

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) _____ ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого _____
Кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ___ » _____ 2025 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Микола ЯКИМЧУК
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ___ » _____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв
на тему: Удосконалення конструктивних параметрів обладнання для виготовлення
твердого сиру на ТОВ «АВІС-1» з метою покращення якості продукції

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-2М

_____ Опенько Олександр Володимирович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник _____ Люлька Дмитро Миколайович _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування
Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Освітня програма «Інжиніринг харчових виробництв»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТОКТП
проф. Микола ЯКИМЧУК

« ____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Опенько Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення конструктивних параметрів обладнання для виготовлення твердого сиру на ТОВ «АВІС-1» з метою покращення якості продукції

керівник проекту (роботи) Люлька Дмитро Миколайович, доц., кандидат тех. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «17» вересня 2025 р. № 712-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат; Зміст; Вступ; Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження; Розробка нового технічного рішення об'єкта дослідження; Методика проведення досліджень; Дослідна частина та узагальнення результатів; Обґрунтування модернізації. Будова та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування; Розрахункова частина; Підбір конструкційних матеріалів;

Технологія машинобудування; Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання; Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування; Заходи з охорони праці; Охорона довкілля; Маркетингове обґрунтування проекту;

Висновки; Список використаних джерел; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Загальний вигляд обладнання – 3 аркуші; Механізм перемішування – 1 аркуш; Відділювач сироватки – 1 аркуш; Дослідна робота – 2 аркуші; Технологія машинобудування – 1 аркуш; Система автоматизації – 1 аркуш; Технологічна система – 1 аркуш.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 18.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	24.09. 2025 р.	
2	<i>Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження</i>	26.09. 2025 р.	
3	<i>Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження</i>	01.10. 2025 р.	
4	<i>Методика проведення досліджень</i>	03.10. 2025 р.	
5	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	08.10. 2025 р.	
6	<i>Обґрунтування модернізації. Будовата принцип роботи модернізованого об'єкту проектування</i>	10.10. 2025 р.	
7	<i>Розрахункова частина</i>	15.10. 2025 р.	
8	<i>Підбір конструкційних матеріалів</i>	17.10. 2025 р.	
9	<i>Технологія машинобудування</i>	22.10. 2025 р.	
10	<i>Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання</i>	24.10. 2025 р.	
11	<i>Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування</i>	28.10. 2025 р.	
12	<i>Заходи з охорони праці</i>	29.10. 2025 р.	
13	<i>Охорона довкілля</i>	29.10. 2025 р.	
14	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	12.11. 2025 р.	
15	<i>Висновки</i>	12.11. 2025 р.	
16	<i>Список використаних джерел</i>	12.11. 2025 р.	
17	<i>Додатки</i>	13.11. 2025 р.	
18	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	23.11. 2025 р.	
19	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.12. 2025 р.	

Здобувач

_____ (підпис)

Опенько О.В

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Люлька Д.М

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Удосконалення конструктивних параметрів обладнання для виготовлення твердого сиру на ТОВ «АВІС-1» з метою покращення якості продукції» присвячена вирішенню актуального завдання підвищення ефективності виробничого процесу та покращення якісних показників готової продукції. Об'єктом модернізації обрано вертикальний сировиготовлювач марки Я5-ОСЖ.

В основу модернізації покладено інженерне рішення щодо зміни конструкції механізму завантаження та вивантаження продукту. Впровадження розробленого вузла дозволяє оптимізувати процес оброблення сирного згустку, зменшити втрати сировини та покращити техніко-економічні показники експлуатації обладнання.

Пояснювальна записка структурована згідно з вимогами та містить маркетингове обґрунтування проекту, аналітичний огляд сучасного об'єкта дослідження, методику проведення досліджень та узагальнення їх результатів. Детально описано будову та принцип дії модернізованого апарату, розроблено схему складання вузла сировиготовлювача, а також обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів.

Окремі розділи роботи присвячені питанням монтажу та технічного сервісу обладнання, автоматизації технологічного процесу, а також заходам з охорони праці та охорони довкілля. Проведено необхідні інженерні розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції.

Загальний обсяг пояснювальної записки становить 101 сторінку друкованого тексту формату А4.

<i>Відповідальна організація</i> МОНУ	<i>Технічне узгодження</i> Люлька Д.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ ОХ-2-2М	<i>Розробник документа</i> Опенько О.В.	Удосконалення конструктивних параметрів обладнання для	240251.КР.16.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i> 25.11.25	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/00

Графічна частина проекту представлена на 10 аркушах формату А1, виконаних у системі автоматизованого проектування.

Вона включає кресленики загального вигляду сировиготовлювача, деталювання модернізованих вузлів, апаратурно-технологічну схему, технологію машинобудування, схему автоматизації, а також графічну інтерпретацію результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу отримання сирного зерна шляхом конструктивного удосконалення обладнання.

Об'єктом дослідження є теплообмінні процеси, які протікають у вертикальних сировиготовлювачах при одержанні сиру твердого.

Предметом дослідження є конструктивне удосконалення обладнання з обґрунтуванням доцільності його використання на підприємствах молочної промисловості.

Ключові слова: вертикальний апарат, сировиготовлювач сирне зерно, сир твердий, сирний згусток.

ABSTRACT

The master's qualification thesis on the topic «Improvement of design parameters of equipment for hard cheese production at LLC «ABIC-1» to improve product quality» is dedicated to solving the current task of increasing production process efficiency and improving the qualitative indicators of the finished product. The Я5-ОСЖ vertical cheese maker was selected as the object of modernization.

Modernization is based on an engineering solution regarding the modification of the product loading and unloading mechanism design. The implementation of the developed assembly allows for the optimization of the cheese curd processing, reduction of raw material losses, and improvement of the technical and economic indicators of the equipment's operation.

The explanatory note is structured according to requirements and contains a marketing justification for the project, an analytical review of the modern object of research, the research methodology, and a generalization of the results. The structure and operating principle of the modernized apparatus are described in detail, the assembly scheme of the cheese maker unit is developed, and the choice of construction materials is justified.

Separate sections of the work are dedicated to equipment installation and technical service, process automation, as well as occupational health and safety and environmental protection measures. Necessary engineering calculations confirming the operability of the design have been conducted.

The total volume of the explanatory note is 101 pages of printed text in A4 format.

The graphic part of the project is presented on 10 sheets of A1 format, executed in a computer-aided design (CAD) system. It includes general drawings of the cheese maker, detailed drawings of the modernized units, a process flow diagram (hardware-technological scheme), mechanical engineering technology,

an automation scheme, as well as a graphic interpretation of the theoretical and experimental research results.

The goal of the research is to increase the efficiency of the cheese grain production process through the structural improvement of the equipment.

The object of the research is the heat exchange processes occurring in vertical cheese makers during the production of hard cheese.

The subject of the research is the structural improvement of the equipment with justification of the feasibility of its use at dairy industry enterprises.

Keywords: vertical apparatus, cheese maker, cheese grain, hard cheese, cheese curd.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1. Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження	8
2. Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження	20
3. Методика проведення досліджень	24
4. Дослідна частина та узагальнення результатів	29
5. Обґрунтування модернізації. Будова та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування	37
6. Розрахункова частина	41
7. Підбір конструкційних матеріалів	66
8. Технологія машинобудування	68
9. Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання	74
10. Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування	78
11. Заходи з охорони праці	85
12. Охорона довкілля	89
13. Маркетингове обґрунтування проекту	92
Висновки	95
Список використаних джерел	97
Додатки	102

ВСТУП

Серед переробних галузей агропромислового комплексу молочна сфера займає одну з ключових позицій. Виняткова біологічна цінність молочної продукції продиктована вмістом у ній життєво важливих компонентів, зокрема білків, ліпідів, вуглеводів та вітамінних комплексів. На сучасних виробничих потужності даної галузі спостерігається тенденція до розширення асортиментного ряду, а також вдосконалення смакових характеристик та функціональних властивостей готових виробів [1].

Сир можна визначити як концентрований харчовий продукт, який отримують з молока шляхом згортання (коагуляції) білкових фракцій, подальшої механічної обробки утвореного згустку та стадії дозрівання сирної маси. Протягом періоду визрівання всі компоненти сирної маси зазнають глибоких фізико-хімічних перетворень, наслідком яких стає накопичення специфічних ароматичних та смакових сполук, а також остаточне формування структури та консистенції продукту. За показниками енергетичної та поживної цінності сир посідає провідне місце у раціоні харчування. Його корисність визначається значною концентрацією білка та молочного жиру, поєднаних зі збалансованим набором мінеральних солей і вітамінів, що легко засвоюються людським організмом [11].

