

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ УТИЛІЗАЦІЇ
ВІДХОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ З ВИРОБНИЦТВА
МОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ»**

Виконав: здобувач вищої освіти 5 курсу (ХТз-1-21),
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ **Артем РОМАНЕНКО**

Керівник: _____ **Ірина ХОЛОБЦЕВА**

Рецензент: _____

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 Харчові технології

Затверджую:

Завідувач кафедри харчових технологій

к.т.н., доцент _____ Віталій КОШУЛЬКО

« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Романенку Артему Максимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Удосконалення процесу утилізації відходів на підприємстві з виробництва молочної продукції», керівник роботи Холобцева Ірина Петрівна, докторка філософії (PhD), доцентка – затверджені наказом ректора від «01» травня 2026 р. №873.

2. Термін здачі закінченої роботи: «10» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: загальні відомості про підприємство молочної промисловості («Царичанський Маслозавод», сел. Царичанка Дніпропетровської області); нормативна, довідникова, наукова документація і література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: 1. Огляд літературних джерел за темою досліджень; 2. Матеріали та методи досліджень; 3. Результати дослідження, їх аналіз та обґрунтування; 4. Охорона праці та техніка безпеки при роботі підприємств молочної промисловості; Загальні висновки; Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу: презентація результатів кваліфікаційної роботи у програмному середовищі Microsoft PowerPoint.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з. п.	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	1 Огляд літературних джерел за темою досліджень	08 травня 2026 р.	
2	2. Матеріали та методи досліджень	14 травня 2026 р.	
3	3. Результати дослідження, їх аналіз та обґрунтування	28 травня 2026 р.	
4	4. Економічна ефективність запроєктованих рішень	2 червня 2026 р.	
	5. Охорона праці та техніка безпеки при роботі підприємств молочної промисловості	7 червня 2026 р.	
6	Вступ, висновки, бібліографія, підготовка презентації	10 червня 2026 р.	

Дата видачі завдання: 02 травня 2065 р.

Здобувач вищої освіти _____ (Артем РОМАНЕНКО)
(підпис)

Керівник роботи _____ (Ірина ХОЛОБЦЕВА)
(підпис)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	6
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Характеристика вторинної молочної сировини та світовий досвід її переробки	10
1.2. Еколого-технологічна класифікація вторинної сировини та відходів молочного виробництва	11
1.3. Характеристика вторинних ресурсів та відходів молочної промисловості	13
1.4. Світові тенденції та інноваційні технології переробки побічних продуктів молочної індустрії	19
2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1. Організаційно-технологічна характеристика об'єкта дослідження	24
2.2. Методологія розрахунку та нормування виходу побічних продуктів молочного виробництва	25
2.3. Перспективні інноваційні методи комплексного використання ВСП молочної промисловості	31
2.4. Оцінка технологічних процесів виробництва харчових продуктів за ступенем маловідходності та безвідходності	34
2.5. Методичні основи зниження техногенного навантаження молочних підприємств на компоненти довкілля	38
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ, ЇХ АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ...	40
3.1. Обґрунтування технологічних процесів безпечної переробки ВСП на підприємстві молочної галузі	40

3.2. Вплив і забруднення ВРС молочної промисловості на компоненти навколишнього середовища	45
3.3. Технологічне проектування та розрахунок параметрів локальних очисних споруд підприємства молочної галузі	49
3.4. Розрахунок технологічної лінії з утворенням ВСР молокозаводу продуктивністю 25 т/добу	59
4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОЕКТОВАНИХ РІШЕНЬ	64
4.1. Розрахунок капітальних інвестицій на модернізацію	64
4.2. Поточні експлуатаційні витрати та розрахунок річного економічного ефекту та окупності	65
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ ПІДПРИЄМСТВ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	68
5.1. Ідентифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів ...	68
5.2. Комплекс превентивних та захисних заходів для безпечного виробничого процесу підприємства	70
ВИСНОВКИ.....	73
БІБЛІОГРАФІЯ.....	76

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи становить 77 сторінок машинописного тексту, містить 10 таблиць і 13 рисунків.

Об'єкт дослідження – процес утворення, глибокої утилізації та комплексного залучення вторинних сировинних ресурсів і побічних продуктів (молочної сироватки, знежиреного молока, маслянки), а також висококонцентрованих рідких стоків у виробничий цикл підприємства молочної промисловості потужністю 25 т/добу.

Предмет дослідження – технологічні параметри, матеріальні та енергетичні баланси безвідходного фракціонування вторинної біоорганічної сировини, процеси анаеробного метаногенезу суміші стоків, мембранні методи рециклінгу води та техніко-економічні показники впровадження даних рішень.

Мета роботи – інженерно-технологічне удосконалення процесу утилізації відходів та вторинних ресурсів на молокопереробному підприємстві потужністю 25 т незбираного молока на добу з метою переходу на засади циркулярної економіки, забезпечення повної енергетичної автономності локальних очисних споруд, вторинного оборотного водовідведення та максимізації прибутку підприємства.

Методи дослідження – системний аналіз і узагальнення літературно-патентних джерел, метод матеріальних та енергетичних балансів, розрахунково-аналітичні методи моделювання мікробіологічного метаногенезу, а також інженерно-економічний аналіз оцінки ефективності капітальних інвестицій.

Отримані результати – для проектної лінії потужністю 25 т/добу розроблено замкнуту енергоефективну еко-систему глибокої утилізації всіх

видів ВСР. Виконано точний матеріальний розрахунок, згідно з яким обсяг утворюваної сироватки (10300 л/добу) диверсифікується на сушіння (отримання 566,5 кг сухої речовини на добу) або біо-конверсію. Розраховано вихід товарного СЗМ (2028 кг/добу) та дієтичного сиру (1388 кг/добу з 50% обсягу знежиреного молока). Доведено, що комбіноване анаеробне зброджування 10,3 м³/добу рідких залишків та 87,5 м³/добу стічних вод забезпечує стабільну щодобову генерацію 499,5 м³ біогазу, що при когенерації покриває 2997 кВт·год/добу власної енергії. Обґрунтовано схему мембранного зворотного осмосу, яка дозволяє повертати в оборотний цикл 52,5 м³/добу технічної води (60% від загального стоку).

Економічна ефективність та впровадження: Встановлено, що капітальні витрати на закупівлю модульного біогазового комплексу, генератора потужністю 300 кВт та баромембранних блоків становлять 15710,0 тис. грн. Валовий річний економічний ефект за рахунок заміщення купованої електроенергії та рециклінгу води становить 7 294,5 тис. грн/рік при поточних експлуатаційних витратах 820,0 тис. грн/рік. Чистий річний прибуток від впровадженої модернізації дорівнює 6 474,5 тис. грн, що забезпечує термін окупності проекту 2,5 року (близько 30 місяців).

Ключові слова: молоко, молочна сироватка, знежирене молоко, маслянка, вторинні сировинні ресурси (ВСР), анаеробне зброджування, метантенк, біогаз, когенерація, рециклінг води, циркулярна економіка.

ВСТУП

Молочна промисловість є важливою галуззю агропромислового комплексу України. Вона забезпечує населення основними продуктами харчування. Сьогодні галузь стикається з великими обсягами переробки сировини та проблемами управління відходами. Основним джерелом сирого молока є великі агрохолдинги та приватні господарства. З цієї сировини підприємства виробляють широкий асортимент продукції. До нього належить питне молоко, яке буває пастеризованим, ультрапастеризованим та стерилізованим. Також заводи випускають кисломолочні продукти, зокрема кефір, йогурт, сметану, ряжанку, продукцію на основі заквашеного молока та кисломолочний сир. Асортимент також включає тверді, напівтверді, м'які та плавлені сири, вершкове масло, сухе знежирене і незбиране молоко, морозиво.

Під час переробки молока утворюється багато відходів та побічних продуктів. Їх можна розділити на кілька основних видів. Найбільший обсяг складають рідкі відходи, а саме молочна сироватка. Вона з'являється при виробництві сирів. Сироватка містить багато лактози, білків, мінеральних солей та вітамінів. Наступним видом є технологічні промивні води. Вони утворюються під час миття обладнання, тари та виробничих приміщень. Ці стоки містять залишки молока та хімічних миючих засобів. Також на підприємствах утворюється конденсат під час випаровування вологи для виготовлення сухого молока. До твердих відходів належать осади від очищення стічних вод, сепараторний шлам, пакувальні матеріали та залишки бракованої продукції.

Неправильна утилізація цих відходів сильно шкодить довкіллю. Найбільше страждають водні ресурси. Рідкі відходи та сироватка мають високі показники біологічного та хімічного споживання кисню. Якщо скидати їх у

водойми без очищення, вода починає «цвісти». У ній різко падає рівень кисню, через що гине риба та інші живі організми. Скидання рідких відходів на землю призводить до забруднення ґрунту. Через це підвищується його кислотність, змінюється структура та накопичуються шкідливі речовини з миючих засобів. Крім того, органічні речовини у відходах швидко розкладаються. Цей процес викликає неприємний запах та виділення парникових газів, наприклад метану та вуглекислого газу, що забруднює повітря.

Сучасні технології дозволяють розглядати ці відходи як цінну вторинну сировину. Українські молочні підприємства потребують модернізації. Їм необхідно впроваджувати нові методи переробки та утилізації. Для цього добре підходять мембранні технології та отримання біогазу. Також важливо посилювати контроль за дотриманням екологічних норм на рівні підприємств галузі та держави. Стимулювання підприємств до використання «зелених» технологій допоможе розвитку циркулярної економіки. Це забезпечить сталий розвиток усієї молочної промисловості України.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Характеристика вторинної молочної сировини та світовий досвід її переробки

Молочна промисловість базується на використанні молока як основної сировини. За своєю фізико-хімічною природою молоко є складною полідисперсною системою. Вода становить від 83 до 89% цієї системи і виконує роль дисперсного середовища. Дисперсна фаза молока має кілька рівнів складності. Перший рівень утворюють грубі дисперсії молочного жиру та ліпопротеїнових частинок. Другий – представляє собою тонку колоїдну систему казеїнових часток. Третій рівень складається з молекулярних іонізованих розчинів. Ці розчини містять сироваткові білки, низькомолекулярні азотисті речовини, лактозу та різноманітні солі.

Хімічний склад молока не є стабільним і постійно коливається. Ці зміни залежать від породи худоби та конкретного періоду лактації тварин. Також на склад сировини сильно впливають умови утримання та раціон годівлі корів. Наприклад, вміст жиру в молоці великої рогатої худоби зазвичай становить від 2 до 6%. Сучасна молочна галузь випускає великий перелік товарів. До основних видів її продукції належать вироби з незбираного молока та різноманітні кисломолочні продукти. Також підприємства виготовляють вершкове масло, тверді і м'які сири, згущені молочні консерви, сухе молоко та морозиво. Під час виробництва більшості цих продуктів утворюються значні обсяги побічної сировини.

Зарубіжний досвід показує на високу ефективність у сфері поводження з такими вторинними ресурсами. У країнах Європейського Союзу та США

молочні відходи давно не вважають «сміттям». Там їх розглядають як цінне джерело прибутку та енергії. Провідні європейські заводи переробляють до 95% усієї молочної сироватки. Для цього вони активно використовують сучасні методи мембранного розділення. Завдяки ультрафільтрації та нанофільтрації іноземні підприємства виділяють із сироватки чисті білки та лактозу. Ці компоненти потім сушать і продають як дорогі інгредієнти для дитячого та спортивного харчування.

Також великі підприємства Німеччини та Нідерландів активно впроваджують принципи безвідходного виробництва. Рідкі відходи з низьким вмістом сухих речовин та промивні води вони направляють на біогазові станції. Там під дією спеціальних бактерій органічні залишки перетворюються на біометан. Отриманий газ заводи використовують для підігріву води та генерації власної електроенергії. Такий підхід дозволяє закордонним компаніям значно знижувати витрати на традиційне паливо. Крім того, це допомагає їм повністю виконувати суворі міжнародні екологічні вимоги. Досвід цих країн є корисним орієнтиром для модернізації українських молокозаводів.

1.2. Еколого-технологічна класифікація вторинної сировини та відходів молочного виробництва

Під час промислової переробки молока утворюються дві основні групи матеріалів. До першої групи належать вторинні сировинні ресурси. У галузевій термінології їх також називають побічною продукцією. Сюди відносять знежирене молоко, маслянку та молочну сироватку. Другу групу складають безпосередньо виробничі відходи. До них належать технологічні ополоски, шлам сепараторів, зачистки та випадкові розсипки сировини.

Вторинні сировинні ресурси можна класифікувати за технологічними стадіями їхнього отримання. На первинній стадії обробки натурального молока заводи отримують знежирене молоко та перші ополоски. На другій стадії переробки сировини виникають молочна сироватка, маслянка та шлам сепараторів. Також виділяють третю стадію. Це промислова переробка самих вторинних ресурсів. На цьому етапі утворюються шлам і ополоски сепараторів, а також пригар і ополоски пастеризаційних установок. Сюди ж відносять конденсат вторинних парів від вакуум-випаровування, пригар і пил від сушильних веж. На цій стадії також з'являються фільтрат, альбумінове молоко, молочна меляса та відпрацьована біомаса дріжджів.

За критерієм матеріаломісткості всі ресурси та відходи ділять на дві категорії. До великотоннажних відносять знежирене молоко, молочну сироватку, маслянку та конденсат вторинних парів. Усі інші види відходів вважають малотоннажними.

За ступенем промислового використання побічні продукти та відходи класифікують на три групи. Це ресурси, які використовуються повністю, використовуються лише частково або не використовуються взагалі. До продуктів із високим рівнем використання належать знежирене молоко, маслянка та більша частина молочної сироватки. Також сюди відносять альбумінове молоко, білкову масу, мелясу та барду.

Зовсім не використовуються або переробляються лише частково ополоски транспортних цистерн і технологічного обладнання. До цієї групи також належать пригар, молочний пил, санітарний брак продукції та відпрацьовані миючі розчини. На завершення, сюди ж відносять конденсат вторинних парів, фільтрат та деякі види специфічної сироватки.

Головною причиною слабого використання цих відходів є їхній нестабільний хімічний склад. Наприклад, ополоски обладнання сильно розбавлені водою. Вони містять занадто мало сухих речовин для економічно вигідної переробки традиційними методами. Крім того, шлам сепараторів і пастеризаційний пригар містять денатуровані білки та механічні домішки.

Вилучення цінних компонентів із таких сумішей вимагає складного і дорогого обладнання. Також значною проблемою є швидке мікробіологічне псування рідких відходів. Через високий вміст води та поживних речовин у них миттєво розвиваються бактерії. Це значно обмежує час для їхнього збору та подальшого очищення. Тому розробка ефективних методів концентрування та стабілізації таких відходів є важливим завданням для сучасної науки.

1.3. Характеристика вторинних ресурсів та відходів молочної промисловості

Знежирене молоко отримують шляхом сепарування незбираного молока для видалення з нього жирової фази. Вміст сухих речовин у знежиреному молоці в середньому становить 8,8%. Цей показник прямо залежить від початкової якості незбираної сировини. Знежирене молоко містить 0,05% молочного жиру, 3,2% білків, 4,8% лактози та 0,75% мінеральних речовин. Вона є джерелом білків високої біологічної цінності, які легко засвоюються організмом людини. Також один кілограм сухого знежиреного молока містить 110 міліграмів холіну, який має ліпотропні та антиатеросклеротичні властивості. Середня енергетична цінність цього продукту становить 1440 кДж/кг, а його кормова цінність дорівнює майже п'ятій частині перетравного протеїну.

Маслянка утворюється як побічний продукт під час виробництва вершкового масла. Її фізико-хімічні характеристики залежать від обраного методу збивання вершків та різновиду кінцевого продукту. Вміст сухих речовин у маслянці становить у середньому 8,9%. Сюди входить до 3,2% білків, близько 0,7% молочного жиру та 4,7% лактози. Також вона містить до 0,7% мінеральних речовин, холестерин та цінні фосфоліпіди. Завдяки такому складу маслянка має підвищену харчову цінність. Її середня енергетична

цінність становить 1600 кДж/кг. Вимоги до якості цієї сировини визначені в галузевих технічних умовах.

Молочна сироватка є побічним продуктом при виготовленні кисломолочного сиру, сичужних сирів та казеїну. Її склад залежить від виду основного продукту та технології його зсідання. У процесі виробництва в сироватку переходить до половини сухих речовин молока. В середньому вона містить 6,0 відсотків сухих речовин. До цього обсягу входить 0,7% білкових речовин, 0,1% жиру, 4,5% лактози, 0,5% мінеральних солей та 0,2% молочної кислоти. Головним компонентом вуглеводного складу є лактоза, а також глюкоза і галактоза. Білкові речовини сироватки представлені лактоглобуліном, лактоальбуміном та імуноглобуліном. Детальний склад різних видів молочної сироватки наведено на рисунку 1.1.

