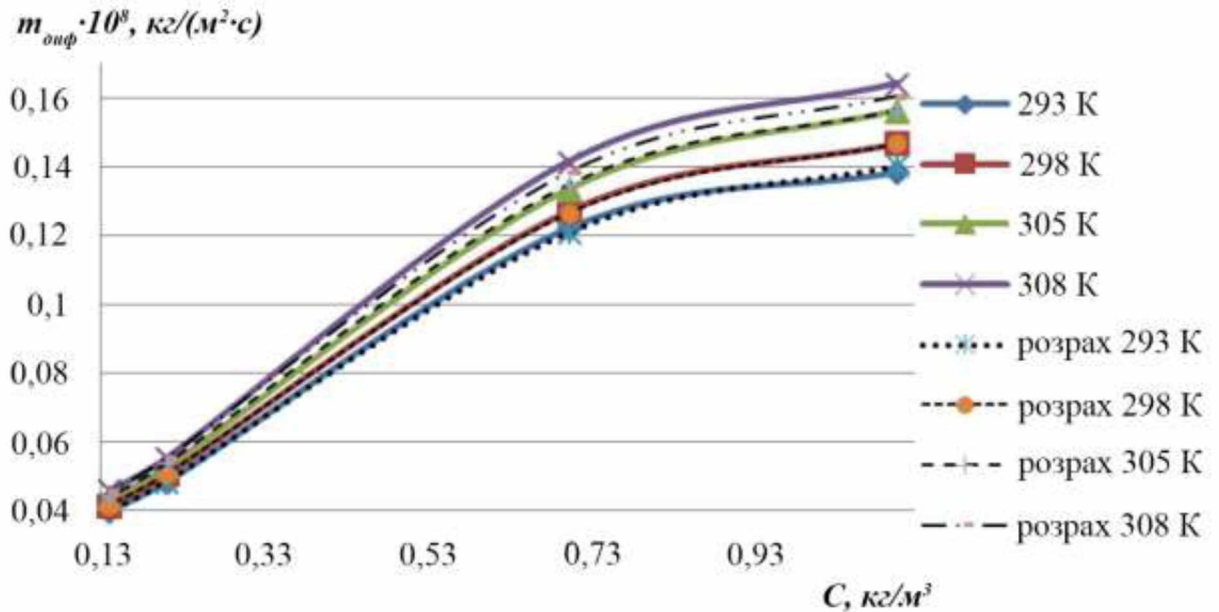


Рисунок 3.8 – Залежність дифузійного потоку ($m_{\text{диф}}$, кг/(м²·с)) білка від концентрації розчину (C , кг/м³) для ультрафільтраційної мембрани УПМ-100 при $P = 1$ МПа

З наведених залежностей видно, що найбільшою дифузійною проникністю з досліджуваних зразків має мембрана УПМ-К, що добре співвідноситься з результатами експериментального визначення сорбційних характеристик мембран. Значення дифузійного потоку для мінеральних солей значно вище аналогічних значень для білка. Це пов'язано з невеликими розмірами молекул солей, що дозволяють їм легко проходити крізь пори мембран. Спостережувану при цьому високу проникність можна вигідно використовувати для демінералізації білкового концентрату.

3.3 Дослідження коефіцієнтів затримання з накладенням електричних імпульсів

Для обраного періоду накладення електричних імпульсів були отримані експериментальні залежності коефіцієнта затримання мембранами

мінеральних солей від щільності струму і концентрації в розчині (рис. 3.9 - 3.11).