Цей продукт вирізняється високим енергетичним та біологічним потенціалом, містить незамінні амінокислоти та прості сполуки як білкового, так і небілкового азоту, перетравлення яких відбувається швидше та легше у порівнянні з нативними білками молока. Додатково, у складі сирів присутній комплекс жирів, масова частка яких у сухій речовині варіюється в межах від 5% до 60%, водорозчинні вітаміни та значна кількість мікроелементів. Калорійність одного кілограма готового продукту, залежно від відсоткового вмісту білкових та жирових компонентів, може становити від 2500 до 4000 кКал [17].

Ключовим етапом технологічного процесу виготовлення сиру є операція отримання сирного зерна із сичужного згустку. Під час обробки інтенсивність та ступінь відділення сироватки (зневоднення) залежать від низки факторів: жирності вихідної сировини, насиченості кальцієм, режимів пастеризації, початкової кислотності молока, розмірів подрібнення зерна та температури нагрівання. Теплова обробка зерна залишається одним із фундаментальних процесів у циклі виробництва твердих сирів [18].

Процес теплової обробки в спеціалізованому сироробному обладнанні характеризується складним конвективним теплообміном у робочому середовищі, що складається із суміші сирного зерна та сироватки. З наукової та практичної точок зору надзвичайно актуальними є дослідження, спрямовані на вдосконалення та створення технологій термокислотних сирів, що мають підвищену біологічну та харчову цінність, а також передбачають раціональне використання вторинної молочної сировини (сироватки) [22].

Перспективним напрямком у розробці технології термокислотних видів сиру є збагачення їх молочнокислою мікрофлорою методом ферментації. Такий підхід дозволяє не лише збільшити біологічну цінність виробу, але й покращити його органолептичні властивості та підвищити вихід готової продукції. Проте, впровадження подібних технологічних прийомів вносить свої корективи у виробництво нового різновиду продукту та вимагає проведення детальних наукових розвідок [27].

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Ключову роль у структурі технологічної лінії виробництва твердих сирів відіграє етап внесення заквашувальних культур та отримання сирного зерна, який реалізується у спеціалізованих апаратах — сировиготовлювачах (сироробних ваннах). Для забезпечення ефективності цього процесу вкрай важливо проаналізувати існуючі конструктивні рішення обладнання для підготовки сирного зерна та оцінити перспективи їх впровадження на підприємстві, враховуючи, що наявний парк машин вже вичерпав свій технічний ресурс.

Спираючись на огляд патентної документації та технічної літератури, було розроблено схему класифікації устаткування для отримання сирного зерна (рис. 1.1) [12].

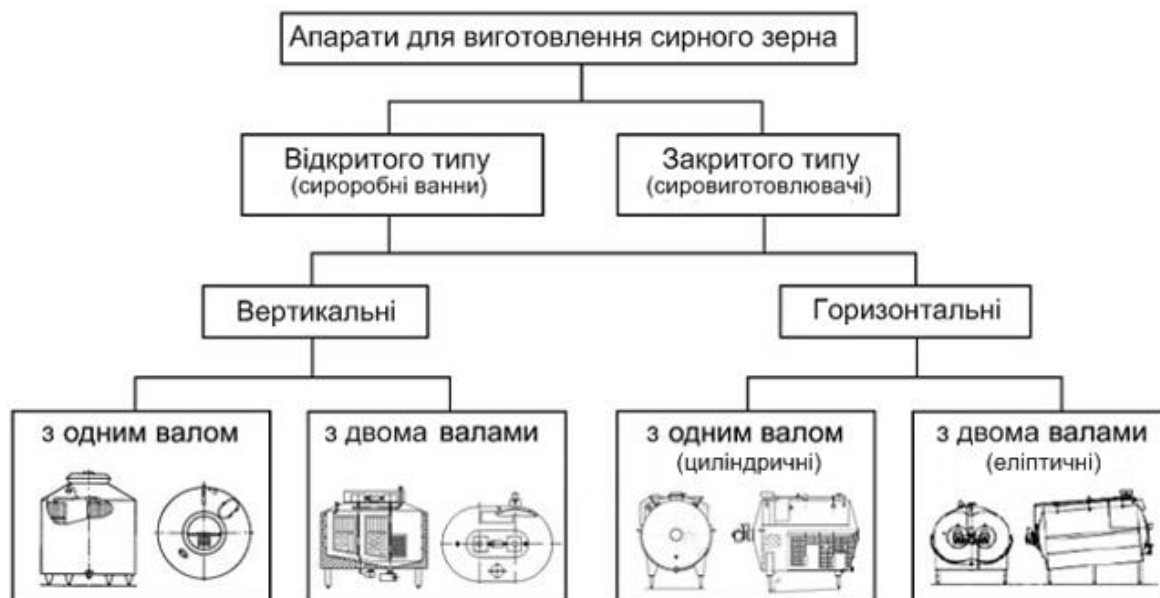


Рис.1.1. Класифікація апаратів для виробництва сирного зерна

Проаналізуємо домінуючі на ринку харчового машинобудування типи устаткування періодичної дії.

Сировиготовлювачі (сироробні ванни) розроблені для виконання низки операцій: нагрівання молока за допомогою теплоносія через стінки сорочки, коагуляції (зсідання) молока, механічної обробки утвореного згустку (подрібнення та вимішування зерна), а також розрізання готового пласта. Формування пласта безпосередньо всередині ванни є процесом із високою трудомісткістю, тому виробники частіше вдаються до методу переливання («наливом»). При такому підході суміш зерна та сироватки транспортується з ванни до формувального апарату або дренажного візка, де відбувається утворення пласта з подальшим пресуванням та нарізанням. Ця технологія значно спрощує етапи попереднього пресування та порціонування сирної маси [1].

Найвищим технічним рівнем характеризуються ванни, оснащені системами перемішування. Існують варіанти, де мішалки закріплені на рухомій рамі, або ж такі, де робочий орган обертається навколо власної осі. Залежно від номінального об'єму, апарати можуть комплектуватися одним або парою перемішувальних механізмів.

Обробка сировини здійснюється у ваннах (рис. 1.2) із застосуванням ножів, лір різної конфігурації та механічних мішалок.

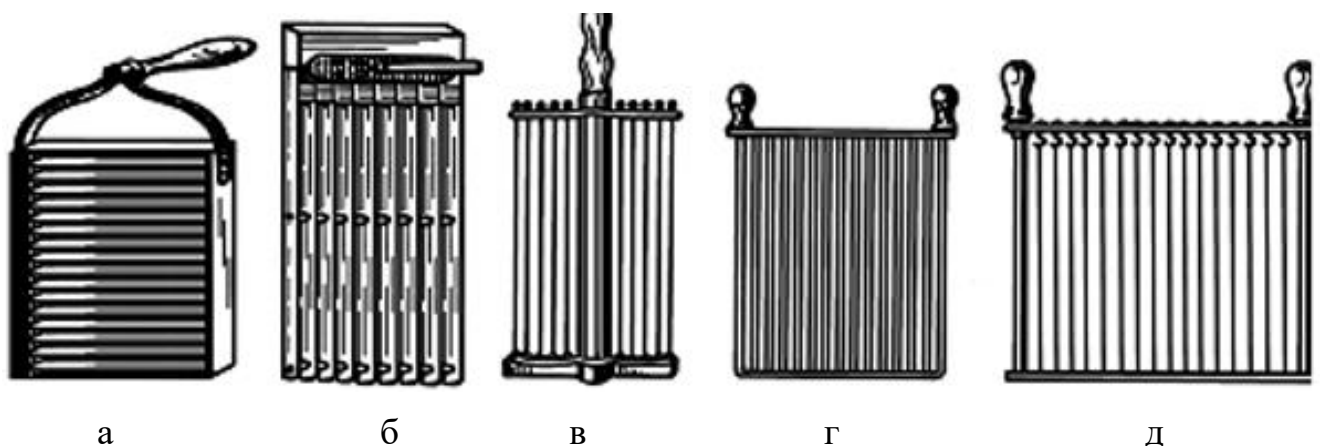


Рис. 1.2. Пристрої для розмішування і розрізування сирного згустку:

а – горизонтальний ніж; б – вертикальний ніж; в – арфа; г – ліра з товстим дротом; д – ліра з тонким дротом

Конструктивно ванни зазвичай представляють собою одну або дві ємності. У випадку одноємнісних апаратів, весь цикл (коагуляція білків, різання згустку, обробка зерна, формування та самопресування) відбувається в одному резервуарі. У двоємнісних системах функції розділені: перша ванна слугує для зсідання, різання та обробки зерна, а друга — для підпресування та формування блоків.

На рис. 1.3 та рис. 1.4 зображено конструкцію простої сироробної ванни відкритого типу. Ріжучо-вимішувальний механізм у таких апаратах може мати різну конфігурацію.