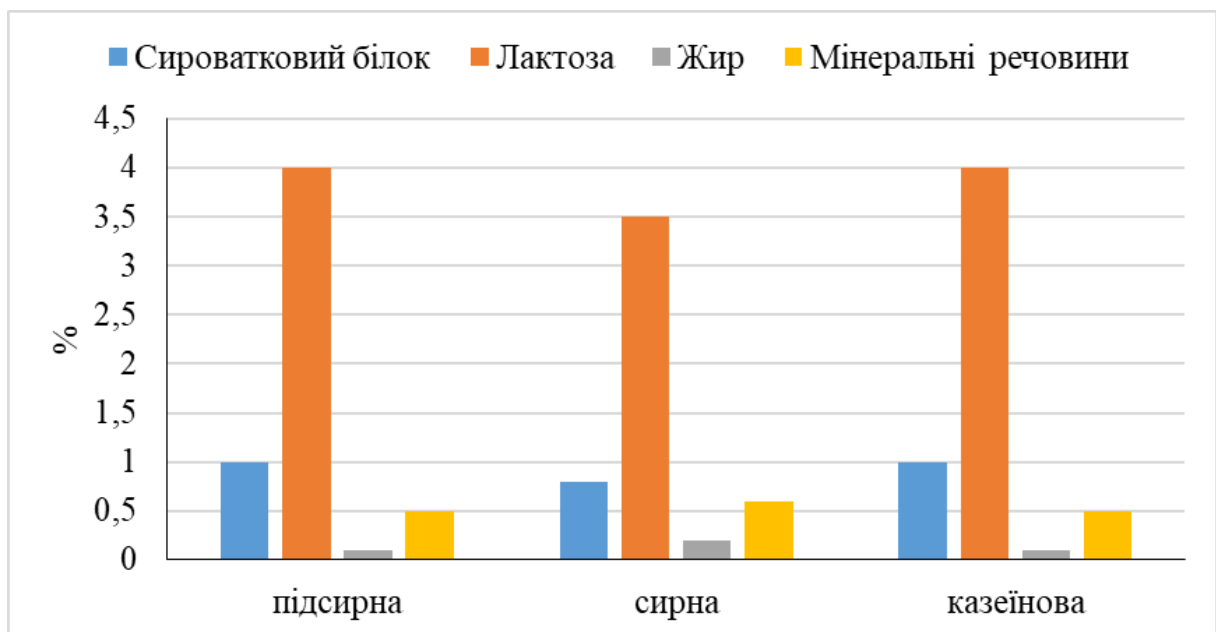


Рисунок 1.1. Відсотковий склад різних видів молочної сироватки, %

Середня енергетична цінність сироватки становить 1010 кДж/кг, а її кормова цінність сягає 20% перетравного протеїну. Якість цієї сировини регламентується відповідними технічними умовами.

Під час виробництва молочного цукру утворюються такі специфічні побічні продукти як меляса, барда та альбумінове молоко. Меляса містить до

30% лактози, до 6% білка та до 15% мінеральних солей. Її повністю використовують для виготовлення цукру-сирцю та кормових добавок. Барда виникає при зброджуванні сироватки на етиловий спирт і містить 1,1% сухих речовин. Вона йде на вирощування кормових дріжджів або на корм худобі. Альбумінове молоко отримують після теплової коагуляції та відокремлення білків із сироватки. Воно містить до 81% сухих речовин, з яких біля 3% припадає на білок. Його також використовують переважно на кормові цілі.

Ополоски утворюються під час миття обладнання та транспортної тари на всіх етапах виробництва. Вони містять значні залишки молока. Якісний та кількісний склад ополосків залежить від властивостей початкової сировини та характеристик самого обладнання. Дані щодо кількості ополосків та їхнього екологічного забруднення наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Кількість та забрудненість ополосків від різного типу обладнання

Вид обладнання	Ємність, продуктивність (т/год або м³)	Вид продукції	Маса залишків в 1 м³ (кг)	ХСК, кг О ₂ /л
Автомолокоцистерни	6,3	Молоко, що заготовл.	6,5	0,32
Резервуар вертикальний	10	Вершки 20%	5	0,08
Резервуар вертикальний	25	Молоко знежирене	1,1	0,026
Резервуар вертикальний	50	Молоко 3,2%	0,86	0,046
Резервуар горизонтальний	10	Молоко 2,5%	2,8	0,13
Пастеризаційно- охолоджувальні установки	5	Молоко, що заготовл.	11,54	0,576
Пастеризаційно- охолоджувальні установки	10	Молоко, що заготовл.	6,67	0,333

Галузеві нормативні документи вимагають обов'язкового збору ополосків. Збір здійснюють шляхом природного стікання або виштовхування залишків водою, повітрям чи знежиреним молоком. Також використовують фінішне ополіскування після роботи з в'язкими продуктами. Перші ополоски містять до 1,0% сухих речовин. Для кормових цілей доцільно збирати концентровані ополоски з вмістом сухих речовин не менше 3-5%. Склад таких розчинів для годування худоби наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Склад і властивості ополосків та натуральної сироватки для кормових цілей

Складові компоненти корму	Вміст				Споживання O ₂ , г O ₂ /л	
	лактози	білка	жиру	мінеральних речовин	ХСК	БСК
Цільномолочні ополоски	1,6	0,95	1,12	0,23	63	53
Кисломолочні ополоски	1,4	1,07	1,05	0,31	65	55
Сироватка сирна натуральна	4,1	0,48	0,14	0,59	70	59

Кожен завод має розробляти індивідуальні схеми збору концентрованих ополосків. Під час збору перших змивів доцільно використовувати автоматичні сигналізатори розділу середовищ типу KBM-25. Це допомагає запобігти надмірному розведенню суміші водою. Сьогодні створено систему алгоритмів для розрахунку характеристик відходів на різних типах обладнання. Це дозволяє оптимізувати схему збору відходів на конкретному підприємстві. Іншим варіантом використання змивних вод є їхнє сквашування

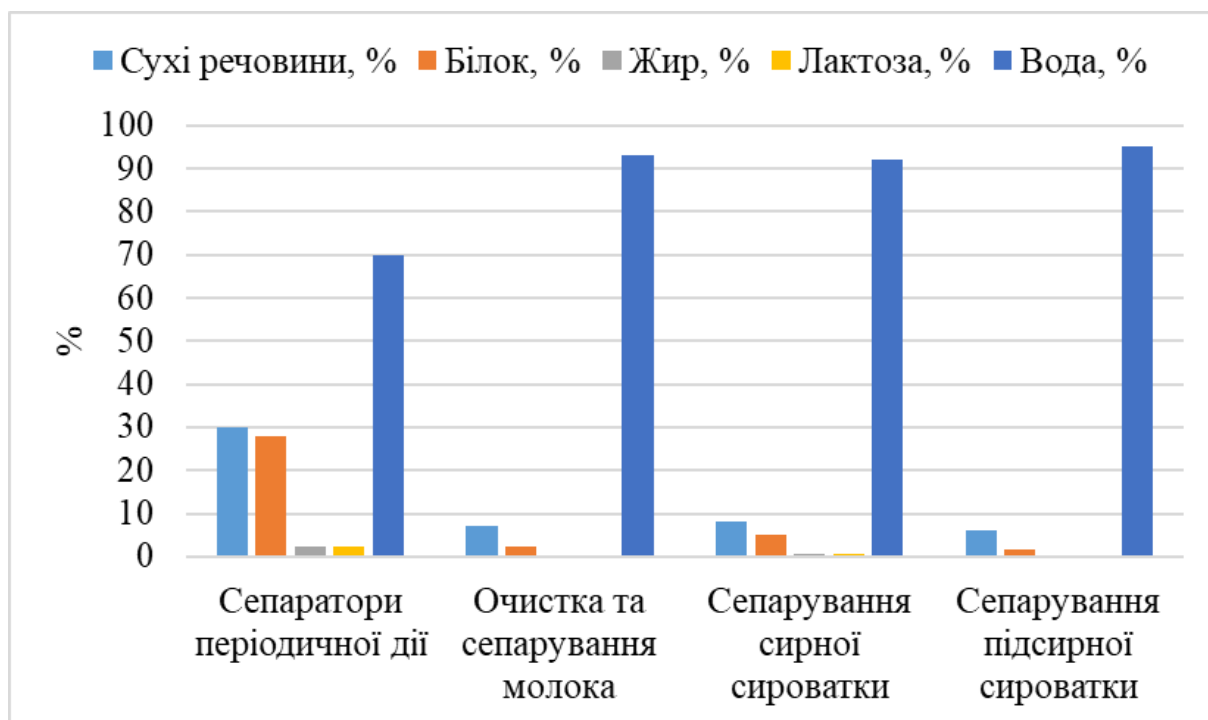
молочнокислими бактеріями. Отриманий рідкий корм має лікувально-профілактичні властивості для тварин.

Ультрафільтрати або пермеати утворюються під час мембранного розділення компонентів молочної сировини. Процес ультрафільтрації використовує напівпроникні мембрани з розміром пор від 10 до 100 нанометрів. Ці мембрани затримують жир та білок, а лактоза, мінеральні речовини та вода проходять крізь них. Отриманий фільтрат називають пермеатом. Зараз існує кілька напрямків його переробки. До них належить виробництво харчових продуктів, хімічних речовин та кормів. За відсутності умов для переробки пермеат скидають у каналізацію. Це сильно збільшує забруднення стоків, адже показник БСК одного літра пермеату становить 50 г О₂. Сьогодні розроблено технологію сумісного використання пермеату, перших змивних вод та шламу сепараторів для отримання рідкого корму для свиней.

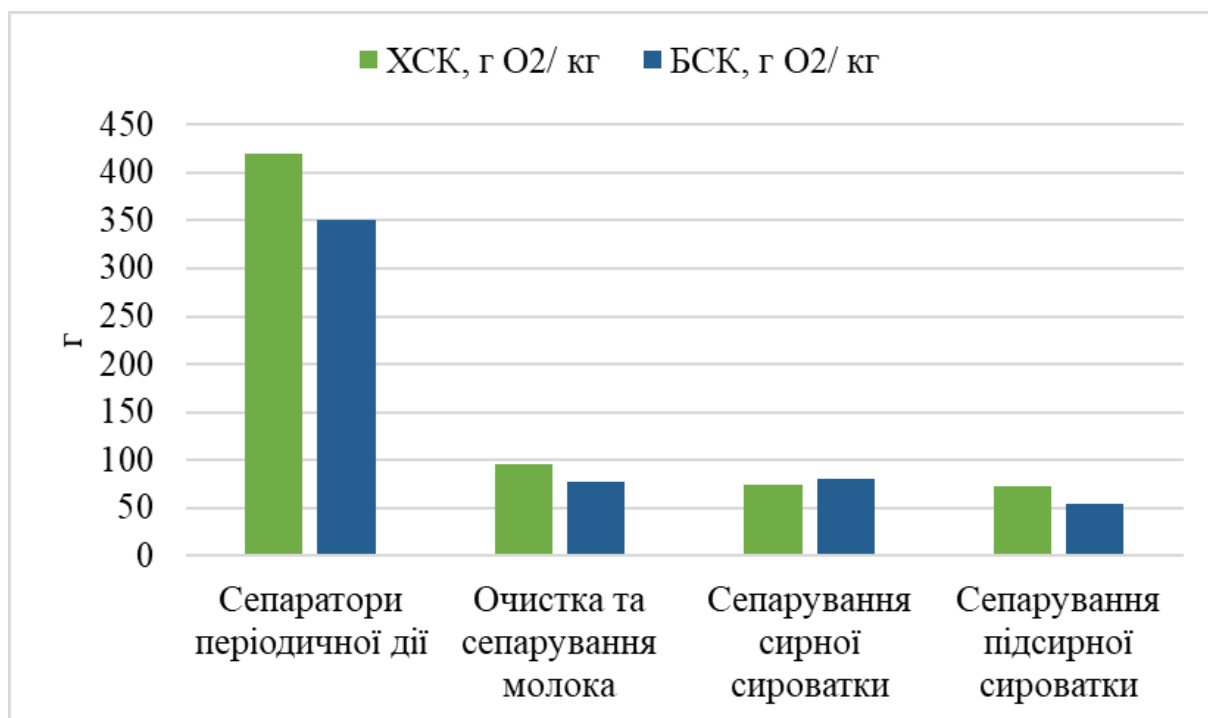
Шлам сепараторів утворюється під час очищення сирого молока та сепарування сироватки. Залежно від обладнання розрізняють шлам від саморозвантажувальних сепараторів та від апаратів періодичної дії. Шлам від саморозвантажувальних машин містить сепараторний залишок та змивну воду. Його кількість становить від 3,15 до 11 кілограмів на тонну сировини. Шлам із сепараторів періодичної дії видаляється вручну. Шлам від очищення сирого молока наразі не використовується в Україні через суворі санітарні вимоги. Натомість шлам від сепарування сироватки реалізують сільському господарству в суміші з альбумінним молоком. Детальний склад шламів наведено на рисунку 1.2.

Виробничо-санітарний брак виникає через протікання трубопроводів, переливи ємностей та випадкові розсипки. Якщо рідкий брак зібрано в чисту тару, його пастеризують і повертають у виробництво. Невеликі обсяги такого браку направляють на кормові цілі. Переливи виникають через відсутність датчиків рівня або несправність насосів. Розсипки сухих продуктів та сирного зерна з'являються при порушенні правил пакування чи пресування. Під час

сушіння молока також утворюється пил, який виноситься повітрям. Цей пил доцільно збирати для нормалізації рідких кормів.



а)



б)

Рисунок 1.2. Компонентний склад (а) та екологічні параметри (б) шламів сепарації молочної сировини

Зачистки є нормативними відходами, які утворюються під впливом мікрофлори повітря на поверхневий шар продуктів. Вони виникають при порушенні температурного режиму зберігання масла чи дозрівання сирів. Обсяг зачисток становить до 2% для сичужних сирів. Аварійний брак з'являється при відключенні електроенергії чи пари. Ці відходи заборонено скидати в каналізацію, їх збирають для переробки на корм. Продукція, яку повертають з торгівлі через пошкодження упаковки або закінчення терміну придатності, також підлягає обов'язковій переробці. Молоко та кефір переробляють на кисломолочний сир, вершкове масло переплавляють на топлене, а тверді сири використовують для виробництва плавлених сирів.

1.4. Світові тенденції та інноваційні технології переробки побічних продуктів молочної індустрії

У світовій практиці активно шукають рішення для повного та ефективного використання вторинних сировинних ресурсів молочної галузі. Ці пошуки ведуться у двох основних напрямках. Перший напрямок передбачає використання побічних продуктів у їхньому натуральному вигляді. Другий напрямок полягає в отриманні стійких і стабільних при зберіганні концентратів.

Знежирене молоко в розвинених країнах переважно направляють на промислову переробку. У США та Нідерландах цей показник досягає 100%. У Франції та Італії переробляють близько 95% знежиреного молока. У Великій Британії та Німеччині обсяг переробки перевищує 85%, а в Данії він становить до 70%. Із цієї сировини виробляють питну продукцію, напої, кисломолочні товари та згущені консерви. Також із неї роблять сухе знежирене молоко та казеїнати. У Німеччині до половини всього знежиреного молока висушують.

У країнах Європейського Союзу частка питного знежиреного молока перевищує чверть ринку. Зокрема, у Франції вона сягає половини ринку, у Великій Британії становить до 40%, а в США доходить до 47%.

Закордонні підприємства впроваджують складні біотехнологічні методи розділення сировини. Наприклад, у США знежирене молоко з початковим вмістом білка 3,2% піддають ультрафільтрації. Процес ведуть до отримання концентрату з 15% білка та 3,8% лактози. Потім продукт тричі діафільтрують водою. Це дозволяє довести вміст білків до 18% при мінімальній кількості лактози на рівні 0,1%. Отриману масу з умістом сухих речовин 21% висушують. Випускається також спеціальне питне молоко з низьким вмістом лактози або повністю знежирений продукт. Французькі компанії постачають на ринок замінник жиру. Його виробляють на основі яєчного білка та знежиреного молока шляхом підігріву й інтенсивного перемішування. Цей продукт утворює вершковоподібну рідину. Його додавання до їжі дозволяє знизити калорійність страв із збереженням маслянистої консистенції.

У міжнародній практиці маслянку здебільшого використовують для виготовлення дієтичних продуктів зі зниженою енергетичною цінністю. Її застосовують у натуральному вигляді або для виробництва сухих концентратів та дитячого харчування. У США, Франції та Польщі маслянку повністю спрямовують на харчові цілі. Значні обсяги молочної сироватки у світовій практиці повертаються фермерам для годівлі худоби. У країнах Європейського Союзу таке повернення в середньому становить 45% від загальних ресурсів. У Швейцарії цей показник сягає 95%, а у Великій Британії та Фінляндії коливається в межах 20-25%.