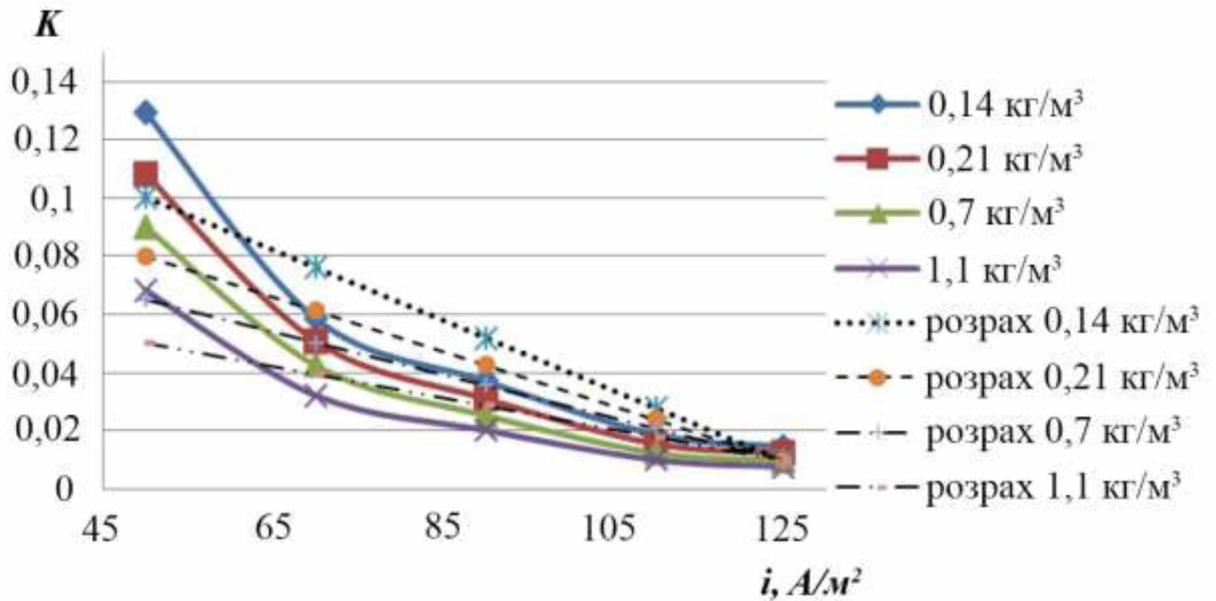


Рисунок 3.9 – Залежність коефіцієнта затримання (K) солей від щільності струму (i , A/m^2) при $P = 1,0$ МПа і різних концентраціях солей для ультрафільтраційної мембрани УАМ-150