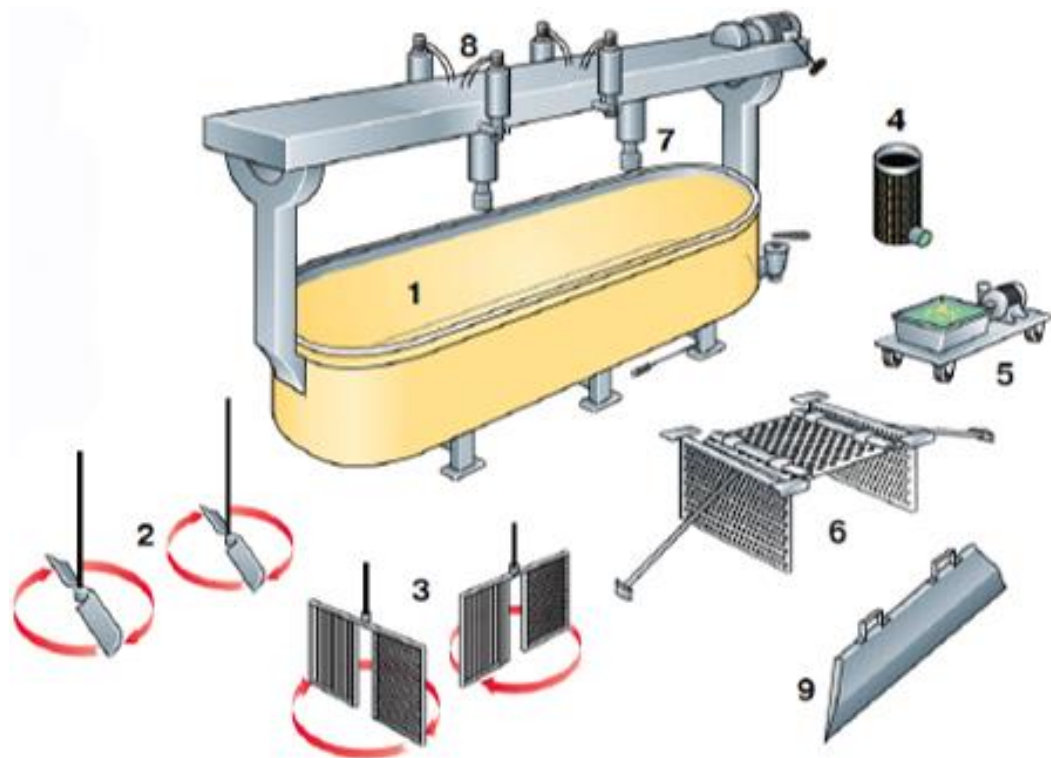


Рис. 1.3. Відкрита сироробна ванна з перемішувальним пристроєм:
 1 – сирна ванна з теплозахисною сорочкою, балкою і приводом для робочих органів; 2 – робочий орган для перемішування; 3 – різальний інструмент; 4 – фільтр для сироватки; 5 – насос для викачування сироватки на візку з контейнером; 6 – плити попереднього пресування для виготовлення сиру з круглими комірками; 7 – балка для кріплення інструментів; 8 – гідравлічні циліндри для плит попереднього пресування;
 9 – сирний ніж



Рис. 1.4. Різально-перемішувальний робочий орган сироробної ванни

Хронологія технологічних етапів отримання згустку у відкритій ванні відображена на рис. 1.5.

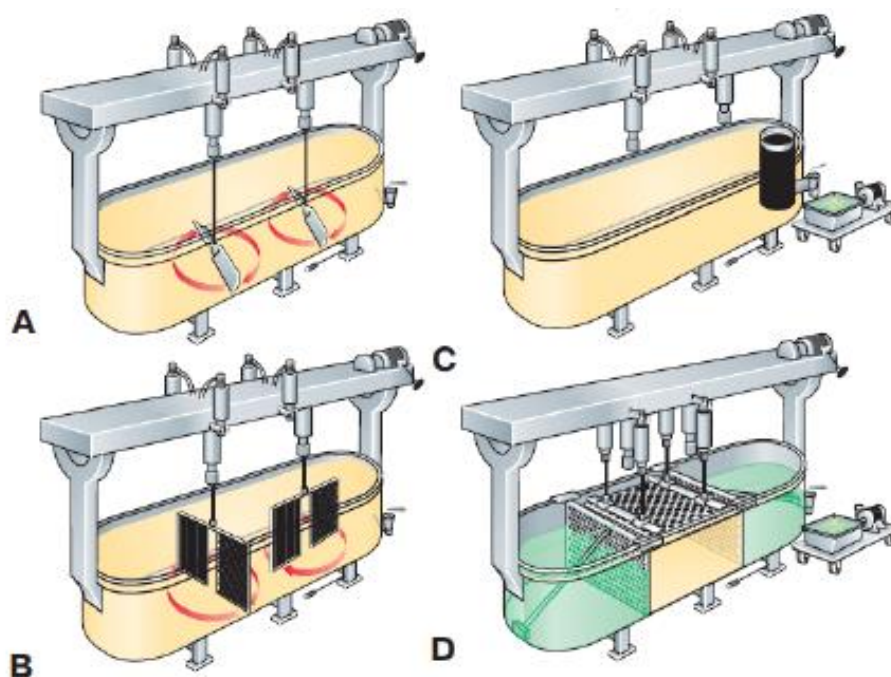


Рис. 1.5. Технологічні операції та розміщення перемішувального пристрою в сироробній ванні: А – перемішування; В – розрізання; С – зливання сироватки; D – пресування

Моделі сироробних ванн Д7-ОСА-1, В2-ОСВ-5 та В2-ОСВ-10 розроблені для підготовки сирного зерна при виготовленні як твердих, так і м'яких сирів [11].

Розглянемо детальніше ванну Д7-ОСА-1 (рис. 1.6). Вона включає наступні вузли: корпус із подвійними стінками (3), клапан запірною типу для відведення продукту (9), опорні колони (4 і 8), мостову конструкцію (7), а також ріжучо-вимішувальний інструмент (2) з приводом (6). Апарат оснащений гідравлічним домкратом (1) для зміни кута нахилу та ситом для відведення сироватки, комплектується мірною лінійкою (5).

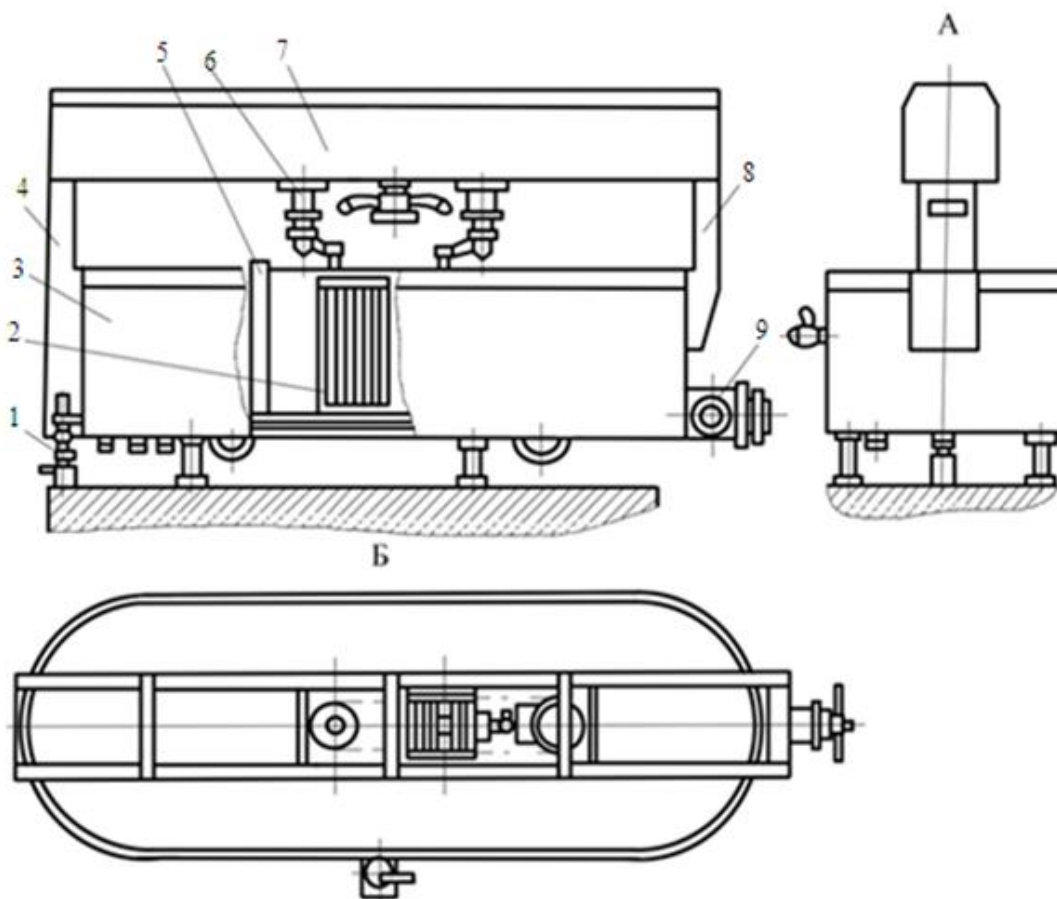


Рис. 1.6. Сироробна ванна Д7-ОСА-1: 1 – домкрат; 2 – перемішувальний пристрій; 3 – корпус; 4 – колона; 5 – вимірювач; 6 – привод; 7 – мостова конструкція; 8 – колона; 9 – запірний клапан

Зміна кута нахилу ємності Д7-ОСА-1 під час санітарної обробки або спорожнення забезпечується гідродомкратом (1), інтегрованим у колону [1].