Найпоширенішим промисловим способом переробки сироватки є її висушування. Отриманий порошок використовують у харчовій та кормовій індустрії. У США на сушіння надходить близько 60% усього обсягу сироватки. Більше половини цього продукту купують хлібопекарські, кондитерські та молочні підприємства. Заводи США випускають модифіковану суху сироватку з видаленими мінеральними солями та зниженим вмістом лактози.

У Канаді розроблено технологію сухого напою на основі сироватки, знежиреного молока та сої. Міжнародні компанії створюють замінники сухого знежиреного молока. Ця суміш складається з солодкої сироватки, соєвих білків та фосфату кальцію.

Останнім часом у країнах Західної Європи особливу увагу приділяють глибокому фракціонуванню сироваткових білків. Сучасні заводи Данії та Швеції за допомогою хроматографічних методів виділяють із сироватки міnorні білки, зокрема лактоферин та лактопероксидазу. Ці речовини мають потужні антибактеріальні властивості. Їх використовують у фармакології та при виробництві преміальних адаптованих сумішей для новонароджених. Ціна таких ізолятів на світовому ринку є надзвичайно високою, що робить переробку сироватки дуже прибутковою. Також у США та Японії активно розвивається напрямок біоконверсії лактози. Завдяки спеціальним штаммам мікроорганізмів молочний цукор сироватки зброджують до полігідроксіалканоатів. Це природна сировина для створення біорозкладного пластику. Таке пакування повністю розкладається у ґрунті та замінює шкідливий поліетилен.

У Фінляндії із сироватки отримують глюкозо-галактозний сироп методом ферментативного гідролізу. Також там виробляють лактозу, лактулозу, лактітол та етиловий спирт. Спирт із сироватки також виготовляють заводи у США, Ірландії, Данії та Новій Зеландії. У Нідерландах 38% сироватки витрачається на виробництво замінників незбираного молока. Ще 35% витрачають на молочний цукор, а п'яту частину переробляють на демінералізовану суху сироватку. Решту 7% використовують для напоїв та згодовування тваринам. Голландські підприємства переробляють 2,2 мільйона тонн сироватки на рік. Ця сировина збирається з багатьох країн Європи у рідкому або концентрованому вигляді.

Важливим екологічним трендом на великих європейських заводах стало впровадження концепції фабрик з нульовим споживанням чистої води. Під час згущення молока та сироватки утворюються величезні обсяги вторинного

конденсату парів. Раніше цей конденсат вважався відходом і скидався у каналізацію. Сьогодні у Німеччині та Франції його піддають глибокому очищенню за допомогою систем зворотного осмосу. Схему замкнутого циклу використання вторинного конденсату на підприємстві зображено на рисунку 1.3. Очищений конденсат повторно використовують для технічних потреб підприємства, переважно для миття обладнання. Це дозволяє заводам знизити споживання свіжої артезіанської води на 60-70% та мінімізувати обсяги стічних вод.

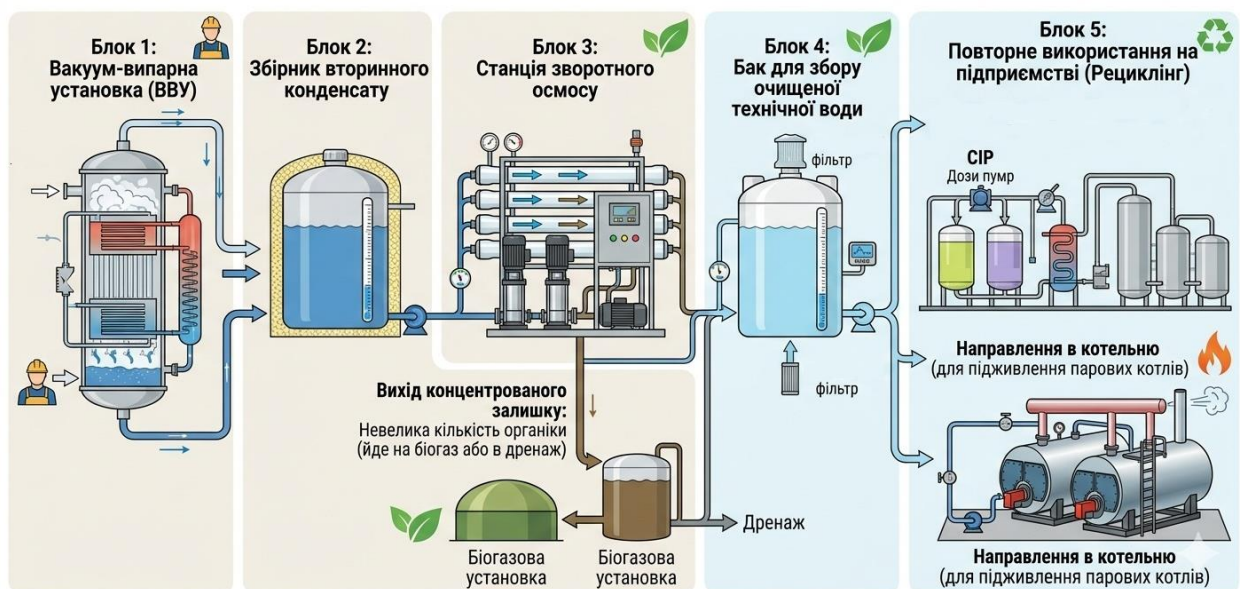


Рисунок 1.3. Схема замкнутого циклу використання вторинного конденсату на підприємстві.

Для концентрування сироваткових білків у світі активно застосовують метод ультрафільтрації. Принципову технологічну схему розділення молочної сироватки цим методом наведено на рисунку 1.4. Науковці розробили технології виготовлення м'яких сирів типу камамбер та фета з молока після такої фільтрації. Зараз ведуться дослідження щодо впровадження мембранних методів при виробництві твердих сирів. Також популярним стало безперервно-потокowe виробництво згущеного молока з безсиропним введенням цукру. Цей метод вважається найбільш прогресивним та

економічним. Він дозволяє усунути зупинки вакуум-апаратів та знизити собівартість готового продукту за рахунок високої регенерації тепла. Активно вивчається метод зворотного осмосу або гіперфільтрації під високим тиском. Цей спосіб дозволяє виділяти білки сироватки в їхньому природному незміненому стані.

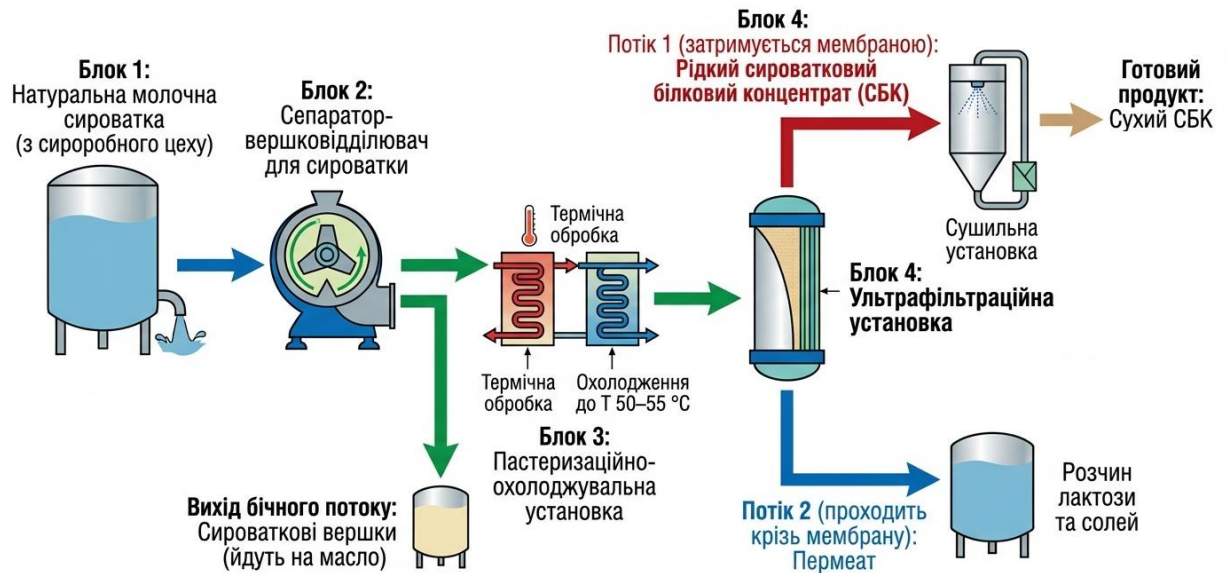


Рисунок 1.4. Принципова технологічна схема розділення молочної сироватки методом ультрафільтрації.

У багатьох країнах сепараторний шлам рекомендують використовувати для годівлі сільськогосподарських тварин. Такий підхід офіційно затвержений у Фінляндії, Японії та Австралії. У Новій Зеландії невеликі кількості шламу змішують з іншими рідкими відходами заводу і згодовують свиням. У Німеччині діють інші правила. Там шлам спочатку пастеризують, обробляють лугом, а потім скидають у загальну каналізацію. У деяких державах цей осад підлягає обов'язковому спалюванню або термічній деструкції на спеціальних установках.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Організаційно-технологічна характеристика об'єкта дослідження

Об'єктом практичного дослідження у цій роботі виступає виробнича система молокопереробного підприємства «Царичанський Маслозавод», яке розташоване в смт Царичанка Дніпропетровської області (рис. 2.1). Даний завод є типовим представником підприємств малої та середньої потужності регіонального рівня. Розрахункова виробнича програма підприємства становить 50 тонн переробки молока-сировини за одну зміну. Завод орієнтований на забезпечення високоякісною молочною продукцією промислових центрів Дніпропетровщини та має замкнутий цикл переробки. До складу підприємства входять три основні виробничі підрозділи, які включають цех незбираномолочної продукції, сироробну ділянку та маслоцех. Такий асортиментний профіль дозволяє гнучко реагувати на сезонні коливання попиту на сировину та готові товари.

Цех незбираномолочної продукції забезпечує випуск питного пастеризованого молока, дієтичного кефіру та сметани різної жирності. Сироробна ділянку спеціалізується на виробництві твердих сичужних сирів та м'якого кисломолочного сиру. У маслоцеху встановлено лінію з випуску солодковершкового масла методом безперервного збивання вершків. З точки зору екологічного моніторингу та раціонального природокористування, така структура виробництва генерує значні обсяги побічних продуктів та вторинних сировинних ресурсів. Основними джерелами утворення вторинної сировини на підприємстві є процеси сепарування молока, збивання вершків та

відділення сирного згустку. Комплексний аналіз саме цього об'єкта дозволяє об'єктивно оцінити ефективність упровадження нових безвідходних мембранних технологій та розрахувати реальне екологічне навантаження на водні об'єкти Дніпропетровського регіону.



Рисунок 2.1. Карта території та ділянка (червоний квадрат) розташування об'єкту досліджень

2.2. Методологія розрахунку та нормування виходу побічних продуктів молочного виробництва

Ефективність функціонування підприємств молочної промисловості та рівень їх екологічної безпеки безпосередньо залежать від точності обліку та нормування утворення вторинних сировинних ресурсів (ВСР) та побічних продуктів. Нормування утворення ВСР є обов'язковим елементом технологічного контролю, що дозволяє оцінити ступінь використання

складових частин сировини, встановити обсяги втрат та обґрунтувати матеріальний баланс виробництва.

Обсяги утворення таких великотоннажних ВСР, як знежирене молоко, маслянка та молочна сироватка, жорстко лімітовані технологічними інструкціями та рецептурами виробництва конкретних видів продукції. Питомі нормативи виходу побічної сировини розраховують у відсотках до маси переробленого незбираного молока або вершків. Усереднені галузеві нормативи утворення основних видів вторинних сировинних ресурсів під час переробки молока наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Усереднені галузеві нормативи утворення основних видів вторинних сировинних ресурсів під час переробки молока

Вид основного процесу / продукту	Вид вторинного ресурсу (побічного продукту)	Орієнтовний вихід, % до маси вихідної сировини	Основні контрольовані компоненти
Сепарування молока	Знежирене молоко (обрат)	88,0 – 92,0 % до маси молока	Білок, лактоза, мінеральні речовини
Виробництво вершкового масла (методом збивання)	Маслянка	55,0 – 60,0 % до маси вершків	Фосфоліпіди, молочний жир, плазма молока
Виробництво сиру кисломолочного	Сироватка кисломолочна	70,0 – 75,0 % до маси молока	Лактоза, сироваткові білки, молочна кислота
Виробництво твердих (сичужних) сирів	Сироватка підсирна	80,0 – 85,0 % до маси молока	Лактоза, сироваткові білки, мінеральні солі
Виробництво казеїну	Сироватка казеїнова	82,0 – 86,0 % до маси молока	Мінеральні речовини, вільні кислоти, лактоза

Окрім побічних продуктів, важливе значення має нормування технологічних відходів, які утворюються внаслідок зачищення обладнання, сепарування та миття. Розрахунок утворення таких відходів, як перші концентровані ополоски або сепараторний шлам, здійснюється на основі питомих технологічних втрат, затверджених для кожного типу обладнання (пастеризаторів, ємностей, трубопроводів).

Кількість сепараторного шламу у загальному вигляді залежить від ступеня забрудненості сирого молока механічними та мікробіологічними домішками і розраховується за формулою:

$$M_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{м}} \cdot C_{\text{дм}}}{100 \cdot (100 - W_{\text{ш}})} \quad (2.1)$$

де: $M_{\text{м}}$ – маса незбираного молока, що надходить на очищення, кг; $C_{\text{дм}}$ – вміст домішок у сирому молоці за показниками центрифугування, %; $W_{\text{ш}}$ – вологість сепараторного шламу (зазвичай становить 75–80%).

Для малотоннажних рідких відходів (ополосків) нормативи утворення закладаються з розрахунку геометрії технологічного обладнання. Збір перших промивних вод є критично важливим, оскільки вони містять до 1-3% сухих речовин молока і за умови належного контролю (наприклад, за допомогою датчиків електропровідності або оптичної густини) мають повертатися в технологічний цикл для кормових чи допоміжних цілей, знижуючи екологічне навантаження на очисні споруди підприємства.

Нормативи збору та обсяги утворення вторинних сировинних ресурсів (зокрема молочної сироватки, знежиреного молока та маслянки) на підприємствах молочної галузі розраховують та регламентують на основі рівнянь матеріального (технологічного) балансу.

Обсяг утворення знежиреного молока безпосередньо визначається масовою часткою жиру, що залишається в ньому після проведення первинної сепарації та обробки вихідної сировини. Кількість знежиреного молока, яку

отримують з 1 тони (1000 кг) незбираного молока під час відвезення вершків для подальшого виробництва вершкового масла, визначається за формулою:

$$M_{\text{зН}} = 1000 \cdot \frac{Ж_{\text{в}} - Ж_{\text{м}}}{Ж_{\text{в}} - Ж_{\text{зН}}} \cdot \left(1 - \frac{П}{100}\right) \quad (2.2)$$

де представлені наступні масові частки жиру: $Ж_{\text{в}}$ – у вершках, %; $Ж_{\text{м}}$ – в молоці незбираному, %; $Ж_{\text{зН}}$ – у знежиреному молоці, %; $П$ – нормативні технологічні втрати сировини при сепаруванні, %

Загальний обсяг утворення знежиреного молока в масштабах підприємства залежить від потреби у вершках заданої жирності для виробництва масла, сметани та інших високожирних продуктів, а також від кількості жиру в нормалізованому молоці, що спрямовується на виробництво сирів (твердих, напівтвердих) та сиру кисломолочного.

Кількість знежиреного молока, що утворюється з 1 тони незбираного молока в процесі його нормалізації для виробництва питного молока, розраховується за формулою матеріального балансу:

$$M'_{\text{зН}} = 1000 \cdot \frac{Ж_{\text{м}} - Ж_{\text{нм}}}{Ж_{\text{м}} - Ж_{\text{зН}}} \quad (2.3)$$

У технології сиро-виробництва, коли знежирене молоко отримують спеціально для нормалізації загального обсягу суміші, кількість незбираного молока, яку необхідно спрямувати на сепаратор, визначають за співвідношенням:

$$M_{\text{сп}} = M \cdot \frac{Ж_{\text{м}} - Ж_{\text{см}}}{Ж_{\text{м}} - Ж_{\text{зН}}} \cdot \frac{100}{100 - B_{\text{в}}} \quad (2.4)$$

де M – загальна кількість вихідного незбираного молока, що підлягає нормалізації, кг; $\mathcal{J}_{cm}$ – необхідна масова частка жиру в нормалізованій суміші для сиру, %; B_e – нормативний вихід вершків при сепаруванні, % до маси молока.