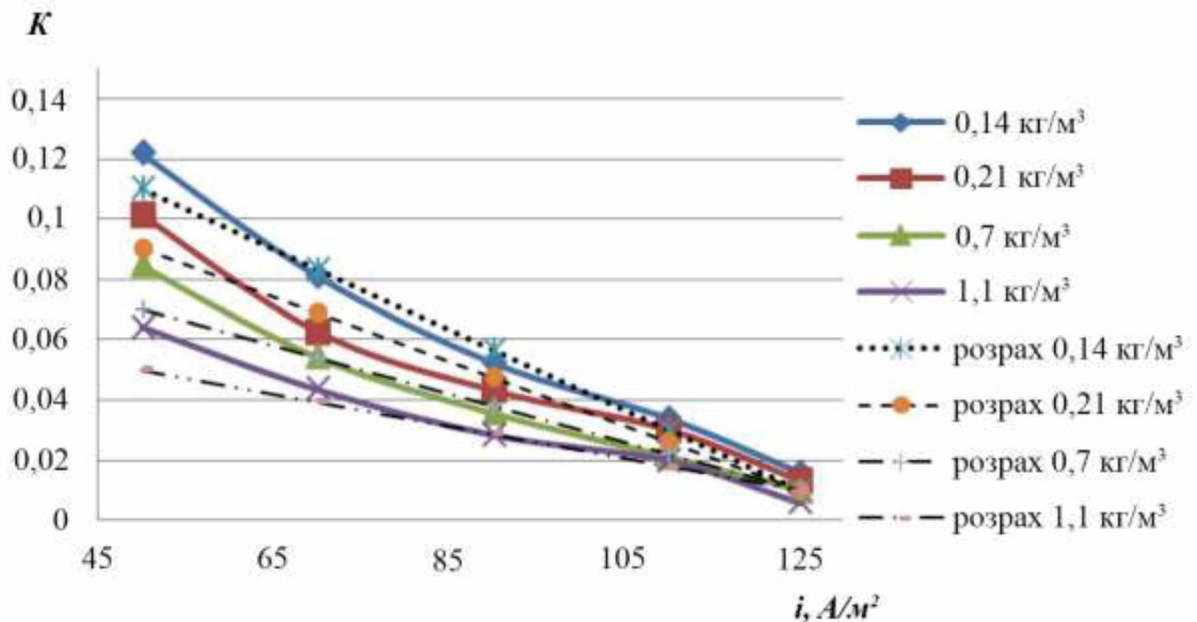


Рисунок 3.10 – Залежність коефіцієнта затримання (K) солей від щільності струму (i , A/m^2) при $P = 1,0$ МПа і різних концентраціях солей для ультрафільтраційної мембрани УПМ-100

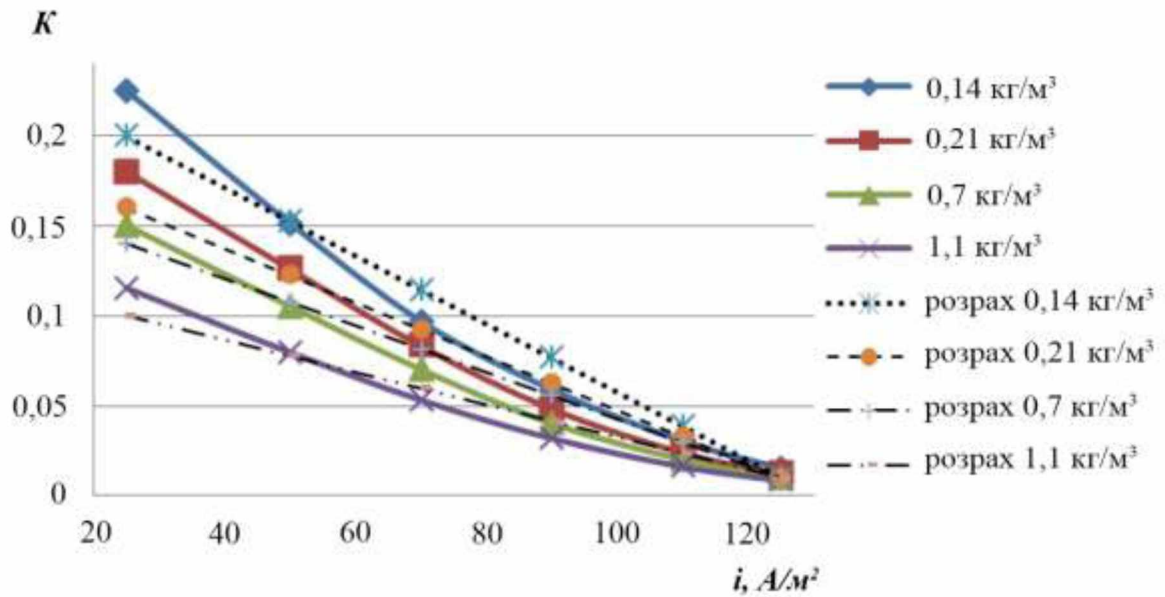


Рисунок 3.11 – Залежність коефіцієнта затримання (K) солей від щільності струму (i , A/m^2) при $P = 1,0$ МПа і різних концентраціях солей для ультрафільтраційної мембрани УПМ-К

Накладення електричних імпульсів, як видно з результатів експериментальних досліджень, знизило коефіцієнт затримання мембранами мінеральних солей, що збільшило рівень демінералізації концентрата. Рівень демінералізації перевищив 80%, що дозволяє використовувати отриманий концентрат в харчових цілях [22].

При накладенні електричних імпульсів на ультрафільтраційний процес, мінеральні солі, що знаходяться в концентраті, дисоціюють на іони. Іони несуть заряд певного знака і спрямовуються до електрода, який несе протилежний заряд. При цьому електрод знаходиться з іншого боку ультрафільтраційної мембрани відносно концентрату. Таким чином, під дією електричного імпульсу, іони мінеральних солей витягуються з концентрату і несуться потоком пермеата.