Робочий орган для різання та вимішування виконано у вигляді рами з поворотними вертикальними ножами. Привідний механізм (6) пересувається вздовж мостової конструкції по напрямних балках. Весь приводний блок встановлено на спеціальній платформі ночвоподібної форми, що гарантує захист продукту від потрапляння технічних забруднень з механізму.

Електрична схема ванни Д7-ОСА-1 включає горизонтальний чотиришвидкісний електродвигун, який рухається разом із кареткою за допомогою рейкової передачі, безступінчастий варіатор, черв'ячний редуктор та ланцюгову передачу.

Варіатор швидкості побудований на базі двох шківів та клинового паса. Ведений шків має фіксований діаметр, тоді як ведучий шків – розсувний, змінного діаметра, що складається з двох конусів (один з яких рухомий вздовж осі валу). Регулювання діаметра ведучого шківів, а отже і швидкості, досягається зміною відстані між осями передачі через переміщення двигуна по напрямних каретки [12].

Обертання на ведучий вал (вертикальний вал редуктора) передається від черв'ячного колеса, а другий вал інструменту приводиться в рух через ланцюгову передачу від ведучого.

Технологічний процес починається із заповнення ванни молоком зверху, після чого активують привід. При постійному перемішуванні сировину нагрівають до температури заквашування, вносять бактеріальні культури, фермент та інші інгредієнти.

Перемішування триває до досягнення гомогенності суміші, після чого двигун зупиняють для проходження процесу згортання (коагуляції).

Коли згусток набуває необхідної щільності, знову запускають привід для розрізання маси. Для цього інструмент обертають за годинниковою стрілкою, починаючи з мінімальних обертів.

Після завершення різання та первинного формування зерна здійснюють відбір частини сироватки. У моделі Д7-ОСА-1 це робиться через бічний патрубок, триходовий кран та навісне сито при вимкненому перемішуванні.

Далі проводять друге нагрівання при працюючому інструменті для обсушування зерна. Після завершення подачі пари суміш зерна із сироваткою відкачують насосом або зливають самопливом (нахиливши ванну) у форми або відділювачі сироватки.

Апарат моделі OST-CH (рис. 1.7) від компанії Tetra Pak представляє собою сировиготовлювач закритого типу з горизонтальним розташуванням валу.

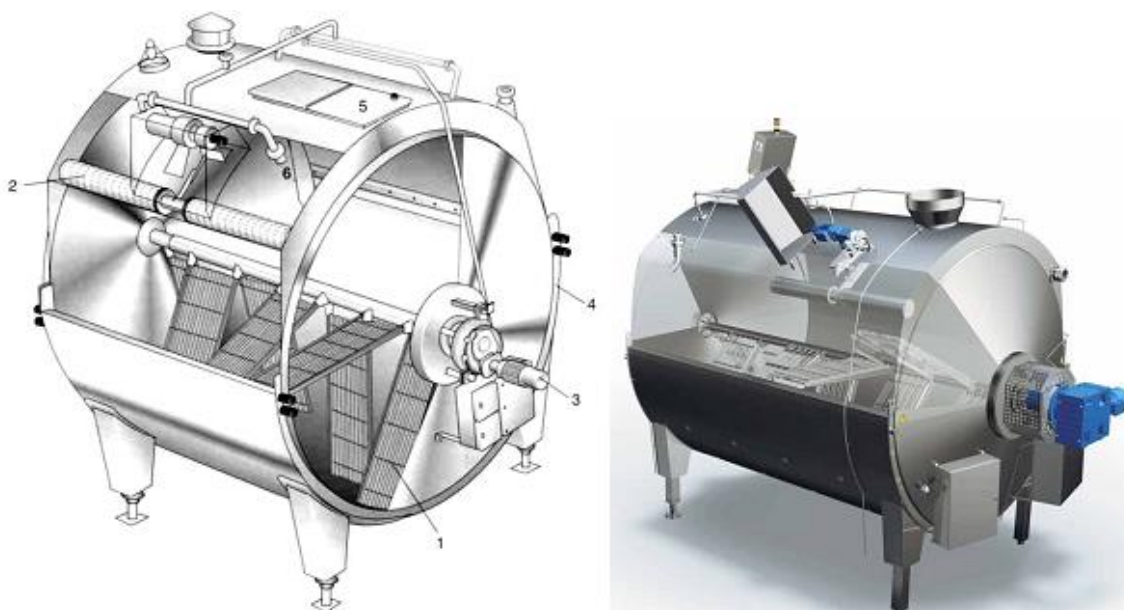


Рис. 1.7. Апарат виготовлення сиру типу OST-CH: 1 – комбінований робочий орган; 2 – фільтр для дренажу сироватки; 3 – електропривод із регулюванням частоти; 4 – теплообмінна сорочка; 5 – оглядовий отвір; 6 – система промивання

Робочі органи розміщені всередині циліндричного резервуару, нижня частина якого обладнана теплообмінною сорочкою (4). Вал приводиться в рух приводом із частотним перетворювачем (3), на ньому закріплені комбіновані ріжучо-вимішувальні елементи (1). Нагрівання здійснюється подачею пари або гарячої води в сорочку [28].

Кожна секція інструменту (1) має раму з радіальними та поздовжніми ножами. Особливість конструкції полягає в тому, що при обертанні в один бік ножі працюють гострою стороною для розрізання згустку (рис. 1.8), а при реверсному русі – тупою стороною для делікатного вимішування. Секції рівномірно розподілені по валу для балансування навантаження.

Додатково сировиготовлювач може комплектуватися автоматичним фільтром (2) для відбору сироватки, форсунками для рівномірного внесення ферменту та миючими головками (6) для підключення до станції СІР-мийки [28].

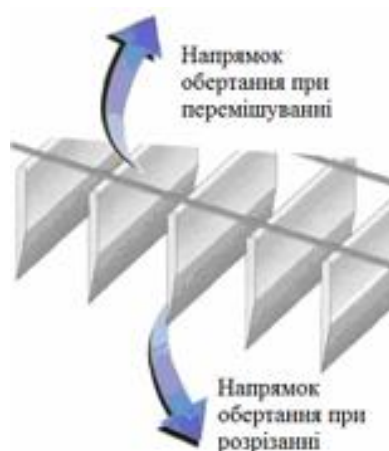


Рис. 1.8. Схема руху комбінованого пристрою при розрізанні та перемішуванні сирного згустку

Система дренажу сироватки у закритому апараті реалізована через довгий щілинний фільтр трубчастої форми (2), підвішений на тросі з нержавіючої сталі, що керується зовнішнім приводом. Фільтр з'єднаний з відповідною трубою через шарнір і далі з насосом [28].

Датчик рівня, встановлений на фільтрі, регулює роботу підйомника, утримуючи забірний пристрій трохи нижче дзеркала рідини. Процес зливу може бути автоматизованим за сигналом або за об'ємом (через лічильник). Кінцеві вимикачі обмежують рух фільтра.

Вертикальний еліптичний сировиготовлювач DONI® E-Vat (рис. 1.9) забезпечує плавне перемішування молока із закваскою за допомогою двох ріжучо-вимішувальних механізмів [24].