Відповідно, загальна маса знежиреного молока, отриманого після сепарації та внесеного до резервуару для змішування з незбираним молоком з метою отримання робочої нормалізованої суміші, визначається як:

$$M_{\text{зн.суміш}} = M_{\text{сп}} \cdot \left(1 - \frac{B_{\text{в}}}{100}\right) \quad (2.5)$$

Галузевий норматив утворення знежиреного молока при комплексному переробленні сировини з розрахунку на 1 тонну готового вершкового масла становить близько 18 тон.

Наступним важливим видом ВСР є маслянка (сколотини). Вихід маслянки залежить від асортименту масла, що виробляється, та обраного способу його виробництва (збивання вершків чи перетворення високожирних вершків). Розрахунок здійснюють на основі жирового балансу за формулою:

$$B_{\text{ск}} = M_{\text{в}} \cdot \frac{\mathcal{J}_{\text{в}} - \mathcal{J}_{\text{мс}}}{\mathcal{J}_{\text{в}} - \mathcal{J}_{\text{ск}}} \quad (2.6)$$

де $M_{\text{в}}$ – маса вершків, спрямованих на виробництво масла, кг; $\mathcal{J}_{\text{мс}}$, $\mathcal{J}_{\text{в}}$, $\mathcal{J}_{\text{ск}}$ – масова частка жиру відповідно у готовому вершковому маслі, вихідних вершках та отриманій маслянці, %.

Нормативні показники утворення маслянки при виробництві 1 т вершкового масла складає 1086 кг. При цьому регламентована масова частка жиру в маслі визначається на основі балансу сухих речовин та вологи за формулою:

$$Ж_{mc} = 100 - (ВЛ + СЗМЗ + С), \quad (2.7)$$

де ВЛ – масова частка води, %; СЗМЗ – масова частка сухого знежиреного молочного залишку, %; С – масова частка кухонної солі в маслі (для солоних видів масла), %.

Масу молочної сироватки, як найбільш великотоннажного вторинного ресурсу, що одержується при виробництві сичужних сирів, сиру кисломолочного та казеїну, визначають за балансом сухих речовин:

$$M_{сир} = M_{сир.суміш} \cdot \frac{CP_c - CP_{г.п.}}{CP_{сир} - CP_{г.п.}} \quad (2.8)$$

де $CP_{г.п.}$, CP_c , $CP_{сир}$ – відповідно вміст сухих речовин у кінцевому (готовому) продукті, сировині та сироватці, кг.

Згідно з діючими технологічними нормативами, середній вихід молочної сироватки складає:

- при виробництві сиру сичужного (твердого) та кисломолочного – 80 % від маси переробленої суміші;
- при виробництві бринзи та знежиреного сиру – 65 %;
- при виробництві харчового казеїну – 82 %;
- при виробництві технічного казеїну – 75 %.

Усереднений норматив утворення та збору молочної сироватки з 1 тони молока під час вироблення всього спектра білкової продукції на підприємстві становить 79% (або 790 кг на тонну сировини).

2.3. Перспективні інноваційні методи комплексного використання ВСР молочної промисловості

Трансформаційні процеси на сучасному ринку молочної продукції зумовили зміну векторів виробничих потужностей підприємств у бік випуску продуктів із тривалим терміном зберігання та високою доданою вартістю. До цієї категорії належать вершкове масло, сухі молочні концентровані продукти, тверді та напівтверді жирні сири, а також молочні консерви. На сьогодні понад 50% усього обсягу заготовленого молока-сировини спрямовується безпосередньо на сироробні та маслоробні лінії. Така структура виробництва неминуче призводить до прогресуючого збільшення обсягів утворення вторинних сировинних ресурсів (ВСР), які характеризуються високим вмістом повноцінного тваринного білка, лактози, мінеральних солей та вітамінів групи *B*. Разом із цим, значна частина вітчизняних підприємств досі не здійснює глибокої комплексної переробки ВСР через незадовільний техніко-технологічний рівень і застарілу апаратурно-методичну базу.

Еколого-економічні пріоритети розвитку галузі вимагають кардинальної структурної перебудови діючих виробництв. Перспективний екологічно безпечний вектор передбачає оптимізацію балансу переробки молока-сировини шляхом збільшення частоти випуску незбираної молочної продукції, спеціалізованого дитячого, геронтологічного та лікувально-дієтичного харчування, а також суттєвого розширення асортименту комбінованих низькожирних продуктів, збагачених сироватковими білками, поліненасиченими рослинними жирами, пребіотиками та мікронутрієнтами.

На сучасному етапі розвитку промисловості понад 90% від загальної маси утворених ВСР формально залучається до господарського обігу, проте структура їх утилізації залишається нераціональною (табл. 2.2). Повне або часткове невикористання ресурсного потенціалу побічної сировини є характерним для дрібних і середніх підприємств, де безпосередня організація глибокої мембранної або конденсаційної переробки є капіталом місткою та економічно нерентабельною у межах малого локального виробництва.

Таблиця 2.2. Залученість вторинних сировинних ресурсів молочної промисловості в господарський обіг

Найменування вторинного сировинного ресурсу (ВСР)	Загальний рівень залучення в обіг, %	Напрями використання ВСР, % від обсягу залучення	Напрями використання ВСР, % від обсягу залучення
		промислова переробка в межах галузі	поставка на кормові цілі в СГ та інші галузі
Знежирене молоко та маслянка	97,5	63,9	36,1
Молочна сироватка (підсирна / кисломолочна)	87,25	44,8	55,2

Оскільки молочний білок (зокрема казеїнова та альбумін-глобулінова фракції) визнано одним із найбільш біологічно цінних нутрієнтів, стратегічним завданням є його максимальне вилучення та рециркуляція. Одним із раціональних інженерних рішень є раціональне спрямування ВСР на синтез сухих і рідких замінників незбираного молока (ЗНМ), що застосовуються для вигодовування молодняку сільськогосподарських тварин. Впровадження цієї технології дозволяє суттєво вивільнити ресурси харчового незбираного молока для промислових потреб.

Особливу науково-практичну увагу слід приділити впровадженню замкнутих логістичних циклів, що передбачають повернення постачальникам сировини знежиреного молока та маслянки в термічно та біологічно обробленому (пастеризованому, концентрованому чи згущеному) вигляді. Надлишкові обсяги знежиреного молока необхідно піддавати вакуум-випарюванню з наступним розпилювальним сушінням. Це гарантує стабільно високі органолептичні та фізико-хімічні показники відновленого молока, значно подовжує терміни його зберігання та диверсифікує канали збуту. Деталізована принципова структура комплексного використання сировини та побічних продуктів переробки наведена на рисунку 2.2.

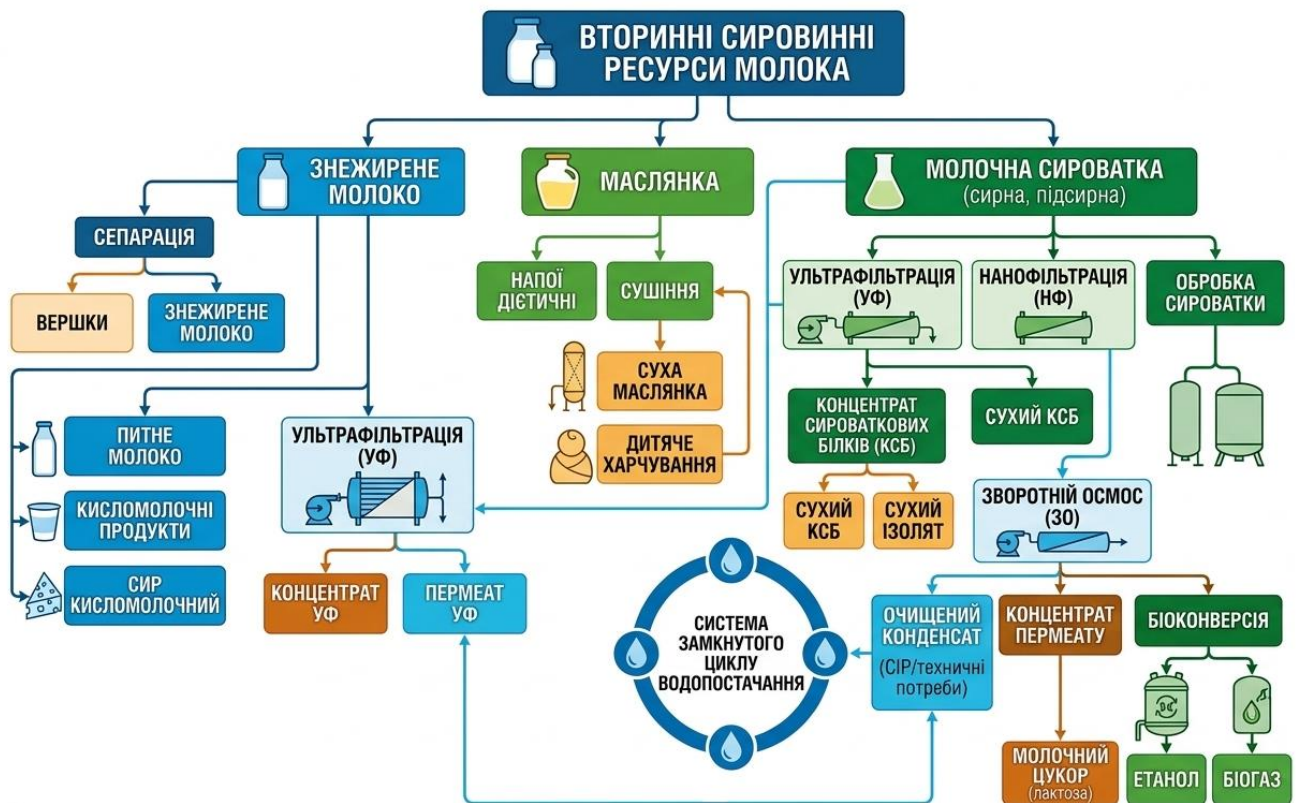


Рисунок 2.2. Структурно-технологічна схема комплексного фракціонування та переробки вторинних ресурсів молока

2.4. Оцінка технологічних процесів виробництва харчових продуктів за ступенем маловідходності та безвідходності

Рівень екологічної безпеки та ступінь маловідходності молочного виробництва об'єктивно оцінюється через кількісні показники втрат вихідної сировини та цільової продукції. Матеріальні втрати виражають масою втрачених сухих речовин молока, а також величинами екзогенного навантаження на гідросферу — показниками біологічного (БСК) та хімічного (ХСК) споживання кисню стічних вод.

За балансом сухих речовин інтегральний показник відходоємності виробничого процесу розраховується за формулою:

$$\Phi = Q \cdot R - \left(\sum_{i=1}^n q_i C_i + \sum_{j=1}^m b_j d_j + \sum_{k=1}^l a_k O_k \right) \quad (2.9)$$

де Φ — фактичні технологічні втрати за сухими речовинами молока, т/добу; Q — маса вихідної сировини, т/добу; R і C_i , — питомий вміст сухих речовин у вихідній сировині і продукції відповідно, т/добу; d_i , і O_i , — вміст сухих речовин в побічній продукції, т/т; q_i і b_i , — маса окремих видів основної та побічної продукції відповідно, т/добу; a_i — маса продукції, виготовленої з відходів харчового виробництва, т/т.

За відсутності на підприємстві прямих експериментальних даних щодо якісного складу потоків, коефіцієнти R , C , d , O визначають розрахунково-аналітичним методом на основі вхідних специфікацій та нормативно-технічної

документації. Визначення ступеня маловідходності за кінетикою окиснюваності стічних вод здійснюється за безрозмірним коефіцієнтом:

$$П_{co} = \frac{\Phi_{\text{факт}}}{T_{\text{норм}}} \quad (2.10)$$

де Φ – фактичні сумарні втрати органічних компонентів молока, що визначаються експериментально шляхом аналізу концентрацій забруднювальних речовин (за БСК₅ або ХСК) у стічних водах та аспіраційних викидах, кг О₂/добу; T – гранично допустима (нормативна) величина втрат, виражена в еквівалентних одиницях БСК або ХСК, кг О₂ /добу

У таблиці 2.3 наведено інженерний розрахунок нормативної екологічної забрудненості відходів, сформований на основі питомих галузевих втрат для молокопереробного підприємства потужністю 50 тонн молока за зміну.

Таблиця 2.3. Балансовий розрахунок добового нормативу скидання забруднювальних речовин молокозаводу (потужність 50 т/зміну)

Найменування готової продукції	Робоча жирність, %	Добовий обсяг випуску, т	Показники БСК	Показники БСК	Показники ХСК	Показники ХСК
			питоме, кг О ₂ /т	валове, кг О ₂	питоме, кг О ₂ /т	валове, кг О ₂
Питне молоко	3,2	29	1,41	40,9	1,89	54,8
Кефір / йогурт	3,2	12,2	2,09	25,5	2,89	35,2
Сметана	25	3	16,8	50,4	21	63
Сир кисломолочний	5	1,9	37,42	71,1	51,79	98,4
Сирки та пасти солодкі	7	1,1	59,82	65,8	65,82	72,4
Сир кисломолочний	9	1	57,7	57,7	74	74
Всього:	-	48,2	-	298,5	-	397,8

Середній розрахунковий обсяг водовідведення підприємства становить 378,77 м³/добу. Базовий теоретичний рівень забрудненості за показником ХСК для такої схеми становить 1050 мг О₂/л.

За умов фіксації фактичної середньодобової забрудненості загального стоку на рівні $XCK_{\text{факт}} = 1427$ мг О₂/л, реальний коефіцієнт маловідходності основного технологічного процесу становить 0,73.

Для комплексного моніторингу раціональності використання матеріально-енергетичних потоків по всьому замкнутому виробничому циклу розраховують інтегральний індекс безвідходності:

$$П_{\text{BT}} = \frac{1}{3} \cdot (П_{\text{BC}} + П_{\text{BB}} + П_{\text{BE}}) \quad (2.11)$$

де $П_{\text{BC}}$, $П_{\text{BB}}$, $П_{\text{BE}}$ – відносні коефіцієнти ефективності використання відповідно матеріальної біологічної сировини, технологічної води та теплоелектроенергії.

Екологічна безвідходність всього промислового майданчика обчислюється шляхом сумування технологічного індексу та ефективності локальних систем екологічного захисту:

$$П_{\text{BT}} = П_{\text{BT}} + П_{\text{BO}} \leq 2 \quad (2.12)$$

З метою диференційованого оцінювання ефективності переробки жирової фази молока при виробництві вершкового масла використовують групу формул визначення ступеня використання вершків, чистих ліпідів та сухого знежиреного молочного залишку:

$$A_{\text{B}} = \frac{Ж_{\text{B}} - Ж_{\text{C}}}{Ж_{\text{MC}} - Ж_{\text{C}}} \cdot 100\% \quad (2.13)$$

$$A_{\text{ж}} = A_{\text{в}} \cdot \frac{Ж_{\text{мс}}}{Ж_{\text{в}}} \quad (2.14)$$

$$A_{\text{сзмз}} = A_{\text{в}} \cdot \frac{100 - Ж_{\text{мс}}}{100 - Ж_{\text{в}}} \quad (2.15)$$

де $A_{\text{в}}$, $A_{\text{ж}}$, $A_{\text{сзмз}}$ – рівень використання вершків, жиру і СЗМЗ вершків при виробництві масла відповідно, %; $Ж_{\text{в}}$, $Ж_{\text{мс}}$, $Ж_{\text{с}}$ – масові частки тригліцеридів відповідно у вихідних вершках, готовому маслі та побічній маслянці, %.

Аналіз рівнянь 2.13–2.15 доводить, що ступінь використання сухої речовини плазми вершків суттєво зростає при підвищенні жирності вихідної сировини та збільшенні вмісту води в дисперсній системі масла.

У інноваційних технологіях виробництва білкових сирів із залученням баромембранних методів (ультрафільтрації), ефективність утримання макромолекул білка розраховують за формулою:

$$K_{\text{в}} = \frac{B_1 - B_2}{B_1 - \Pi} \cdot 100\% \quad (2.16)$$

де B_1 , B_2 – масова частка азотистих сполук (білка) у вихідній сировині та концентраті (ретинат), %; Π – вміст небілкового азоту та залишків пептидів у фільтраті (пермеаті), %.

Для багатокритеріального вибору найбільш перспективних способів промислової утилізації сироватки застосовують метод зважених експертних рішень із розрахунком узагальнюючого індексу перспективності продукту:

$$Z_i = \frac{\sum_{p=1}^n (M_p \cdot P_p)}{n} \quad (2.17)$$

де M_p – коефіцієнт вагомості p -го критерію (екологічний, маркетинговий, енергетичний); P_p – бальна градаційна оцінка критерію; n – загальна кількість залучених до аналізу показників.