При цьому слід розуміти, що швидкість видалення різних іонів в такому процесі буде різною. Величина швидкості буде залежати від іонної рухливості і ступеня дисоціації мінеральних солей. В першу чергу будуть

видалятися однозарядні іони. З огляду на малий період накладення електричного імпульсу, можна припустити, що запропонована технологія буде сприяти вилученню головним чином саме однозарядних іонів. Однак в сукупності з конвективним переносом молекул мінеральних солей з потоком пермеата, розглянутий процес забезпечує необхідний ступінь демінералізації [23].

Висновки

1. Проведено і інтерпретовані експериментальні дослідження технологічних і кінетичних характеристик процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки. Проведено експериментальні дослідження по визначенню раціональних характеристик електричних імпульсів.

2. Отримано експериментальні дані по коефіцієнту затримання, питомого потоку розчинника, дифузійному потоку і коефіцієнту розподілу в залежності від концентрації, температури і величини імпульсу струму при ультрафільтраційному концентруванні білка і витяганні солей.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

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

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітлені у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.).

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України, представники науково-дослідних, проєктно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проєктів.

Реалізація програм, проєктів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що заінтересовані у реалізації проєктних рішень або експлуатують відповідний об'єкт. Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою заінтересованих юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроєктних, передпланових, проєктних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка здійснюється Міністерством охорони навколишнього природного середовища разом із Міністерством охорони здоров'я України.

4.2. Охорона праці

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

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

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в

робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях у світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

Основними технічними засобами охорони праці є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли

його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через задалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

(ПАВ (поверхнево-активні речовини), порошкоподібні мінеральні і органічні солі антифрикційних металів, водорозчинні ЗОР (змащуючо-охолоджуючі рідини), гліцерин, органічні кислоти та ін.).

Робота з такими речовинами (поверхнево-активні речовини, порошкоподібні мінеральні і органічні солі антифрикційних металів, водорозчинні змащуючо-охолоджуючі рідини, гліцерин, органічні кислоти та ін.) створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;

- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;

- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

У розділі охорони праці представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби.

4.3. Розробка технологічної схеми ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки

За результатами розрахунку установки для ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки з імпульсним підведенням струму, виходячи з обсягів її утворення в технологічному циклі Пирятинського сироробного заводу, для концентрування підсирної сироватки в безперервному циклі можна застосовувати чотири паралельні ультрафільтраційні установки, що містять мембранні апарати з розрахованими характеристиками. Схема такої лінії представлена на рис. 4.1.

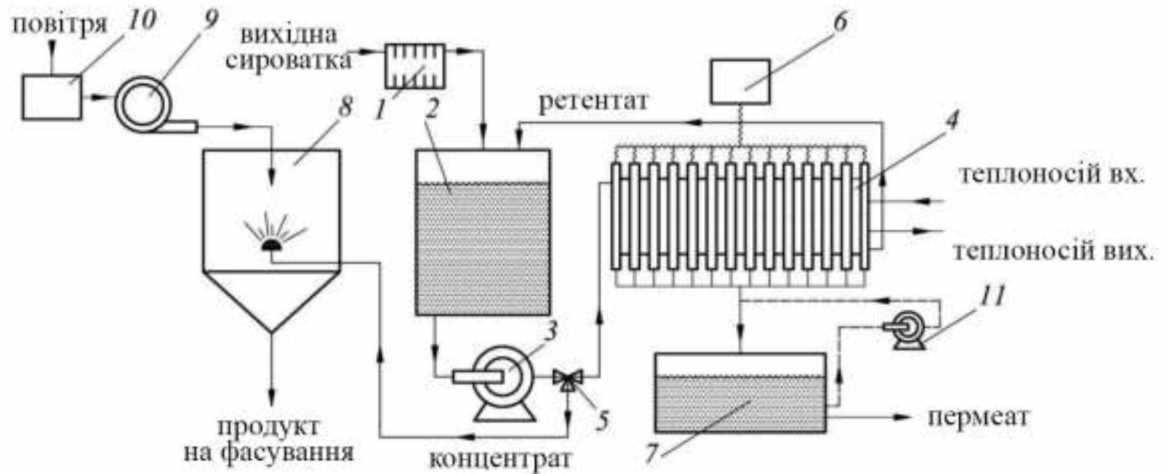


Рисунок 4.1 – Технологічна схема лінії ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки

1 - центрифуга; 2 - вихідна ємність; 3 - робочий насос; 4 - ультрафільтраційний апарат; 5 - триходовий вентиль; 6 - джерело електричних імпульсів; 7 - ємність пермеата; 8 - розпилювальна сушарка; 9 - тепловентилятор; 10 - патронний фільтр; 11 - промивний насос

Для запобігання швидкої закупорки пор мембран, при надходженні підсирної сироватки з сировиготовляч у видаткову ємність 2 мембранної лінії необхідно попереднє відділення жирових і казеїнових частинок в центрифугу 1. Насос 3, в залежності від обраного режиму і положення триходового вентилля 5, здійснює подачу сироватки в мембранний апарат 4 або, після досягнення необхідного ступеня концентрування, - подачу концентрату на розпилювальну сушарку 8. Подача електричних імпульсів на електроди ультрафільтраційного апарату здійснюється джерелом електричних імпульсів 6. На лінії пермеата, між ємністю для збору пермеата 7 і ультрафільтраційним апаратом 4, передбачений промивний насос 11 для промивання мембранної системи зворотним струмом. Повітря для розпилювальної сушарки 8 забирається з атмосфери через патронний фільтр 10, який не допускає потрапляння пилу в харчову сировину. Повітря

наганяється і нагрівається тепловентилятором 9, потужність якого підбирається при розрахунку сушарки.

Вихідна сироватка надходить в початкову ємність з трьох сировиготовлячів, проходячи 30 секундну стадію центрифугування. Процес виробництва сиру в сировиготовляч займає 1,5 години. За цей час сироватка концентрується запропонованими ультрафільтраційними апаратами до вмісту білків 40% мас. По закінченню цього часу і по досягненні заданої концентрації насос перемикається для подачі концентрату на сушарку. Паралельно йде заповнення другої (паралельної) вихідної ємності новою порцією сироватки, концентрування якої починається після закінчення сушки концентрату.

4.4. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Процес виробництва сиру може бути організований за наступною схемою – сирна маса згортається з молока під дією сичужних ферментів. Вторинним продуктом при цьому є молочна, або підсирна, сироватка. Таким чином, підсирна сироватка – це рідка маса, що залишається після вилучення білкових компонентів молока, що згорнулися під дією сичужних ферментів. Маса сиру становить 10 - 20% маси вихідного молока, а решту 80 - 90% маси - молочна сироватка.

Розглянемо можливість застосування мембранних технологій в технологічному циклі.

Починається виробництво сиру тут з наповнення трьох сировиготовлячів. Об'єм кожного з них $V_i = 5000$ л. Насосне обладнання для наповнення сировиготовлячів має продуктивність $G_{нас} = 10$ м³/год і його енергоспоживання становить $W_{нас} = 18$ кВт·год. Час, що витрачається на наповнення всіх сировиготовлячів становить $\tau_{нас} = 1,5$ ч часу. А витрати енергії:

$$N_{нас} = W_{нас} \cdot \tau_{нас} = 27 \text{ кВт}. \quad (4.1)$$

Після додавання до молока незначної кількості сичужних ферментів починається перемішування. Час перемішування за технологією заводу становить 1,5 години. В результаті з молока виділяється тверда маса згорнутих речовин, яка дробиться в сирну крихту. У рамках даної роботи ми нехтуємо витратами енергії на перемішування і дроблення одержуваної сирної маси.