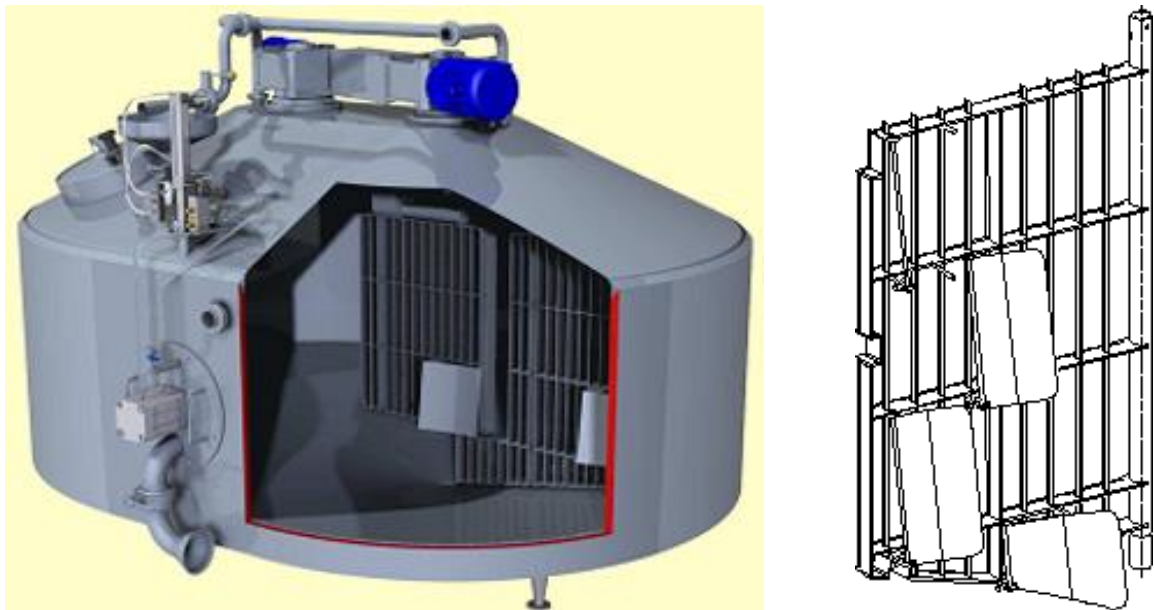


Рис. 1.9. Апарат виготовлення сиру DONI® E-Vat

Після внесення ферменту та утворення коагулюму, відбувається його подрібнення ножовими рамами (швидкість 1...14 об/хв). Після досягнення потрібної фракції зерна, напрямок обертання змінюють на протилежний для вимішування тупими гранями ножів та лопатями. Частотний перетворювач дозволяє гнучко керувати швидкістю на всіх етапах, що мінімізує утворення «сирного пилу» та втрат. Відбір сироватки ведеться через пневматичну систему без зупинки мішалок. Температурні режими забезпечуються подачею теплоносія в сорочку ванни, а керування процесом здійснюється через контролери (Moeller/Siemens).

Вагомою перевагою DONI® E-Vat є перекриття зон дії робочих органів (рис. 1.10), що ліквідує "мертві зони" біля валів і забезпечує рівномірність обробки по всьому об'єму.

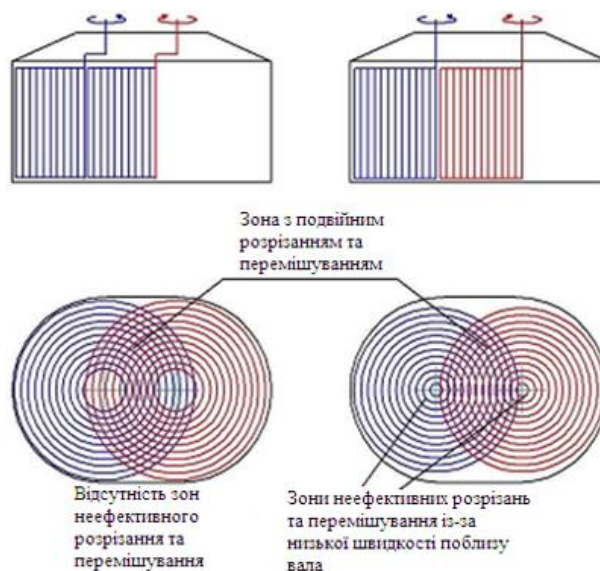


Рис. 1.10. Зони дії ріжучо-вимішувального пристрою

Апарати безперервної дії для виробництва сирного зерна. Цей клас обладнання поділяється на дві принципово різні групи. До першої групи належать установки, де коагуляція відбувається у потоці (безперервному або пульсуючому) всередині циліндричних камер. Друга група включає системи, де продукт перебуває у відносному спокої, а рухається сам робочий орган (транспортёр).

Яскравим представником першого типу є комплекс «Паракурд» (Франція). Технологія передбачає попереднє згущення молока до 36% сухих речовин (оптимальний показник). Система дозволяє реалізувати в потоці як сичужну, так і кислотну коагуляцію [25].

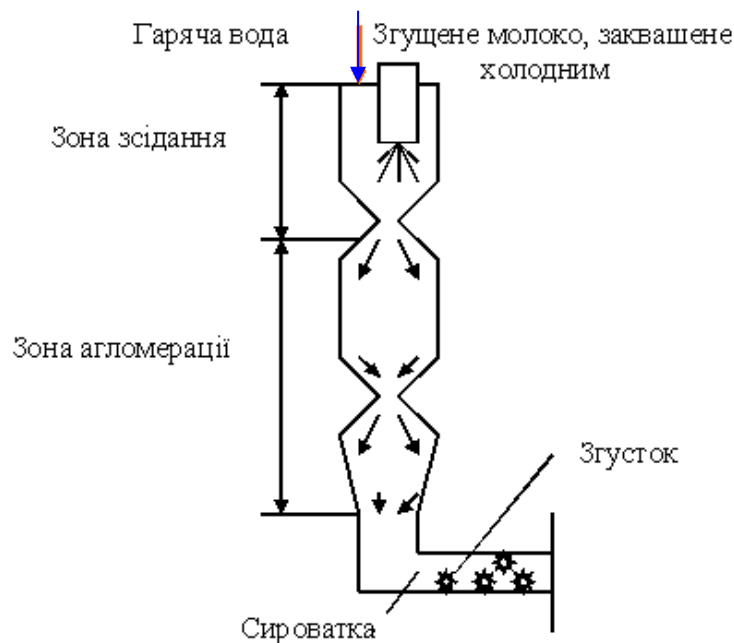


Рис. 1.11. Комплекс Паракурд

Комплекс складається з камер коагуляції, агломерації та синерезису, а також вузлів зневоднення. У камері коагуляції через форсунку впорскується концентроване молоко у ламінарний потік гарячої води (сформований сітчастими перегородками). Миттєвий нагрів призводить до утворення мікрозерен білка. Контакт з водою сприяє дифузії розчинних речовин (зокрема лактози). Подальша турбулізація потоку прискорює процес агломерації.

До апаратів другого типу відноситься лінія Алрта (рис. 1.12) продуктивністю 10 000 л/год. Основою конструкції є стрічковий конвеєр, профіль якого змінюється від плоского до жолобоподібного під час руху [26].

Уздовж траси конвеєра розміщені технологічні модулі: дозатори ферментів та заквасок, пристрої для вимішування та різання. Молоко, потрапляючи на стрічку, стабілізується перегородками і рухається разом із полотном у стані спокою, що необхідно для якісного зсідання. Перед різкою перегородки автоматично виймаються. Згусток нарізається на кубики, а

електростатична система запобігає налипанню продукту. На фінішному етапі зерно передається на відділення сироватки, а стрічка та перегородки проходять автоматичну очистку [29].

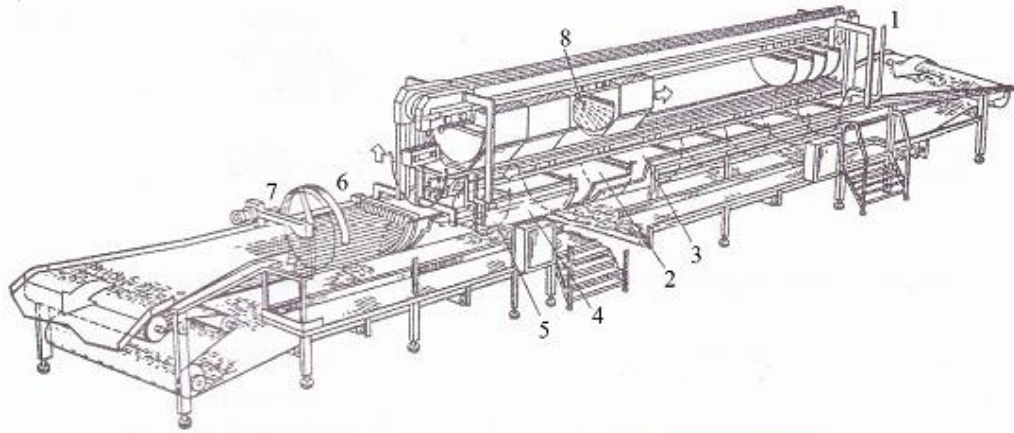


Рис. 1.12. Апарат безперервної дії фірми Алрта для виготовлення сирного зерна: 1 – впускна труба; 2 – зона сквашування; 3 – жолобоподібний стрічковий транспортер; 4 – робоча ємність; 5 – електростатичний відділювач згустку; 6 – пристрій для розрізання пласту (горизонтальний); 7 – пристрій для поперечного розрізання пласту; 8 – пристрій для очищення розділювальних перегородок

2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Фахівцями Технологічного інституту молока та м'яса (УААН) було спроектовано лінійку вертикальних сировиготовлювачів. Модельний ряд включає агрегати серії Я5-ОСЖ із номінальним робочим об'ємом, що варіюється від 500 до 10 000 літрів (рис. 2.1).

Модифікація Я5-ОСЖ спеціалізована для забезпечення повного технологічного циклу отримання твердих сичужних сирів. Конструкція виробничого комплексу включає власне ємність для отримання сирного зерна, станцію керування (пульт та електричну шафу), майданчик для роботи оператора, а також насосне обладнання, призначене для транспортування готового зерна та відведення сироватки [11].