2.5. Методичні основи зниження техногенного навантаження молочних підприємств на компоненти довкілля

Специфіка стічних вод підприємств молочної промисловості полягає у високому вмісті легкозаймливих органічних сполук (білків, жирів, лактози), що робить пряме їх скидання у міські мережі екологічно небезпечним через ризик закислення та інтенсивного мулоутворення. Традиційні схеми механо-хімічного очищення не забезпечують зниження показників ХСК до нормативних вимог, що обумовлює необхідність переходу до замкнутих водообігових циклів. Пріоритетним є впровадження систем циркуляційного водопостачання для охолодження вакуум-випарних апаратів та пастеризаторів, що забезпечує одночасне зниження споживання свіжої артезіанської води та витрат паливно-енергетичних ресурсів.

Для математичного моделювання робочих параметрів систем очищення стічних вод і газоповітряних викидів використовують показник ефективності очищення рідкої та газової фаз:

$$\Pi_{00} = \frac{\Phi_3 - T_3}{\Phi_3} \quad (2.18)$$

де: Φ_3 – фактична концентрація забруднювальних речовин у сирому незахищеному стоці (за БСК5 або ХСК), мг/л; T_3 – залишкова концентрація забруднень в очищеній воді, яка повинна строго відповідати нормативним санітарно-гігієнічним регламентам, мг/л.

На сучасному етапі розвитку техніки повністю безстічних і абсолютно безвідходних молочних заводів не створено. Оптимально наближеними до цієї концепції вважаються екологічно орієнтовані підприємства, де виконуються нерівності:

$$\Pi_{от} < 1,0 \quad \text{та} \quad \Pi_{оо} \rightarrow 1,0 \quad (2.19)$$

Комплексна програма зниження техногенного тиску молокозаводу на довкілля включає шість базових інженерних напрямків:

- 1) Розвиток концепції мало- і безвідходних виробництв (МБВ): безперервний аудит матеріальних потоків та екологічна сертифікація процесів.
- 2) Глибоке фракціонування компонентів молока: впровадження ультра-, нанофільтрації та зворотного осмосу для повного концентрування сухих речовин сироватки та повторного використання очищеного пермеату (конденсату) як технічної води.
- 3) Оптимізація водоспоживання: встановлення автоматизованих СІР-мийок із блоками регенерації мийних розчинів та датчиками.
- 4) Якісна оцінка та рециклінг відходів: збір сепараторного шламу, казеїнового пилу для їх подальшого компостування або коферментації.
- 5) Анаеробно-аеробне очищення стоків: проектування локальних очисних споруд, що включають стадію попереднього анаеробного зброджування висококонцентрованих стоків (у UASB-реакторах) з отриманням біогазу, та наступну аеробну доочистку активним мулом.
- 6) Екологічний моніторинг: автоматизація контролю скидів у режимі реального часу за індикаторними показниками (рН, електропровідність, температура).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ, ЇХ АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ

3.1. Обґрунтування технологічних процесів безпечної переробки ВСР на підприємстві молочної галузі

Молочна сироватка є біологічно цінною та висококомпонентною харчовою сировиною, що володіє комплексом унікальних фізико-хімічних і фізіологічних властивостей. У натуральному вигляді вона може застосовуватися як функціональний тонізуючий засіб для нормалізації метаболічних процесів, стимуляції шлунково-кишкового тракту та загального відновлення організму.

На сучасних екологічно орієнтованих підприємствах молочної промисловості з молочної сироватки виготовляють широкий спектр товарної продукції:

- ферментовані та прохолоджувальні напої, сироватковий квас, ізотоніки та шипучі напої;
- рафінований та сирець молочний цукор (лактозу), а також його похідні (лактулозу, тагатозу);
- сухі та згущені сироваткові концентрати різного ступеня демінералізації;
- біоетанол, органічні кислоти та інші продукти біоконверсії.

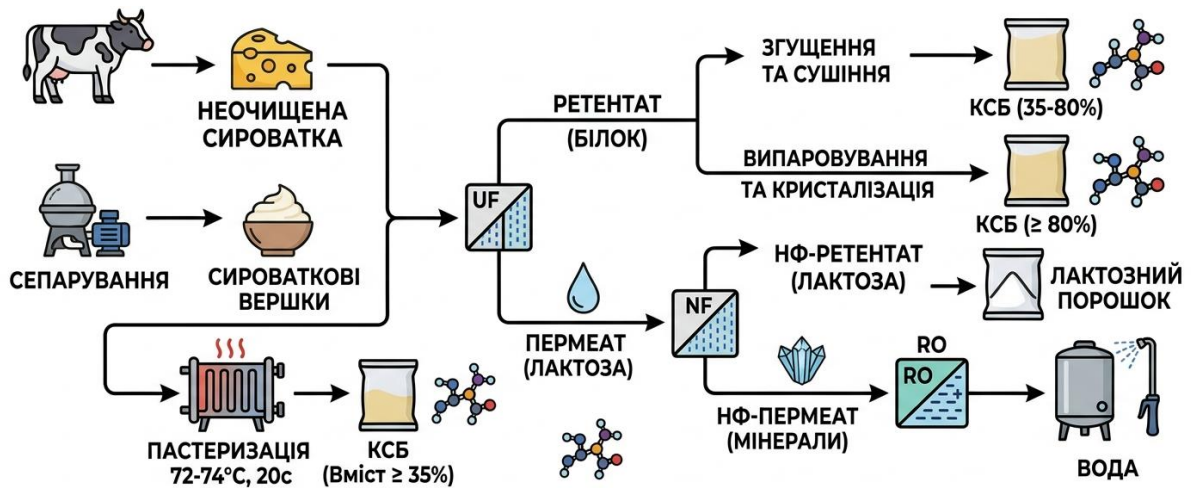
Сироваткові білки (зокрема альбумінова та глобулінова фракції), виділені методом теплової чи реагентної денатурації, слугують основою для отримання альбумінового молока, білкових паст, желе, мусів, а також спеціалізованих видів кисломолочного сиру та сирків. Як функціональний наповнювач і

структурутворювач, сироваткові білкові концентрати активно використовуються у технологіях дитячого харчування, плавлених та натуральних сирів низької жирності, м'ясних і ковбасних виробів, а також у хлібопекарській та кондитерській промисловості.

Технологія вилучення дисперсного жиру та білків із сироватки. Для максимального вилучення залікових компонентів (жиру та казеїнової завісі) з молочної сироватки впроваджують таку послідовність технологічних операцій (рис. 3.1):

- 1) Сироватка самопливом або під тиском надходить у спеціалізований сепаратор-освітлювач, де відбувається відокремлення казеїнового пилу та виділення підсирних вершків.
- 2) Очищена від жирової фази сироватка подається на пластинчасту або трубчасту установку для високотемпературного нагрівання з метою термокоагуляції білків.
- 3) Гаряча сироватка спрямовується у саморозвантажувальний сепаратор-білковідокремлювач для безперервного виділення згорнутої білкової маси.
- 4) Вилучений білковий концентрат негайно охолоджується на пластинчастому апараті та перекачується в ізотермічні ємності для проміжного зберігання й подальшого використання.

Згущення та розпилювальне сушіння залишаються найраціональнішими промисловими способами консервування сироватки, які дозволяють зберегти до 98% її сухої речовини. Основними макроспоживачами сухої сироватки є кондитерська, хлібопекарська, м'ясопереробна та комбікормова галузі.



а)

Технологічний етап	Робочі параметри	Цільове призначення та фізико-хімічна сутність
Попередня обробка та сепарування	Температура $T \leq 4-6^{\circ}\text{C}$, вміст жиру після сепарування $\leq 0.05\%$	Вилучення залишкових часток казеїнового калу і сироваткового жиру. Запобігає утворенню білково-жирового шару (fouling) на мембранах.
Термічна обробка (Пастеризація)	Режим: $72-74^{\circ}\text{C}$, витримка $15-20\text{ с}$	Інактивація мікрофлори та залишкової активності сичужного ферменту. Повна стабілізація сировини перед мембранним розділенням.
Ультрафільтрація (УФ)	Тиск $0.2-0.6\text{ МПа}$, мембрани $10-30\text{ кДа}$	Концентрування сироваткових білків (лактоальбумін, лактоглобулін). Мембрана затримує макромолекули, формуючи ретентат.
Нанофільтрація (НФ)	Тиск $1.5-3.0\text{ МПа}$, виключення $200-300\text{ Да}$	Глибоке згущення лактози з одночасною частковою демінералізацією (вилученням до 40% моноатомних солей натрію та калію).
Вакуум-випаровування та кристалізація	Сухі речовини $60-65\%$, охолодження від 70°C до 10°C	Пересичення розчину лактози з подальшим контрольованим охолодженням у кристалізаторах для отримання однорідних кристалів альфа-лактози.
Зворотний осмос (ЗО)	Тиск $4.0-6.0\text{ МПа}$	Очищення НФ-пермеату до стану повного знесолення. Отримана вода відповідає стандартам для повторного технічного використання.

б)

Рисунок 3.1. Технологічна схема (а) та функціональні етапи (б) переробки (фракціонування) молочної сироватки

Інноваційні методи переробки сироватки. Інтеграція баромембранних процесів, зокрема зворотного осмосу та нанофільтрації, для попереднього концентрування сироватки перед випаровуванням дозволяє знизити питомі витрати енергоресурсів на випаровування води на 25-30% порівняно з класичною схемою. Перспективними також є біотехнологічні методи: ферментативний гідроліз лактози ферментом β -галактозидазою (для отримання глюкозо-галактозних сиропів), а також електродіалізне знесолення.

Для глибокого регулювання мінерального складу сироватки (видалення солей на 50-90%) застосовують іонообмінне рафінування на катіонітних та аніонітних смолах. Сушіння демінералізованої сироватки дозволяє отримати основу для високоякісних замінників жіночого молока. Окрім того, нова безреагентна технологія виробництва лактози в стабільній β -аморфній формі забезпечує стабільну роботу підприємства незалежно від сезонності, оптимізує використання обладнання та повністю нівелює ризик скидання сироватки у довкілля.

У межах комплексного використання вторинної сировини розроблено рецептури сухих концентратів нового покоління:

- концентрат сироватковий білково-вуглеводний (КСБВ);
- концентрат сироваткових білків ультрафільтраційний (КСБ-УФ);
- концентрат молочних білків міцелярний (КМБ).

Виробництво напоїв зі знежиреного молока та маслянки. Процес переробки знежиреного молока та маслянки на ферментовані напої базується на класичній схемі (рис. 3.2).

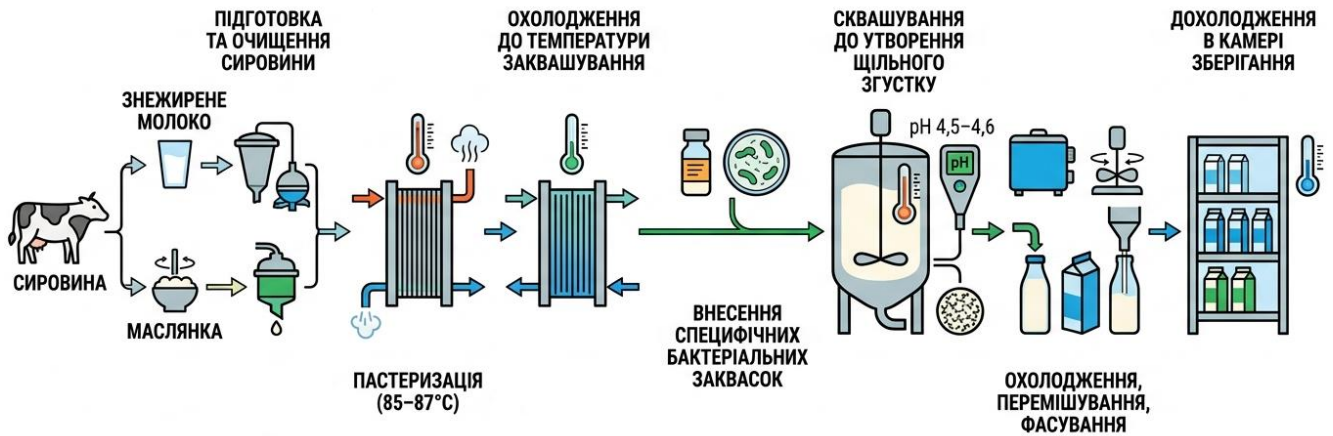


Рисунок 3.2. Схема технологічного процесу промислового виробництва кисломолочних напоїв

Прикладом ефективної промислової реалізації є лінія з виробництва напою «Біомаслянка» (рис. 3.3). При цьому параметри технологічної лінії можуть бути наступними: проектована продуктивність лінії становить 1450 тон готового продукту на рік. Впровадження цієї технології дозволяє повернути в харчовий обіг 760 тон сухих речовин молока та еквівалентно замінити у балансі підприємства 3540 тон незбираного молока.

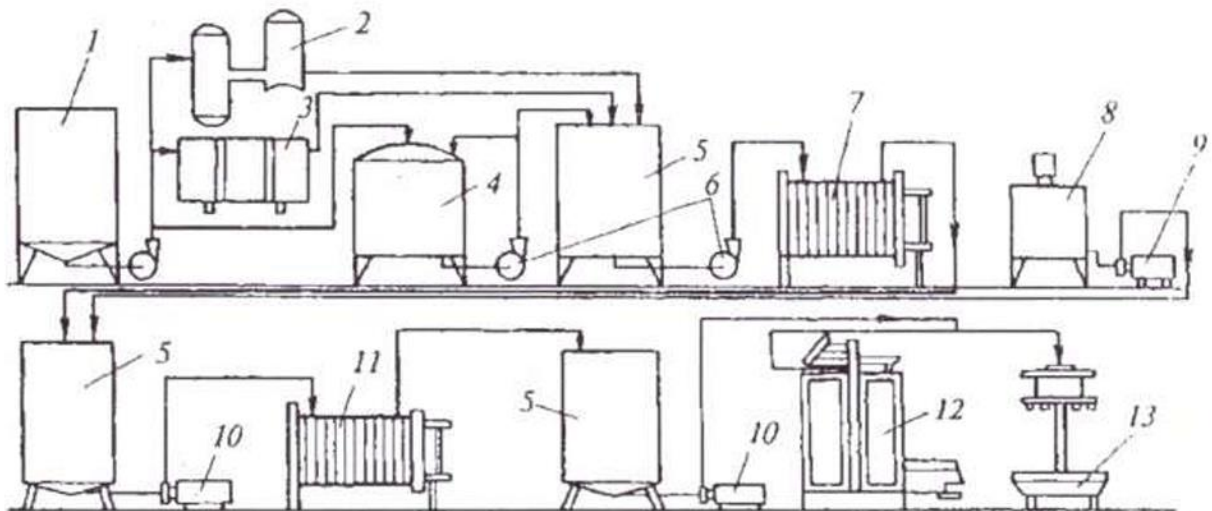


Рисунок 3.3. Схема технологічного виробництва «Біомаслянки»

Виробництво заміників цільного молока (ЗЦМ) та переробка шламу.

При організації цеху ЗЦМ знежирене молоко спрямовують на згущення у двокорпусну вакуум-випарну установку продуктивністю 4200 кг випаруваної вологи на годину до досягнення концентрації сухих речовин 41-44 %. Далі суміш змішують із жировими емульсіями, піддають гомогенізації під тиском 110-130 бар та висушують. Отриманий вторинний конденсат розділяють на умовно-чистий (йде на CIP-мийку та підживлення котлів) та забруднений (йде на локальну очистку), що мінімізує витрати свіжої води.

Окрему увагу приділено сепараторному шламу. При щоденній переробці 25 тон молока утворюється близько 60-90 літрів сепараторного шламу, який містить до 5-6 % від загального органічного забруднення заводу. Замість скидання в каналізацію шлам піддають високотемпературній пастеризації та спрямовують у сектор виготовлення рідких кормів.

3.2. Вплив і забруднення ВРС молочної промисловості на компоненти навколишнього середовища

Технологічний цикл переробки молока пов'язаний із великими обсягами водоспоживання та відповідним утворенням специфічних висококонцентрованих стічних вод. Вода на підприємстві є основним тепло- та холодоносієм, екстрагентом, а також головним транспортним середовищем для санітарної обробки.

На сучасних заводах обсяг стічних вод становить від 80% до 85% від загальної кількості спожитої свіжої води. Так, за умови середніх питомих витрат води на рівні 4,8 м³/т переробленої сировини, підприємство з добовою потужністю 50 тон молока генерує близько 240 м³ стічних вод на добу.

Питомі норми водоспоживання та водовідведення, скориговані під сучасні вимоги технологічного проектування (ВНТП), наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Норми споживання свіжої води та утворення стічних вод на 1 т сировини у відповідності до типів молочних підприємств

Тип молокопереробного підприємства	Витрати питної води, м³/т	Обсяг стічних вод, м³/т	Безповоротні втрати води, м³/т	Коефіцієнт сезонної нерівномірності	Коефіцієнт сезонної нерівномірності
				Літній період (К _{літ})	Зимовий період (К _{зим})
Міські молочні заводи (ЦМП)	5	4,3	0,7	1,15	0,85
Консервні та сушильні заводи	4,6	4,1	0,5	1,12	0,9
Маслоробні заводи	2,9	2,45	0,45	1,1	0,92
Сироробні заводи (тверді сири)	5,5	4,8	0,7	1,14	0,88

Стічні води підрозділяються на три категорії:

- 1) Сильно забруднені технологічні стоки: перші ополоски обладнання, залишки сироватки, маслянки, промивні води сирного кадру.
- 2) Мало забруднені (умовно-чисті): конденсати вакуум-апаратів, чисті контури охолодження.
- 3) Господарсько-побутові стоки: змиви санітарних вузлів, їдалень, душових.