Вихід сироватки становить близько 80% від маси завантаженого молока. Тому, після зупинки сировиготовляча, в них знаходиться сироватки:

$$V_{сир} = i \cdot V_i \cdot \frac{\omega_{сир}}{100\%} = 12 \text{ м}^3. \quad (4.2)$$

Якщо прийняти середній вміст білка в молоці рівним 3,2% по масі, то маса білків, що міститься у вихідному обсязі молока складе 480 кг при вихідному обсязі:

$$V_{мол} = i \cdot V_i = 15000 \text{ л}. \quad (4.3)$$

Процес концентрування цього білка будемо розглядати стосовно до мембранного ультрафільтраційного апарату власної розробки. Основні відмінності апарату від класичних ультрафільтраційних рішень – наявність в камері поділу електродів, що дозволяють виробляти імпульсну подачу електричного струму, з метою демінералізації сироватки, а також наявність системи охолодження сироватки, яка дозволяє відводити надлишки тепла в процесі концентрування, що запобігає псуванню сироватки за рахунок нагрівання в апараті.

Виходячи з необхідної продуктивності мембранної установки в промисловому виконанні 16 000 л/год., споживана потужність складе

15 кВт·год. Отримуємо витрати енергії на концентрування 16 000 л сироватки – вони складуть 15 кВт.

Технологія отримання товарного продукту передбачає сушку концентрату. Після сушіння продукт являє собою сухий білий порошок із середнім вмістом білка 80%, жиру 7%, вологи - 3,6%, золи - 2%. А досягається за рахунок електричних імпульсів рівень демінералізації, рівний 80%, дозволяє реалізовувати такий продукт на ринку під маркою КСБ-80. Скорочене найменування означає «концентрат сироватковий білковий» з вмістом білка не менше 80%. Такий концентрат знаходить широке застосування в харчовій промисловості, при виробництві напоїв спеціального призначення, молочних продуктів з підвищеним вмістом білка, безалкогольних напоїв, дитячого харчування і ін. продуктів.

Як видно з цих розрахунків, виробництво концентрату КСБ-80 – процес набагато більш витратний, в порівнянні з виробництвом сиру. Однак, значення витрат 0,29426664 грн на 1 грн продукту показує, що дане виробництво є економічно вигідним і дозволяє отримувати близько 70 копійок прибутку з кожного 1 грн кінцевого продукту. Крім того, дуже важливим є той факт, що молочна сироватка є побічним продуктом виробництва сиру. А це означає наступне. При вкладенні коштів в концентрування сироватки, суми вкладень будуть значно вище, в порівнянні з виробництвом сиру, однак, ці вкладення будуть повернуті після продажу продукту.

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропоновані експериментально визначені оптимальні умови реалізації процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки з імпульсним підведенням струму є безпечними для навколишнього середовища.

Виконано аналіз умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Обґрунтовано економічна ефективність запропонованої лінії ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки. Очікуваний економічний ефект від впровадження лінії складе 100 тис. грн. в рік в цінах 2020 року. Розрахункова собівартість виробництва концентрату складає 0,29 грн. на 1 грн. товарного продукту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вивчено кінетичні та технологічні закономірності ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки, в тому числі з імпульсним підведенням струму. Отримано експериментальні дані по коефіцієнту затримання, питомому потоку розчинника, дифузійному потоку і коефіцієнту розподілу в залежності від концентрації, температури і величини імпульсу струму.

2. Експериментально визначено й обґрунтовано оптимальні умови реалізації процесу ультрафільтраційного концентрування і демінералізації підсирної сироватки з імпульсним підведенням струму: із застосуванням ультрафільтраційних мембран УПМ-100 при тиску 1 МПа, з накладенням електричних імпульсів періодом 1 с, щільністю струму 75 A/m^2 і відведенням тепла, що забезпечує підтримку температури ретентату на рівні 293 К.

3. Запропоновано удосконалену технологічну схему лінії концентрування і демінералізації підсирної сироватки з отриманням сухого сироваткового концентрату, що включає ультрафільтраційний апарат плоскокамерного типу. Обґрунтовано її економічна ефективність.