Функціонал установки забезпечує прийом дозованої кількості молочної сировини, внесення необхідних інгредієнтів (води, розсолу, бактеріальних культур), а також підтримання заданих температурних режимів суміші. Ключовими технологічними операціями, які виконує апарат, є розрізання коагулюму та вимішування зерна. Відкачування відокремленої сироватки та вивантаження зрілого зерна реалізується за допомогою спеціальних насосів.

Базовим елементом конструкції сировиготовлювача виступає тристінна ванна. Простір між внутрішнім резервуаром та зовнішнім корпусом утворює теплообмінну сорочку, яка, завдяки циркуляції теплоносія, забезпечує нагрівання або охолодження продукту [12].

Робочий орган апарату представляє собою універсальну рамну конструкцію, на якій закріплені комбіновані елементи для різання згустку та вимішування зерна.

Привідна станція сировиготовлювача обладнана системою безступінчастого регулювання, що дозволяє плавно змінювати частоту

обертання інструменту, а також функцією реверсу для зміни напрямку руху ріжучо-вимішувального вузла.

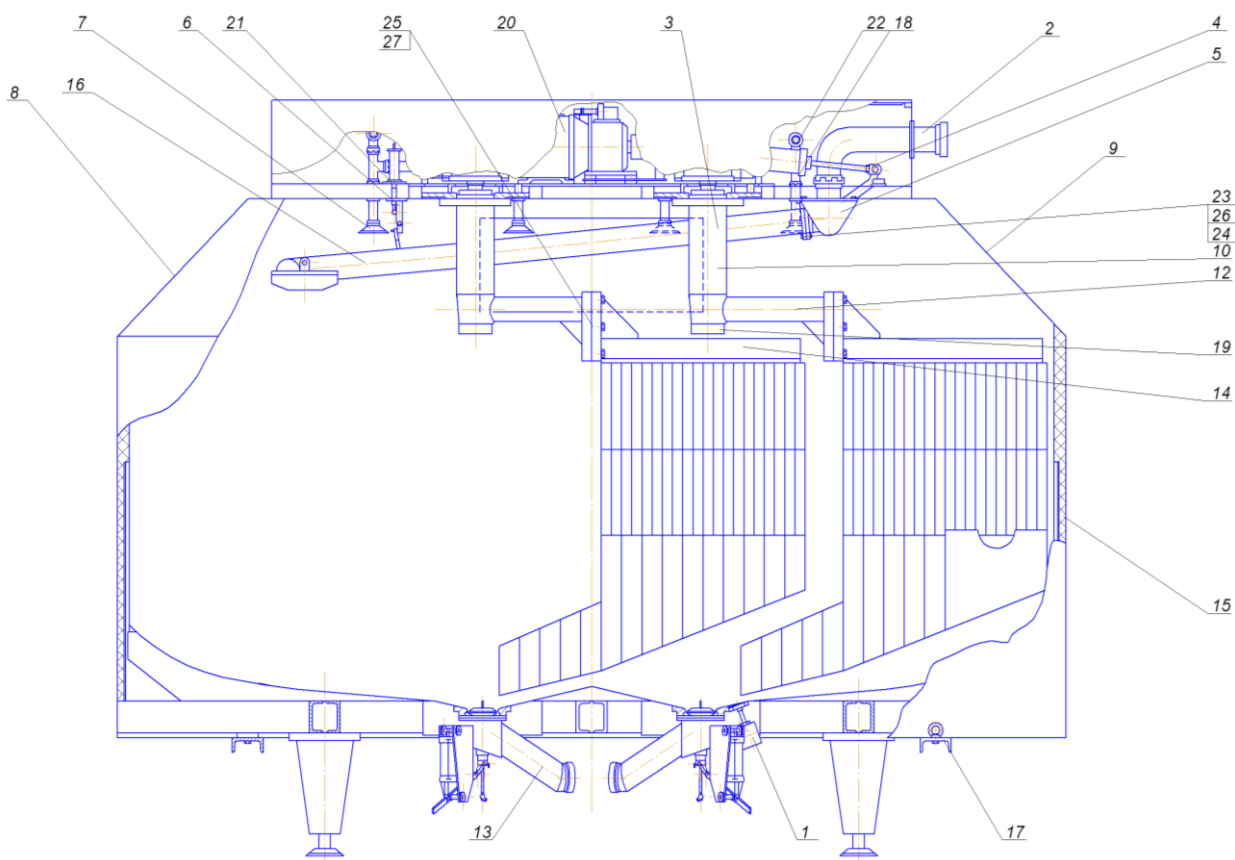


Рис. 2.1. Апарат виготовлення сиру Я5-ОСЖ: 1 – цапфа;

2, 16, 18 – трубопровід; 3 – вал водила; 4 – кронштейн; 5 – шарнір;
 6 – фіксатор; 7 – мийна головка; 8, 9 – кришка; 10 – вал; 11 – фільтр;
 12 – водило; 13 – клапан; 14 – ріжучий пристрій; 15 – теплоізоляція;
 17 – рим-балка; 19 – гвинт; 20 – привід; 21 – планка; 22 – кронштейн;
 23 – гвинт; 24 – болт; 25 – гвинт; 26 – гайка; 27, 28, 29 – шайба

Позиціонування пристрою для відбору сироватки (його підйом та опускання) забезпечується пневматичним механізмом, який має кінематичний зв'язок планетарного типу з корпусом апарату [16].

Існують також модифікації апаратів для підготовки сирного зерна з виносними ємностями. Їх конструкція передбачає наявність внутрішнього

та зовнішнього резервуарів, де у міжстінному просторі (сорочці) змонтовано систему трубопроводів для подачі гарячої та крижаної води.

Характерною особливістю кінематики таких апаратів є складний рух перемішувальних пристроїв: вони здійснюють обертальний рух (з частотою в діапазоні 5...30 об/хв) та одночасно зворотно-поступальне переміщення вздовж ванни. Швидкість поздовжнього руху варіюється від 0,06...0,4 м/с на початкових етапах обробки до 1,5...2 м/с на завершальній стадії.

Для підвищення ефективності обробки зерна лопаті мішалки встановлюються під кутом орієнтовно 15° відносно площини обертання, що сприяє кращому перемішуванню шарів продукту [20].

В окремих конструктивних рішеннях для відділення сирного зерна замість традиційних барабанів застосовуються вібраційні сепаратори (механічного або електричного типу). Вони являють собою сітчасті лотки довжиною до 2 метрів з діаметром перфорації близько 1 мм.

Ванна зазвичай оснащується системою видалення сироватки, виконаною у вигляді рухомої рами, зтягнутої фільтруючою тканиною або дрібною металевою сіткою. Цей механізм переміщується у вертикальній площині. Занурення рами у сироватку відбувається до моменту замикання електричного контакту датчика рівня, після чого автоматично вмикається відкачувальний насос. У міру зниження рівня рідини відбувається подальше автоматичне опускання фільтруючої рами.

Процес вивантаження готового зерна для подальшої переробки полегшується нахилом корпусу ванни в бік вихідного штуцера, що здійснюється за допомогою спеціального пневматичного пристрою.

Деякі моделі обладнання передбачають можливість попереднього формування сирного пласта безпосередньо в апараті або приєднаній ємності. Така ємність обладнана другим рухомим дном із перфорованих плит та рухомою задньою стінкою. На передній панелі змонтовано

гільйотинний ніж із вертикальним ходом. Для забезпечення підпресування сирного пласта на бортах ємності встановлено пневматичні циліндри [22].

Для поздовжнього розкрою пласта використовується блок із шести вертикальних ножів (з відстанню між лезами 243 мм), що дозволяє отримати сім смуг. Поперечне розрізання на окремі блоки здійснюється шляхом опускання гільйотинного ножа [22].

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення векторів удосконалення конструкції апарату.

Проведений аналітичний огляд дозволив виділити низку суттєвих переваг, якими володіють сировиготовлювачі з вертикальною орієнтацією робочої ємності та віссю обертання інструменту. Ключовим плюсом такої геометричної конфігурації є коефіцієнт корисного використання об'єму резервуару, який наближається до максимуму. Іншим, критично важливим технологічним аспектом, є формування шару сирного згустку однакової товщини по всій площі перерізу ємності. Завдяки цьому ріжучо-вимишувальні інструменти постійно знаходяться у зануреному стані, забезпечуючи гомогенний вплив на сирну масу. Це, в свою чергу, гарантує стабільність навантаження на привідний механізм, який працює у режимі постійного крутного моменту [19].