Окрім великої кількості білків та ліпідів, у стоках присутні залишки дезінфектантів (азотна кислота, каустична сода) та мікрокількості важких металів, вимитих з поверхонь або нативно присутніх у сировині: залізо (5-35 мкг/кг), мідь (1,2-2,5 мкг/кг), свинець (0,2-1,2 мкг/кг).

Діапазон коливань забрудненості загального стоку молочних підприємств є надзвичайно широким і суттєво перевищує показники комунально-побутових стічних вод:

- хімічне споживання кисню (ХСК): від 800 до 5500 мг О₂/л;
- повне біологічне споживання кисню (БСК_{повн}): від 600 до 4200 мг О₂/л.

Найбільш агресивними є стоки сироробних та казеїнових цехів. Це обумовлено потраплянням у воду нативної сироватки, яка сама по собі є екологічно небезпечним субстратом із показником ХСК 70000 мг О₂/л (70 г О₂/л). Середня концентрація заважених речовин становить 250-650 мг/л, а вільних жирів – до 120-400 мг/л (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Фізико-хімічний склад води у системі водовідведення підприємств молочної галузі, мг/л

Фізико-хімічний показник стоку	Концентрація для маслоробних та сушильних заводів, мг/л	Концентрація для сироробних та сирних заводів, мг/л
Завислі (зважені) речовини	380	650
Загальний азот ($N_{\text{заг}}$)	55	95
Загальний фосфор (P)	8	18
Жири (ефіророзчинні)	120–450	180–280
Хлориди (Cl^-)	160	220
БСК _{повн}	1100	2500
ХСК	1650	3200
Активна кислотність, одиниці рН	6,5–7,5	6,0–6,8

Циклічність виробництва зумовлює «залпові» скиди та різкі добові коливання pH (від 4,5 до 10,5 через чергування кислотних та лужних мийок), що здатне повністю деактивувати біоценоз активного мулу очисних споруд. Тому обов'язковим інженерним рішенням є встановлення усереднювачів-нейтралізаторів об'ємом не менше 60% від добового скиду. Організація ретельного збору перших ополосків дозволяє знизити вихідне навантаження на очисні споруди на 30-40 %.

Забруднення на повітряний простір. Хоча екологічний тиск на повітряний басейну є нижчим, ніж на гідросферу, основними джерелами емісії шкідливих речовин в атмосферу є:

- Пилові викиди молочного порошку та казеїнового пилу з циклонів розпилювальних сушарок;
- Димові гази котельних установок (оксиди азоту NO_x , вуглецю CO , діоксид сірки SO_2);
- Пари азотної кислоти та аміаку від вентиляції компресорних та складів хімічних реагентів.

Головним інженерним рішенням захисту атмосфери є рекуперація тепла відпрацьованого повітря сушильних установок (яке має температуру 80-90°C) та змішування його з первинним потоком, що забезпечує економію до 18-22% теплової енергії та знижує теплове забруднення навколишнього середовища. Глибока утилізація тепла димових газів шляхом їх охолодження в економайзерах до 40-45°C підвищує ККД котлоагрегатів та мінімізує екологічні ризики.

3.3. Технологічне проектування та розрахунок параметрів локальних очисних споруд підприємства молочної галузі

Для досліджуваного молокопереробного підприємства базовий технологічний цикл розраховано на добову продуктивність (M) по сировині у кількості 25 тон незбираного молока (рис. 3.4). Технологічним регламентом встановлено вимогу щодо отримання вершків із масовою часткою жиру (J_v), яка становить 30,0%. Середньостатистичні вхідні фізико-хімічні показники молока-сировини, що надходить на переробну лінію, становлять: масова частка жиру (J_m) – 4,5%, загальна концентрація сухих речовин (C_m) – 15,0%. Побічним продуктом сепарування є знежирене молоко (раніше класифіковане як потенційні технологічні відходи) з залишковим вмістом жиру (J_o) 0,1% та масовою часткою сухих речовин (C_o) 8,0%. Даний вторинний ресурс спрямовується на ділянку концентрування та розпилювального сушіння. Матеріальним розрахунком необхідно визначити кінцевий вихід сухого знежиреного молока з нормованою кінцевою вологістю 5,0%. Отже, виходячи з параметрів роботи та умов підприємства вихідними даними для розрахунку є наступні показники: $M = 25\,000$ кг; $J_m = 4,5\%$; $J_v = 30\%$; $C_m = 15\%$; $J_o = 0,1\%$; $C_o = 8\%$.

Жировий баланс процесу отримання вершків:

$$M_{\text{ж}} \cdot J_m = M_o \cdot J_o + M_v \cdot J_v$$

Маса вершків становитиме:

$$M_B = M_M - M_o$$

$$M_M \cdot Ж_M = M_o \cdot Ж_o + (M_M - M_o) \cdot Ж_B$$

$$25000 \cdot 4,5 = M_o \cdot 0,1 + (25000 - M_o) \cdot 30$$

$$112500 = 0,1M_o + 750000 - 30M_o$$

$$112500 - 750000 = 0,1M_o - 30M_o$$

$$-738750 = -29,9M_o$$

$$\text{Звідси } M_o = 738750 / 29,9 = 24700 \text{ кг} = 24,7 \text{ тон}$$

Під час сушіння отриманої кількості обрату з концентрацією сухих речовин 8% буде отримано наступну масу сухого обрату:

$$M_{oc} = M_o \cdot (100 - W_1) / (100 - W_2),$$

де $W_1 = 100 - C_o = 100 - 8 = 92\%$ вологість обрату до сушіння; $W_2 = 5\%$ вологість обрату після сушіння.

$$M_{oc} = 24700 \cdot (100 - 92) / (100 - 5) = 2080 \text{ кг} = 2,08 \text{ тон}$$

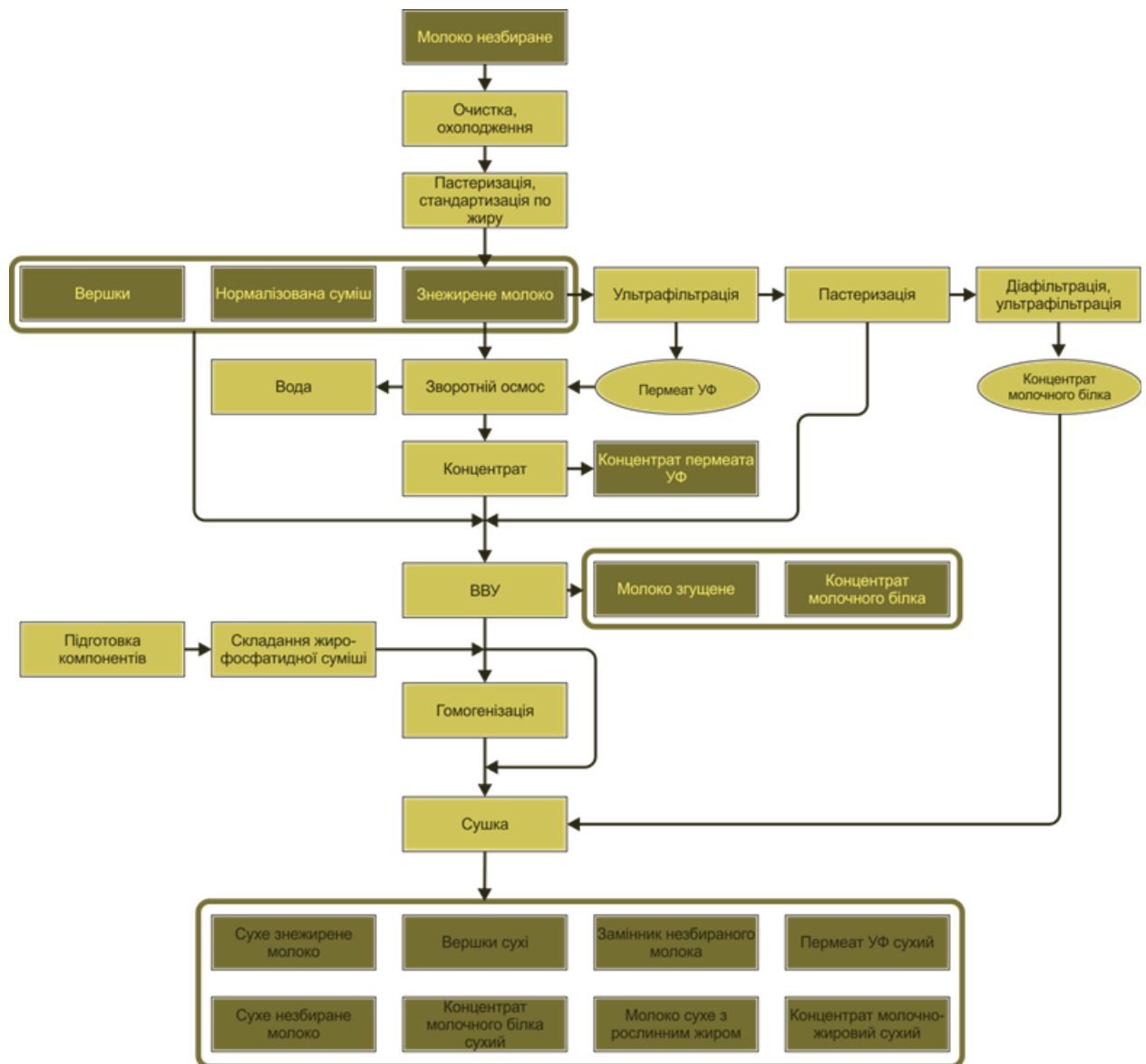


Рисунок 3.4. Технологічна схема роботи підприємства молочної промисловості

Розрахунок конструктивних, місткісних та експлуатаційних параметрів локального очисного обладнання сучасного молокопереробного підприємства з добовою потужністю по сировині $M = 25$ т/добу здійснюється на основі аналізу технологічних циклів, графіків водоспоживання та обсягів водовідведення.

1) Обґрунтування та визначення обсягу стічних вод.

Кількісні та якісні показники утворення стічних вод на молокозаводі безпосередньо залежать від структури виробництва, реалізованих апаратурно-технологічних схем, глибини переробки вторинних сировинних ресурсів

(ВСР), внутрішнього асортименту готової продукції, а також загального рівня ефективності водокористування (зокрема, наявності оборотних і повторно-послідовних контурів).

Згідно з чинними галузевими нормами технологічного проектування (ВНТП) та усередненими практичними даними діючих підприємств, питомий обсяг утворення стічних вод на кожну тону переробленого молока-сировини варіюється в межах від 2,0 до 5,0 м³. Для виконання подальших інженерно-екологічних розрахунків і забезпечення необхідного запасу потужності очисних систем приймаємо середньозважене нормативне значення питомого водовідведення на рівні $q = 3,0 \text{ м}^3/\text{т}$ переробленої сировини.

Виходячи з наведених вихідних параметрів, сумарний середньодобовий обсяг стічних вод підприємства розраховується за формулою матеріального балансу водовідведення:

$$Q_{\text{доб}} = \text{Продуктивність} \times \text{Питома норма водоутворення}$$

$$Q_{\text{доб}} = 25 \text{ тон/добу} \cdot 3 \text{ м}^3/\text{тону} = 75 \text{ м}^3/\text{добу}$$

При роботі у дві зміни (16 годин на добу), годинний обсяг стічних вод становитиме:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{доб}} / \text{Кількість годин роботи}$$

$$Q_{\text{год}} = 75 \text{ м}^3/\text{добу} / 16 \text{ годин} = 4,7 \text{ м}^3/\text{годину}$$

2) *Характеристика стічних вод.* Стічні води підприємств молочної галузі відзначаються значним рівнем антропогенного навантаження через високу концентрацію полікомпонентних органічних сполук, зокрема лактози, денатурованих білків та ліпідних фракцій, а також завислих речовин, сполук азоту та фосфору. Наявність цих нутрієнтів зумовлює високі значення таких

інтегральних екологічних критеріїв, як біохімічне (БСК₅) та хімічне (ХСК) споживання кисню. Усереднені фізико-хімічні дескриптори та якісні показники складу досліджуваних стічних вод наведені на рисунку 3.4.

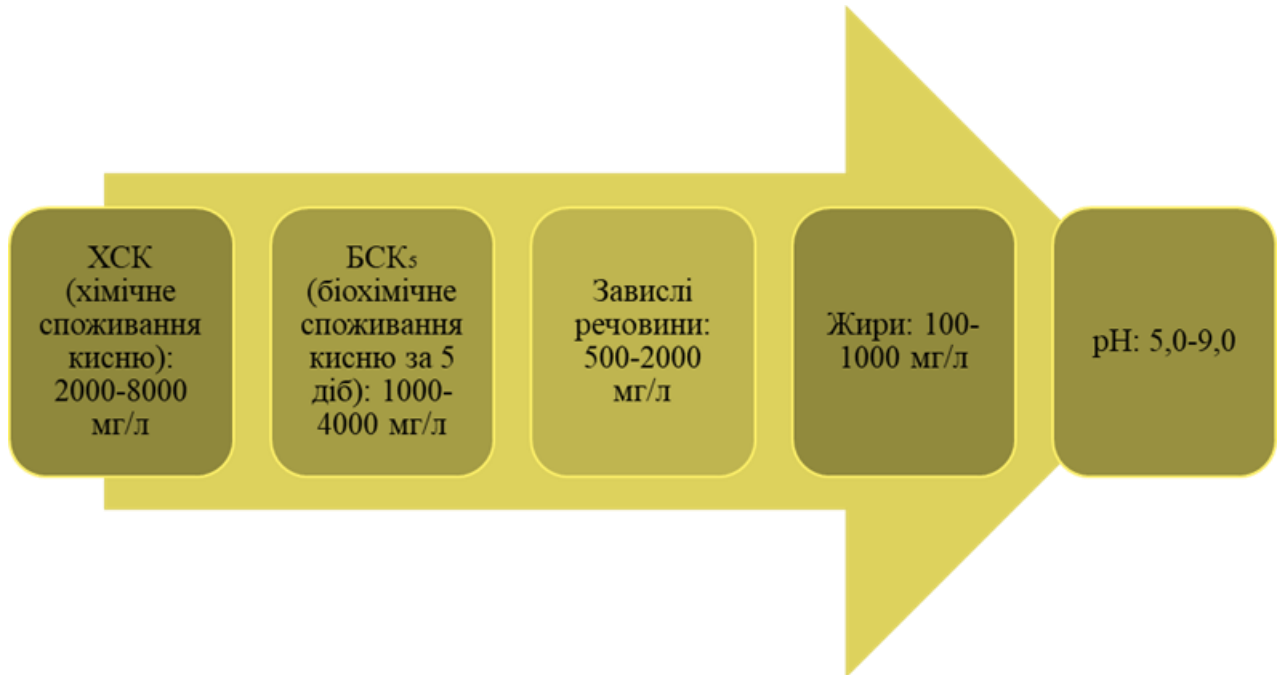


Рисунок 3.4. Показники стічних вод підприємств молочної промисловості

Зважаючи на багатокомпонентний склад та високу концентрацію біологічно розкладних органічних речовин, ліпідних фракцій і біогенних елементів у стічних водах молокозаводу, застосування лише одного методу очищення є технологічно неефективним. Для досягнення нормативних показників якості очищеної води та забезпечення стабільної роботи обладнання обґрунтовано впровадження комбінованої багатоступеневої схеми. Вона інтегрує послідовні процеси механічного, фізико-хімічного, біологічного та термінового глибокого очищення (доочищення), а також блок утилізації й обробки утворених осадів.

Послідовна реалізація запроектованої технологічної схеми очищення включає такі етапи:

А) Механічна деструкція та первинне розділення фаз. Цей етап є обов'язковою передумовою для захисту насосного й аераційного обладнання від механічних пошкоджень та абразивного зносу.

- ✓ механізовані решітки (грати) забезпечують затримання великих дисперсних включень, випадкових залишків полімерної та картонної упаковки, фракцій сирного кадру або казеїнових згустків. Вилучення цих компонентів на початковому етапі запобігає їхньому гідролізу безпосередньо у загальному потоці стічних вод;
- ✓ пісковловлювачі (переважно тангенціального або аерованого типу): призначені для гравітаційного осадження важких мінеральних домішок (піску, дрібного відсіву, камінців), які потрапляють у стоки під час миття підлоги технологічних цехів, автомобільних цистерн для збирання молока та території промислового майданчика;
- ✓ жировловлювачі (гравітаційні жиропастки): використовують різницю густини води та вільних, неемульгованих тваринних жирів. Завдяки ламінарному гідродинамічному режиму ліпиди спливають на поверхню, утворюючи стійкий щільний шар, який періодично видаляється механічними скребками.