Вертикальні циліндричні апарати також виграють у плані ергономіки простору: вони значно компактніші за горизонтальні аналоги, що дозволяє економити корисну площу виробничого цеху. Однак, така геометрія має і свої недоліки, основним з яких є значний гідростатичний рівень продукту. Це призводить до суттєвого зниження рівня рідини під час етапів відбору сироватки. У такій ситуації ефективність роботи інструменту падає, оскільки він змушений працювати у напівпорожньому резервуарі. Інженерним вирішенням цієї проблеми стала розробка ємностей, що у плані нагадують еліпс («подвійне о» або бі-циліндр). Така форма дозволяє зменшити висоту стовпа рідини при збереженні об'єму, що нівелює проблему перепаду рівнів і підвищує інтенсивність використання робочого органу [18, 19, 20].

Водночас, слабким місцем багатьох вертикальних апаратів залишається недосконала гідродинаміка перемішування. Проблема полягає у тому, що під час формування зерна сирна маса не отримує оптимальної

траєкторії руху: вона часто зміщується "хвилею" поперед ріжучого інструменту, замість того щоб активно перемішуватися. Це призводить до затягування процесу обробки і, як наслідок, до надмірних витрат електроенергії на роботу приводу. Схематичне зображення роботи типового комбінованого інструменту наведено на рис. 3.1 [17].

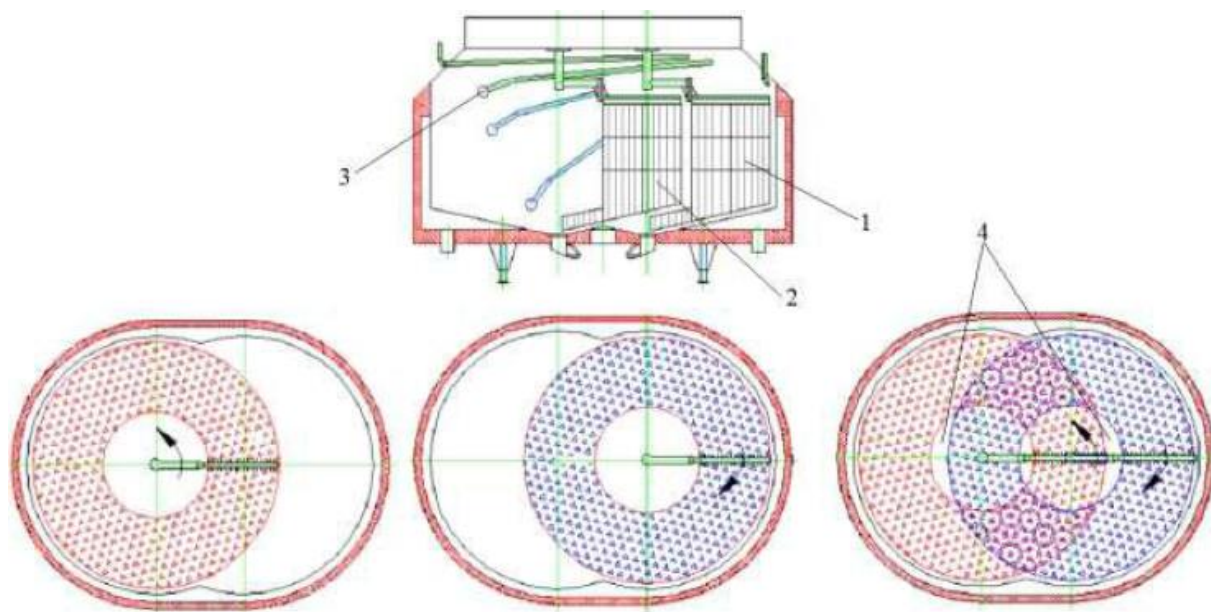


Рис. 3.1. Процес розрізування та вимішування сирного згустку виготовлювача сиру: 1, 2 – різально-вимішувальний робочий орган; 3 – пристрій для видалення сироватки; 4 – необроблені робочим органом зони сирного згустку

Стандартна конструкція включає два комбінованих органи рамного типу, оснащених системою вертикальних та горизонтальних лез (рис. 3.1). Профіль ножів асиметричний: одна грань загострена (для різання коагуляуму), інша — скруглена або тупа (для вимішування зерна). Реверсивний привід дозволяє змінювати функцію інструменту зміною напрямку обертання. Це запобігає збиванню маси в один бік, проте не ліквідує повністю так звані "мертві зони" (зони недостатнього впливу, показані на рис. 3.1), що вимагає пошуку нових конструкторських рішень.

Таким чином, основним резервом підвищення ККД сировиготовлювача є оптимізація геометрії робочого органу для інтенсифікації масообміну під час вимішування [18].

Розроблення структурно-функціональної схеми модернізованого робочого органу. Для усунення ефекту «відштовхування» зерна тупою гранню ножа та покращення якості перемішування, пропонується змінити конфігурацію ножового полотна (рис. 3.2).

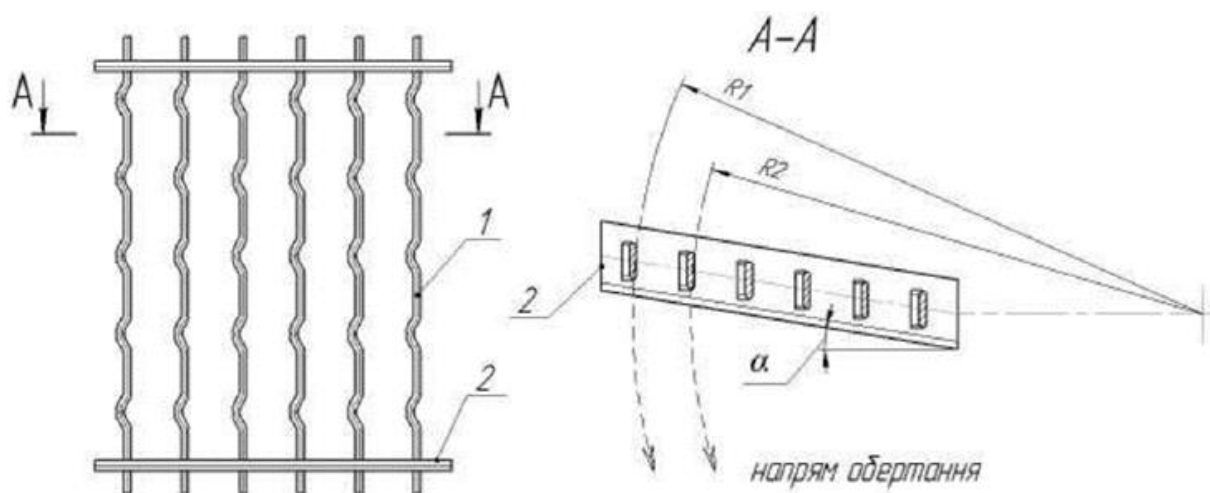


Рис. 3.2. Розроблений різально-вимішувальний робочий орган виготовлювача сиру: 1 – вертикальні ножі; 2 – горизонтальні ножі

Інновація полягає у зміні форми вертикального ножа, який отримує радіальні вигини, а також у зміні кута атаки горизонтальних лез. Згідно з перерізом А-А (рис. 3.2), горизонтальні ножі встановлюються під кутом α до площини обертання. Це створює підйомну силу та турбулізує потік.

Варто зазначити, що навіть при сталій кутовій швидкості валу, лінійна швидкість різних ділянок ножа варіюється залежно від відстані до центру [23]:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n,$$

$$v_i = \frac{\pi \cdot R_i \cdot n}{60},$$

де ω – кутова швидкість обертання осі робочого органу, рад/с;
 n – частота обертання приводу робочого органу, с⁻¹;
 v_i – колова швидкість і-того вертикального ножа, м/с;
 R_i – радіус обертання і-того вертикального ножа, м.

Запропонована хвилеподібна форма вертикального ножа надає частинкам продукту додаткове бокове прискорення, змушуючи їх рухатися вздовж горизонтальних лез. Це руйнує стабільні потоки і ліквідує необроблені зони, характерні для базових моделей (рис. 3.1).

Удосконалення системи відбору сироватки та вивантаження зерна.

Ключовим елементом модернізації апарату Я5-ОСЖ є впровадження інтегрованого пристрою, що поєднує функції дренажу сироватки та вивантаження готового продукту. Конструктивно це реалізовано через систему коаксіальних труб (забірної та зливної), комутація яких здійснюється за допомогою рухомого золотникового клапана. Таке рішення значно підвищує надійність установки, мінімізує втрати білкової маси та знижує експлуатаційні витрати [20].

Поєднання вузлів відбору рідкої фракції та вивантаження зерна в єдиний блок дозволяє використовувати спільний привід для керування процесом. Особливістю конструкції є можливість гравітаційного (самопливного) відведення сироватки великої інтенсивності, що виключає необхідність використання вакуумних насосів для цієї операції, знижуючи енергоємність та собівартість продукції.

Забір сироватки здійснюється через верхній патрубок з поверхневих шарів, де концентрація зерна мінімальна. Механізм регулювання висоти забірної труби дозволяє проводити дренаж без зупинки процесу вимішування. Це критично важливо, адже дозволяє уникнути технологічних пауз на осадження зерна, які часто призводять до злежування пласта і необхідності його повторного дроблення [22].