Б) Гомогенізація та гідравлічне усереднення потоку:

- ✓ резервуар-усереднювач із системою барботажу або гідравлічного перемішування: є ключовим вузлом для підприємств молочної промисловості через високу циклічність виробничих процесів (чергування етапів переробки та санітарної СІР-обробки). Усереднювач нівелює критичні добові коливання витрат (гідравлічні удари) та вирівнює концентрації забруднювальних речовин. Окрім того, тут відбувається первинна взаємна нейтралізація кислотних та лужних промивних розчинів, що стабілізує індекс рН перед подальшими етапами.

В) Фізико-хімічна інтенсифікація очищення. Оскільки значна частина молочного жиру та білкових макромолекул перебуває у стічних водах у колоїдно-дисперсному та стійкому емульгованому стані, застосовують методи реагентної сепарації:

- ✓ реагентна коагуляція та флокуляція: дозоване введення неорганічних коагулянтів (наприклад, сульфату алюмінію або хлориду заліза) руйнує подвійний електричний шар колоїдних частинок, викликаючи їхню агрегацію. Наступне додавання високомолекулярних полімерних флокулянтів зв'язує мікропластівці у великі, міцні конгломерати (флокули), що істотно прискорює кінетику їхнього розділення;
- ✓ напірна флотація (DAF-процеси): є одним із найефективніших методів видалення емульгованих жирів та тонкодисперсних сироваткових білків. Суть процесу полягає у насиченні стоків повітрям під тиском з наступним різким зниженням тиску у флотаційній камері. Дрібні бульбашки повітря, що виділяються з розчину, прикріплюються до гідрофобних комплексів «забруднення-флокула» і швидко виносяться їх на поверхню, утворюючи флотошлам.

Г) Глибока біологічна деструкція органічного матриксу

- ✓ аеротенки повного окиснення (аеротенки-змішувачі з подовженою аерацією): серце біологічного ступеня. Складний консорціум мікроорганізмів (активний мул) в умовах безперервної дрібнопухирчастої аерації використовує розчинені органічні сполуки (лактозу, амінокислоти, жирні кислоти) як джерело живлення та енергії. Режим повного окиснення дозволяє ефективно справлятися з високими значеннями ХСК та БСК₅, а також забезпечує глибокий процес нітрифікації (переведення токсичного амонійного азоту в нітрати);
- ✓ вторинні радіальні або вертикальні відстійники: призначені для чіткого гравітаційного розділення біоценозу активного мулу та очищеної рідкої фази. Осілий активний мул частково повертається в голову аеротенка

(циркуляційний мул), а його надлишкова біомаса виводиться з системи на утилізацію.

Д) Термінальне доочищення та знезараження (фінальний полірувальний ступінь). Застосовується для доведення показників очищеної води до жорстких нормативних вимог скидання у рибогосподарські водойми або міську каналізаційну мережу.

- ✓ швидкі піщані (зернисті) фільтри: забезпечують механічне затримання залишків пластівців активного мулу, що винесено з вторинних відстійників;
- ✓ адсорбційні вугільні фільтри: високоефективно поглинають слідові кількості розчиненої органіки, залишки мийних засобів (ПАР), повністю усувають специфічний запах і колір води;
- ✓ ультрафіолетове (УФ) знезараження: сучасний безреагентний метод деактивації патогенної мікрофлори та бактерій без утворення токсичних хлорорганічних сполук, що є екологічною альтернативою класичному хлоруванню.

Е) Технологічний комплекс обробки та утилізації осадів

- ✓ гравітаційні мулоушільнювачі: застосовуються для первинного концентрування та зменшення об'єму надлишкового активного мулу і флотошляму шляхом видалення вільної міжколоїдної вологи;
- ✓ механічне зневоднення (дегідратація): реалізується на стрічкових фільтр-пресах, шнекових дегідраторів або осадових центрифугах (декантерах). Процес забезпечує зниження вологості осаду до 75-80%, трансформуючи його у транспортабельний кек, який згодом піддається компостуванню, вивезенню на полігони або термічній утилізації.

4) Розрахунок основних параметрів очисного обладнання (рис. 3.5).

4.1. Обсяг жируловлювача при $Q_{\text{год}} = 4,7 \text{ м}^3/\text{годину}$ може бути розрахований виходячи з часу перебування стічних вод (1-2 години):

$$V = 4,7 \text{ м}^3/\text{годину} \cdot 2 \text{ години} = 9,4 \text{ м}^3.$$

Для даних параметрів роботи обираємо прямокутну ємність жируловлювача з розмірами $3 \times 2 \times 1,5 \text{ м}$ (відповідно довжина $\times$ ширина $\times$ глибина).

4.2. Обсяг усереднювача розраховується, виходячи з доби нерівномірного надходження стічних вод, зазвичай 0,5-1 добовий обсяг:

$$V = 75 \text{ м}^3/\text{добу} \cdot 0,73 = 55 \text{ м}^3$$

Усереднювачем може бути круглий резервуар з мішалкою.

4.3. Обсяг аеротенка залежить від кількості органічних забруднень, що надходять, та часу перебування стічних вод (12-24 години для повного окислення). Для молокозаводів з високим БСК₅, час перебування може бути більшим. За умови, що БСК₅ стічних вод становить 2000 мг/л.

$$L_{\text{БСК}_5} = Q_{\text{доб}} \times \text{БСК}_5$$

$$L_{\text{БСК}_5} = 75 \text{ м}^3/\text{добу} \cdot 2000 \text{ мг/л} = 75 \text{ м}^3/\text{добу} \cdot 2 \text{ кг/м}^3 = 150 \text{ кг БСК}_5/\text{добу}.$$

Питоме навантаження на активний мул (зазвичай 0,15-0,3 кг БСК₅/кг сухої речовини мулу на добу). За умови перебування 18 годин:

$$V_{\text{аеротенка}} = Q_{\text{доб}} \times \text{Час перебування (в добах)}$$

$$V_{\text{аеротенка}} = 75 \text{ м}^3/\text{добу} \cdot 0,75 \text{ доби} = 56 \text{ м}^3.$$

Система аерації потребує значного обсягу повітря (2-4 м³ повітря на 1 м³ стічних вод на годину).

4.4. Вторинний відстійник розраховується за швидкістю осадження активного мулу (0,5-1,5 м/годину) та добовим обсягом:

$$S_{\text{відстійника}} = Q_{\text{доб}} / (\text{Швидкість осадження} \times 24 \text{ години})$$

$$S = 75 \text{ м}^3/\text{добу} / (1 \text{ м/годину} \cdot 24 \text{ години/добу}) \approx 3,1 \text{ м}^2$$

З урахуванням коефіцієнту запасу, приймаємо мінімум 5 м²

4.5. Ефективне функціонування біологічного ступеня очищення стічних вод неминуче супроводжується приростом біомаси мікроорганізмів, які утворюють надлишковий активний мул. Кількість утворюваного осаду безпосередньо корелює з масою видалених з потоку органічних забруднень. Згідно з інженерно-технологічними нормативами, питомий вихід надлишкового активного мулу для стічних вод підприємств молочної промисловості становить в середньому від 0,05 до 0,10 кг сухої речовини на кожен 1 кг деструктованого біохімічного споживання кисню (БСК₅).

Розрахунок добової генерації абсолютно сухої речовини (АСР) надлишкового мулу за умови зняття екологічного навантаження в обсязі 350 кг БСК₅/добу становитиме близько 30 кг.



Рисунок 3.5. Технологічна схема експлуатації очисного обладнання на підприємстві молочної галузі

3.4. Розрахунок технологічної лінії з утворенням ВСР молокозаводу продуктивністю 25 т/добу

Основою для виконання комплексного інженерно-технологічного розрахунку проектної лінії глибокої переробки молока є баланс розподілу маси сировини та інтенсивність утворення вторинних сировинних ресурсів (ВСР). Усі наступні розрахунки виконано з урахуванням оптимізації потужності виробництва на рівні 25 тон незбираного молока за добу. Вихідні аналітичні параметри та нормативні коефіцієнти генерації побічних продуктів представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Вихідні дані для розрахунків технологічної лінії молокозаводу з утворенням вторинних сировинних ресурсів

№	Показник та одиниці виміру	Розрахункова кількість
1	Продуктивність заводу (переробка незбираного молока)	25 тон/добу
2	Вихід вершків (для виробництва масла/ сметани)	10-12% від об'єму молока
3	Вихід молочної сироватки (при виробництві сиру/творогу)	80-90% від об'єму молока
4	Вихід знежиреного молока (ЗМ) (після відділення вершків)	85-90% від об'єму молока
5	Вихід маслянки (при виробництві масла)	5-10% від об'єму вершків
6	Водоутворення стічних вод	3,5 м ³ /тону переробленого молока
7	Концентрація забруднень у стічних водах	ХСК 4000-5000 мг/л

Перехід підприємств молочної промисловості на рейки циркулярної економіки передбачає замкнутий цикл обробки всіх побічних фракцій. Нижче наведено детальні балансові розрахунки утилізації та глибокої переробки кожного типу ВСР.

1) *Використання молочної сироватки* (10300 л/добу). При заданій добовій потужності у 25 тон об'єм утворюваної рідкої сироватки становить 10300 літрів на добу. Технологічна схема передбачає декілька альтернативних варіантів її переробки:

- Виробництво сухої молочної сироватки. Вихід сухої молочної сироватки з рідкої сироватки становить ~5,5%:

$$10\,300 \text{ л/добу} \times 0,055 = 566.5 \text{ кг СМС/добу.}$$

Такий обсяг сухої молочної сироватки може бути реалізований як інгредієнт для хлібопекарської, кондитерської, м'ясної промисловості, виробництва морозива тощо.

- Виробництво сироваткових напоїв. При направленні 50% сироватки (5150 л/добу) можна отримати еквівалент даного обсягу у вигляді готових сироваткових напоїв (з додаванням цукру, ароматизаторів).

- Генерація біогазу. За умови спрямування всього обсягу сироватки (10300 л/добу або 10,3 м³/добу) на біогазову установку можна отримати наступний ефект. Вихід біогазу з сироватки сягає близько 40 м³ біогазу на 1 м³ сироватки:

$$10,3 \text{ м}^3/\text{добу} \times 40 \text{ м}^3 \text{ біогазу/м}^3 \text{ сироватки} = 412 \text{ м}^3 \text{ біогазу/добу}$$

Енергетичний еквівалент при цьому становитиме з 1 м³ біогазу близько 6 кВт·год. Таким чином, з вторинних ресурсів у вигляді сироватки може бути вироблено:

$$412 \text{ м}^3/\text{добу} \times 6 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 2472 \text{ кВт} \cdot \text{год енергії/добу}$$

При вартості 1 кВт біогазу на рівні 6-9 грн підприємство зможе економити близько 14832-22248 грн на електроенергії.

2) *Використання знежиреного молока.* За умов роботи підприємства заданої технологічної потужності може утворюватися близько 21 350 л/добу

знежиреного молока. При виході 9,5% сухого знежиреного молока (СЗМ) це становитиме:

$$21\,350 \text{ л/добу} \times 0,095 = 2028.25 \text{ кг СЗМ/добу}$$

Сухе знежирене молоко є високоліквідним продуктом і активно використовується в хлібопекарській, кондитерській, м'ясній промисловості, виробництві дитячого харчування.

Виробництво кисломолочних продуктів: (кефір, йогурт, сир кисломолочний) за умови залучення 50% ЗМ становитиме 10 675 л/добу. Виробництво знежиреного сиру (вихід сиру ~12-15%, беремо середній 13%) складе:

$$10\,675 \text{ л/добу} \times 0,13 = 1387.75 \text{ кг знежиреного сиру/добу}$$

3) *Використання маслянки.* Вони становитиме 242,5 л/добу. Вироблена питна маслянка може бути пастеризована та розлита для продажу як окремий напій. Виробництво сухої маслянки при виході 4,5% складе:

$$242,5 \text{ л/добу} \times 0,045 = 10.91 \text{ кг сухої маслянки/добу}$$

Суха маслянка може бути застосована як інгредієнт для хлібобулочних виробів, морозива.

4) *Стічні води та екологічний рециклінг.* За наших умов виробництва завод буде продукувати 87,5 м³/добу стічних вод. Такий вид стічних вод також може бути успішно застосований для переробки у біогазовій установці. Якщо стічні води мають середній показник ХСК 4000 мг/л, загальне органічне навантаження становитиме:

$$87,5 \text{ м}^3/\text{добу} \times 4 \text{ кг ХСК}/\text{м}^3 = 350 \text{ кг ХСК}/\text{добу}$$

Вихід біогазу залежить від ефективності анаеробного зброджування, але орієнтовно складає 0,25 м³ біогазу на 1 кг ХСК:

$$350 \text{ кг ХСК}/\text{добу} \times 0,25 \text{ м}^3 \text{ біогазу}/\text{кг ХСК} = 87,5 \text{ м}^3 \text{ біогазу}/\text{добу}$$

Відповідно енергетичний еквівалент складе $87,5 \times 6 = 525$ кВт·год енергії/добу. При вартості 1 кВт біогазу на рівні 6-9 грн підприємство зможе економити близько 3150-4725 грн на електроенергії.

Після повної очистки, до 60% очищеної води може бути повторно використано для технічних потреб (миття тари, підлоги, охолодження обладнання):

$$87,5 \text{ м}^3/\text{добу} \times 0,6 = 52,5 \text{ м}^3/\text{добу} \text{ технічної води}$$

Це дозволяє значно зменшити споживання свіжої води.

Загальний ефект використання вторинних ресурсів буде наступним:

- ✓ *Економічна вигода* – переробка вторинних ресурсів дозволяє отримати додаткові товарні продукти, що підвищує рентабельність підприємства (продаж СМС, СЗМ, сироваткових напоїв). Комбіноване зброджування сироватки та стічних вод дасть сумарний вихід біогазу 499,5 м³/добу, що еквівалентно 2997 кВт·год енергії. Сумарний ефект від біогазової установки та рециклінгу води може сягати близько 22000-27000 грн на добу.
- ✓ *Екологічна вигода* – значне зменшення обсягів відходів, що скидаються, зниження навантаження на очисні споруди та навколишнє середовище. Виробництво біогазу є ефективним методом утилізації органічних відходів та генерації власної енергії. Раціональне використання ресурсів – відповідає принципам циркулярної економіки, де відходи одного процесу стають сировиною для іншого.

4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОЕКТОВАНИХ РІШЕНЬ

Впровадження сучасних технологічних рішень із глибокої утилізації вторинних сировинних ресурсів (ВСР) та модернізації очисних споруд на підприємствах молочної промисловості вимагає детального техніко-економічного обґрунтування. Економічний ефект запроєктованої лінії переробки незбираного молока продуктивністю 25 т/добу базується на засадах циркулярної економіки та забезпечується за рахунок трьох основних чинників: генерації додаткової ліквідної товарної продукції (сухої сироватки та СЗМ), отримання власної теплової та електричної енергії внаслідок анаеробного зброджування концентрованих стоків, а також замкнутого рециклінку і вторинного залучення очищеної технічної води у виробничий цикл.

4.1. Розрахунок капітальних інвестицій на модернізацію

Капітальні витрати включають витрати на закупівлю основного технологічного обладнання, систем автоматизації, виконання будівельно-монтажних та пусконаладжувальних робіт під ключ. Розрахункова вартість закладена на рівні ринкових цін на модульні комплекси промислового призначення аналогічної потужності (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Кошторис капітальних інвестицій на модернізацію лінії переробки ВСР молочного виробництва

№ з/п	Найменування статей капітальних витрат / обладнання	Сума, тис. грн
1	Модульна біогазова установка анаеробного зброджування (метантенк, газгольдер, когенераційна система на 300 кВт)	14000,0
2	Система баромембранного ультрафільтраційного та зворотноосмотичного очищення технічної води	950,0
3	Додаткове допоміжне обладнання (насоси, жировловлювачі, трубна обв'язка та ін.)	350,0
4	Будівельно-монтажні та пусконаладжувальні роботи (10% від вартості устаткування)	410,0
Всього	Загальний обсяг капітальних інвестицій (К)	15710,0

4.2. Поточні експлуатаційні витрати та розрахунок річного економічного ефекту та окупності

Щорічні експлуатаційні витрати на обслуговування змонтованого комплексу складаються з амортизаційних відрахувань (10% від вартості основних засобів), витрат на сервісний ремонт та періодичну заміну розхідних матеріалів (мембранні елементи, коагулянти, реагенти тощо), заробітної плати обслуговуючого персоналу (1 ставка інженера-технолога очисних споруд із нарахуваннями на ЄСВ), а також внутрішнього споживання електроенергії на

привод мішалок та насосних агрегатів установки (~45 тис. кВт·год/рік). Загальна сума річних експлуатаційних витрат (С) становить 820,0 тис. грн/рік. Зведені техніко-економічні показники запроєктованих рішень показані в результуючій таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Зведені техніко-економічні показники запроєктованих рішень

№ з/п	Найменування техніко-економічного показника	Один. виміру	Значення показника
1	Загальний обсяг капітальних інвестицій (К)	тис. грн	15710,0
2	Валовий річний економічний ефект (дохід та економія)	тис. грн/рік	7 294,5
3	Поточні експлуатаційні витрати на обслуговування (С)	тис. грн/рік	820,0
4	Чистий річний прибуток від модернізації ($\Pi = E_{\text{екон}} - C$)	тис. грн/рік	6 474,5
5	Термін окупності капітальних вкладень ($T_{\text{ок}} = K / \Pi$)	років	2,43
6	Термін окупності в місяцях	міс.	30

Річна економія формується за рахунок утилізації побічних продуктів та рециклінгу ресурсів. Розрахунок ведеться виходячи з 300 робочих днів підприємства на рік. Загальний річний прибуток від впровадження заходів складається з економії купованої електроенергії шляхом власної когенерації з біогазу (заміщується 2997 кВт·год/добу, що за промисловим тарифом 7,5

грн/кВт·год становить 6743,25 тис. грн/рік), а також економії на водоспоживанні за рахунок повторного використання 52,5 м³/добу очищеної технічної води (заощадження становить 551,25 тис. грн/рік разом із скороченням плати за скидання концентрованих стоків).

Розрахунки економічної ефективності підтверджують високу інвестиційну привабливість модернізації локальних очисних споруд та біогазового комплексу для лінії молокозаводу потужністю 25 т/добу. При загальних капітальних інвестиціях у розмірі 4510,0 тис. грн, чистий річний економічний ефект становить 6474,5 тис. грн. Термін окупності капіталовкладень складає близько 2,5 років (30 місяців), що значно випереджає нормативні галузеві показники для харчової промисловості. Проект повністю відповідає сучасним екологічним директивам, зменшує залежність підприємства від зовнішніх енергомереж і мінімізує екологічні ризики.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ ПІДПРИЄМСТВ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Забезпечення належного рівня безпеки життєдіяльності на підприємствах молочної переробної галузі вимагає системного та інтегрованого підходу. Специфіка технологічних ліній, використання високошвидкісного обладнання, термічних агрегатів та концентрованих хімічних сполук формують комплекс потенційних виробничих небезпек. Безперебійне функціонування підприємства та збереження життя і здоров'я працівників є ключовими завданнями ефективного менеджменту охорони праці.

5.1. Ідентифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів

На сучасних автоматизованих та напіваавтоматизованих лініях переробки молочної сировини діє розгалужена матриця шкідливих чинників, які за походженням поділяються на шість основних категорій:

- ✓ *Механічні ризики.* Пов'язані безпосередньо з активними робочими органами машин (відцентрові насоси, сепаратори, пакувальні автомати, гомогенізатори, лінії розливу, транспортери та конвеєрні стрічки). Виникає ймовірність затягування кінцівок, механічних ударів, порізів, защемлень та розчавлення. Додатково існують ризики падіння предметів (інструменти, тара, деталі вузлів під час ремонту), падіння персоналу на мокрих, жирних або слизьких поверхнях підлоги та сходах, отримання травм через використання несправного ручного інструменту, а також наїздів технологічного транспорту (автонавантажувачі, рокли).

- ✓ *Термічні ризики.* Зумовлені експлуатацією теплообмінних апаратів. Високі температури робочих поверхонь пастеризаторів, стерилізаторів, трубних систем, гострої пари та гарячої води створюють небезпеку отримання значних термічних опіків. Протилежним фактором є критично низькі температури в холодильних камерах, на складах готової продукції та в установках шокового заморожування (з використанням рідкого азоту або холодоагентів), що створює ризик обмороження тканин.
- ✓ *Хімічні небезпеки.* Спричинені широким застосуванням агресивних дезінфікуючих та миючих засобів (концентровані луги, азотна та сульфамінова кислоти, хлоровмісні розчини) для СІР-миття систем. Контакт із ними загрожує хімічними опіками шкірних покривів та очей, а вдихання парів – гострими отруєннями. Особливу небезпеку становлять витoki аміаку з великих компресорних станцій холодильних контурів, що призводять до уражень дихальних шляхів, а також накопичення вуглекислого газу в зонах пакування та газування продукції.
- ✓ *Електричні небезпеки.* Робота у середовищі з постійно підвищеною вологістю повітря посилює загрозу ураження електричним струмом. Основними джерелами небезпеки є пробої ізоляції силових кабелів, несправність або відсутність заземлення й занулення корпусів обладнання, а також порушення правил експлуатації електроустановок (зокрема, запуск чи обслуговування щитків вологими руками).
- ✓ *Біологічні та алергенні фактори.* Включають потенційне мікробіологічне забруднення сировини та робочих поверхонь патогенними мікроорганізмами. За умови суворого дотримання санітарно-епідеміологічних норм ризик інфекційного зараження персоналу мінімальний, проте існує ймовірність розвитку гострих алергічних реакцій на висококонцентровані молочні білки, ферментні препарати та компоненти засобів дезінфекції.
- ✓ *Фізичні чинники середовища.* Постійна робота промислових компресорів, насосних станцій, вентиляторів та сепараторів формує підвищений рівень

шуму й локальної/загальної вібрації, що загрожує професійною туговухістю. Недостатній рівень природного чи штучного освітлення на окремих ділянках посилює загальний травматизм, а підвищена вологість повітря створює постійні умови для ковзання працівників.

5.2. Комплекс превентивних та захисних заходів для безпечного виробничого процесу підприємства

Мінімізація ризиків виникнення аварійних ситуацій та травматизму на виробництві забезпечується реалізацією трирівневої системи безпеки, що включає організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні заходи.

1. Організаційно-профілактичні заходи:

- Своєчасне розроблення, затвердження та регулярний перегляд профільних інструкцій з охорони праці для всіх категорій персоналу, професій та конкретних технологічних операцій з урахуванням специфіки робочих місць.
- Організація безперервної системи навчання та перевірки знань (проведення вступних, первинних на робочому місці, планових повторних, позапланових у разі оновлення обладнання та цільових інструктажів).
- Проведення обов'язкових попередніх (під час прийому на роботу) та періодичних медичних оглядів працівників, які задіяні на лініях зі шкідливими чи небезпечними умовами праці.
- Безкоштовне забезпечення персоналу сертифікованими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): спецодягом, вологостійким та протиковзним спецвзуттям, захисними окулярами чи щитками, гумовими рукавицями, респіраторами та засобами захисту органів слуху (беруші, навушники).

- Створення належних санітарно-побутових умов (вентиляція, кондиціювання, регулярне прибирання, забезпечення якісною питною водою, облаштування роздягалень, душових кабін та кімнат відпочинку).
- Впровадження планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), які детально регламентують алгоритм дій у разі витoku аміаку, масштабних проливів хімікатів чи виникнення пожеж.

2. Інженерно-технічні заходи:

- Впровадження у виробничий процес виключно сертифікованого, технічно справного обладнання, що повністю відповідає діючим стандартам промислової безпеки.
- Оснащення всіх відкритих обертових, рухомих та ріжучих елементів машин надійними захисними огороженнями, кожухами та бар'єрами.
- Інтеграція систем автоматичного блокування, які унеможливають запуск агрегатів або ліній у разі відкритих чи демонтованих захисних кожухів.
- Облаштування робочих зон легкодоступними та помітними кнопками аварійної зупинки ліній (Emergency Stop), а також світлозвуковою сигналізацією, яка попереджає про пуск машин або перевищення критичних технологічних параметрів.
- Виконання надійного захисного заземлення та занулення всіх металевих частин електрообладнання, встановлення пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ).
- Проектування та експлуатація ефективної припливно-витяжної вентиляції у цехах, особливо в реагентних відділеннях та аміачних компресорних станціях.
- Застосування спеціальних промислових протиковзних покриттів підлоги на ділянках, де можливе утворення мокрих або жирових плівок, а також забезпечення нормативних рівнів освітленості робочих місць.
- Максимальна автоматизація, цифровізація та роботизація трудомістких процесів для повного виведення людини з небезпечних зон.

3. Виробнича санітарія та гігієнічний контроль:

- Жорстке дотримання санітарно-гігієнічних регламентів, регулярне автоматичне миття та хімічна дезінфекція обладнання, трубопроводів, інвентарю та виробничих залів.
- Постійний вхідний контроль якості сировини, проміжних напівфабрикатів та готової продукції на відповідність мікробіологічним стандартам.
- Підтримання високої персональної гігієни працюючого персоналу (регулярна безконтактна обробка рук, обов'язкове носіння чистого спецодягу, шапочок).

Відмітимо, що управлінська та юридична відповідальність за організацію безпечного робочого середовища, дотримання вимог чинного законодавства та фінансування програм з охорони праці покладається безпосередньо на роботодавця. У той же час, кожен працівник підприємства несе персональну відповідальність за суворе дотримання вимог внутрішніх інструкцій, правильне застосування виданих засобів індивідуального захисту та негайне інформування керівництва про виявлені технічні несправності, загрози чи аварійні ситуації.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на основі проведених аналітичних, патентно-літературних, технологічних та інженерно-економічних розрахунків виконано комплексне вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення технологічного процесу утилізації відходів та вторинних сировинних ресурсів (ВСР) на підприємстві з виробництва молочної продукції потужністю 25 тон незбираного молока за добу. За результатами дослідження сформовано наступні узагальнені висновки за всіма розділами роботи:

1. На основі системного аналізу сучасного стану молокопереробної промисловості (*Розділ 1*) встановлено, що традиційні підходи до поводження з побічними продуктами супроводжуються значними втратами цінних нутрієнтів та створюють надмірне екологічне навантаження на довкілля. Обґрунтовано доцільність переходу виробництва на засади циркулярної економіки. Доведено, що молочна сироватка, знежирене молоко та маслянка є не відходами, а повноцінною висококонцентрованою біоорганічною вторинною сировиною, глибока переробка якої дозволяє стабілізувати екологічний стан та суттєво підвищити рентабельність заводу.

2. У результаті патентно-літературного пошуку та аналізу передових інженерних рішень (*Розділ 2*) визначено ефективність інтеграції баромембранних методів розділення (ультрафільтрації, нанофільтрації та зворотного осмосу) у комбінації з процесами анаеробного зброджування. Обрано оптимальну технологічну схему утилізації, яка передбачає фракціонування сироватки, концентрування білків, анаеробну метаногенезацію рідких залишків та стоків з отриманням енергоносіїв, а також глибоку доочистку пермеату для технічного рециклінгу води.

3. На основі матеріального балансу технологічної лінії потужністю 25 т/добу (*Розділ 3*) розраховано точні обсяги утворення та параметри утилізації ВСР:

- обсяг генерації молочної сироватки становить 10300 л/добу. При її спрямуванні на сушіння вихід сухої молочної сироватки (СМС) складає 566,5 кг/добу. Направлення 50% обсягу (5150 л/добу) на лінію пастеризації забезпечує еквівалентний обсяг сироваткових напоїв.
- обсяг утворення знежиреного молока (ЗМ) становить 21350 л/добу. За умови повного висушування одержується 2028 кг сухого знежиреного молока (СЗМ) на добу. При залученні 50% ЗМ (10675 л/добу) на виробництво кисломолочних продуктів забезпечується вихід 1387 кг дієтичного сиру на добу.
- обсяг генерації маслянки становить 242,5 л/добу, що дає 10,9 кг сухої маслянки на добу або аналогічний об'єм питного пастеризованого напою.
- повна утилізація сироватки об'ємом 10,3 м³/добу в анаеробному метантенку забезпечує генерацію 412 м³ біогазу за добу, що за когенераційного спалювання еквівалентно отриманню 2472 кВт·год власної енергії на добу.
- розрахунковий об'єм стічних вод заводу складає 87,5 м³/добу з органічним навантаженням за ХСК на рівні 4000 мг/л (загалом 350 кг ХСК/добу). Анаеробна коферментація стоків дає додаткові 87,5 м³ біогазу (525 кВт·год енергії за добу). Сумарна генерація біогазу становить 499,5 м³/добу (2997 кВт·год енергії).
- завдяки баромембранній доочистці забезпечено повторне залучення 60% очищених стоків, що повертає в оборотний цикл 52,5 м³/добу високоякісної технічної води.

4. На основі розроблених інженерних рішень виконано комплексне техніко-економічне обґрунтування проекту (*Розділ 4*). Загальний обсяг капітальних інвестицій на модернізацію очисних споруд, монтаж модульної біогазової установки (метантенк, газгольдер, когенератор на 300 кВт) та систем

зворотного осмосу становить 15710,0 тис. грн. Валовий річний економічний ефект від заміщення купованих енергоносіїв власним когенераційним біогазом та рециклінгу води становить 7294,5 тис. грн/рік. При річних експлуатаційних витратах на рівні 820,0 тис. грн/рік, чистий прибуток від модернізації складає 6474,5 тис. грн/рік. Термін окупності капітальних інвестицій становить 2,5 роки (або 30 місяців), що підтверджує надзвичайно високу фінансову та виробничу ефективність запропонованих рішень.

5. У сфері охорони праці та техніки безпеки (*Розділ 5*) проведено повну ідентифікацію небезпечних та шкідливих чинників модернізованого виробництва, включаючи механічні ризики високих обертів сепараторів, термічні небезпеки пастеризаторів, хімічні ризики при експлуатації аміачних компресорів та СІР-ліній дезінфекції. Розроблено комплекс організаційних та інженерно-технічних заходів щодо впровадження системи автоматичного блокування приводів машин, кнопки аварійної зупинки, пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) електромереж, розраховано параметри припливно-витяжної вентиляції та розроблено плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС). Запропоновані заходи забезпечують безпеку персоналу та безперебійність технологічного процесу.

Таким чином, розроблений проект модернізації молокозаводу потужністю 25 т/добу повністю вирішує екологічні проблеми підприємства, забезпечує безвідходність виробничого циклу, генерує значний економічний ефект і дозволяє рекомендувати запропоновані рішення для практичного впровадження на підприємствах харчової промисловості.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Охорона праці в агропромисловому комплексі : підручник / [А. С. Беліков, К. М. Сухий, А. С. Кобець та ін.] ; МОН України ; УДУНТ ; ДДАЕУ ; під заг. ред. засл. діяча науки і техніки України, д.т.н., проф. А. С. Белікова. – Дніпро : Журфонд, 2025. – 644 с..
2. Інноваційні технології та обладнання переробки молока : навч. посіб. / О. А. Півоваров, О. С. Ковальова, В. С. Кошулько, О. О. Тертишний; Дніпровський держ. аграр.-екон. ун-т. – Дніпро: ДДАЕУ, 2026. – 461 с.
3. Грек О. В. Молокопереробка. Інновації : підручник / О. В. Грек, О. О. Красуля ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. – Київ : НУХТ, 2017. – 390 с.
4. Грек О.В. Технологія продуктів зі знежиреного молока, молочної сироватки і маслянки / О. В. Грек, Г. Є. Поліщук, О. О. Онопрійчук ; МОН молоді та спорту України, Нац. ун-т харч. технол. – Київ : НУХТ, 2011. – 210 с.
5. Масообмінні процеси та обладнання в харчових виробництвах: навч. посіб. / О. О. Тертишний, О. А. Півоваров, В. С. Кошулько, О. В. Тертишна; ДДАЕУ. – Дніпро : ДДАЕУ, 2026. – 214 с.
6. ДСТУ 2212:2003. Молочна промисловість. Виробництво молока та кисломолочних продуктів. Терміни та визначення понять. Київ: Держспоживстандарт України, 2003.
7. ДСТУ 7170:2010. Молочна промисловість. Продукти молочні та молоковмісні. Номенклатура та вимоги до назв. Київ: Держспоживстандарт України, 2010.
8. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2019.

9. Тertiшний О. О. Теплові процеси та обладнання в харчових виробництвах: навч. посіб. / О. О. Тertiшний, О. А. Піоваров, В. С. Кошулько ; Дніпровський держ. аграр-екон. ун-т. – Дніпро: ДДАЕУ, 2025.– 362 с.
10. Іванов С.В., Грек О.В., Осьмак Т.Г. 2017. Молокопереробка. Промисловий інжиніринг. НУХТ, 275 с. ISBN 978-966-612-194-6
11. Піоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.
12. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 4.: Технології поводження з відходами харчових виробництв / за редакцією В.Г. Петрука та ін. Херсон: Олді-плюс, 2019, 520 с.