Розміщення забірною пристрою строго по центральній осі апарату є гідродинамічно обґрунтованим: під дією відцентрових сил під час обертання мішалок важча фракція (зерно) відкидається до периферії, залишаючи центральну зону чистою від зважених часток.

Золотниковий елемент, що переміщується вертикально всередині зливної труби, виконує функцію розподільника потоків. У нижньому положенні він відкриває шлях для сироватки, а у верхньому – відкриває донний отвір для вивантаження всієї маси продукту. Оскільки отвір знаходиться у найнижчій точці конічного днища, забезпечується повне спорожнення резервуару [23].

Геометрія дна золотника узгоджена з кутом нахилу вивантажувального патрубку. Це вирішує проблему накопичення "сирного пилу". Під час відбору сироватки дрібні частинки можуть осідати на клапані, але при перемиканні в режим "вивантаження" (підйом золотника) потужний потік зернової суміші змиває цей осад у трубу. Така конструкція гарантує мінімізацію втрат сировини, збільшуючи вихід готового продукту та зменшуючи навантаження на очисні споруди (менше органіки потрапляє у стічні води).

Додатковою перевагою є гігієнічність: відсутність «кишень» та можливість повного дренажу спрощує санітарну обробку (СІР-мийку), економлячи воду та миючі реагенти [27].

Підсумовуючи, впровадження модернізованого вузла на базі апарату Я5-ОСЖ є економічно та технологічно виправданим. Це дозволить створити високопродуктивну автоматизовану лінію, підвищити рентабельність виробництва та конкурентоспроможність підприємства. Ефективність цієї модернізації підтверджено подальшими технологічними розрахунками.

4. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Визначення кінематичних параметрів модернізованого робочого інструменту.

У процесі технологічних операцій розрізання та вимішування зерна робочий орган ініціює складну траєкторію руху частинок середовища. Ефективність вимішування визначається ступенем рівномірності розподілу твердої фази по всьому робочому об'єму резервуару. Оптимальним вважається режим, за якого сирне зерно перебуває у зваженому стані по всій висоті стовпа рідини. При цьому концентрація продукту має бути гомогенною, а частота обертання мішалки — достатньою для запобігання седиментації (осідання) частинок на дно. Водночас, надмірно висока кутова швидкість є неприпустимою, оскільки це призводить до механічної деструкції згустку та утворення «сирного пилу», що знижує товарну якість сиру. Отже, завдання полягає у пошуку «золотої середини» — оптимального кінематичного режиму.

Фундаментальною умовою статичного режиму обертання інструменту [23] є незмінність кутової швидкості для всіх точок системи, тобто $\omega = const$. В цьому випадку лінійна (колова) швидкість (v) прямо пропорційна радіусу обертання і описується рівнянням:

$$v = \omega \cdot r, \quad (4.1)$$

де r – радіус обертання, м;

ω – кутова швидкість обертання осі робочого органу, рад/с.

Аналіз формули показує, що при наближенні до центру обертання $r \rightarrow 0$), лінійна швидкість також прямує до нуля ($v \rightarrow 0$).

Це означає, що безпосередньо біля осі перемішування практично відсутнє. Саме цей факт пояснює конструктивну особливість

запропонованого комбінованого органу (див. рис. 3.2), рама якого винесена на певну відстань від геометричної осі обертання.

Для динамічного режиму обертання характерна інша закономірність: добуток колової швидкості частинки на радіус її траєкторії залишається константою в межах робочого об'єму:

$$v \cdot r = c = \text{const.} \quad (4.2)$$

Спільний аналіз виразів (4.1) та (4.2) дозволяє вивести залежність для кутової швидкості.

З цього випливає, що в умовах динамічного обертання кутова швидкість змінюється обернено пропорційно квадрату відстані від центру обертання.

Аналіз енергетичних показників запропонованого різально-вимишувального вузла.

У процесі експлуатації модернізованого органу його радіально вигнуті елементи виконують функцію лопаток. Під час взаємодії з сирним згустком виникають сили, що надають частинкам складного просторового руху.

Енергія приводу витрачається на відштовхування частинок від поверхні лопатки та на подолання сил опору в'язкого середовища. У розрахунках також необхідно враховувати гідростатичний тиск, зумовлений висотою стовпа продукту в апараті.

Нехай елемент радіального вигину, який будемо називати лопаткою (рис. 4.1), буде діяти на згусток із результуючою силою P . Проекціями даної сили є складова P_c прикладена на вісь обертання та складова P_m , яка називається тангенціальною силою.

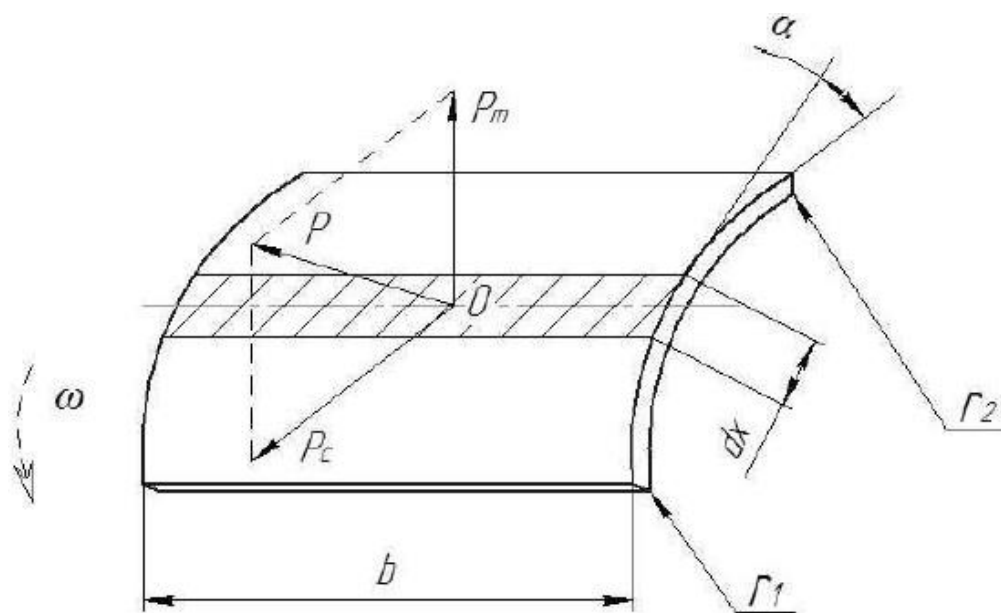


Рис. 4.1. Розрахункова схема дії сил на елемент радіального вигину розробленого робочого органу

Застосуємо закон зміни кількості руху. Імпульс зовнішніх сил, що діють на потік у напрямку вектора швидкості, дорівнює зміні кількості руху маси. Тоді силу тиску в осьовому напрямку можна виразити залежністю:

$$P_c = \Delta l \cdot t \cdot (p_1 - p_2) + \Delta l \cdot t \cdot (\rho_1 \cdot v_1^2 - \rho_2 \cdot v_2^2), \quad (4.3)$$

де ρ_1, ρ_2 – густина середовища перед та після проходження лопатки через сирний згусток, кг/м³;

p_1, p_2 – тиск у перерізі перед лопаткою та за лопаткою, Па;

t – періодичність радіальних вигинів, м;

Δl – довжина лопатки, м;

v_1, v_2 – швидкість переміщення маси перед та після лопатки в напрямку дії осьової сили, м/с.

Відповідно до рівняння нерозривності потоку [24] відомо, що $\rho_1 = \rho_2$ та $v_1 = v_2$, тому рівняння (4.3) отримає вигляд:

$$P_c = \Delta l \cdot t (p_2 - p_1). \quad (4.4)$$

Отже, осьова складова зусилля витрачається виключно на створення перепаду тиску.

Для визначення тангенціальної складової (P_m) скористаємося аналогічним підходом на базі рівняння імпульсів [23, 24]:

$$P_m = \Delta l \cdot t \cdot v_1 \cdot (v_{1m} - v_{2m}), \quad (4.5)$$

де v_{1m}, v_{2m} – швидкість переміщення маси перед та після лопатки в напрямку дії тангенціальної сили, м/с.

Рівняння (4.5) не враховує розташування лопатки відносно оброблюваного середовища та її параметри. Виходячи з теорії обтікання рідиною тіла робочого органу, для визначення зусиль, діючих на радіальний вигин (лопатку), який розташований під кутом α до напрямку обертання, опір середовища тангенціальній силі можна визначити за допомогою формули Ньютона-Кармана [24]:

$$P_m = \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot \sin \alpha, \quad (4.6)$$

де ρ – густина оброблюваного середовища, кг/м³;

v – колова швидкість, м/с;

S – площа поверхні радіального вигину, м²;

α – кут нахилу радіального вигину до напрямку руху, град.

Під час свого руху лопатка зміщує за одиницю часу об'єм середовища рівний $S \times v$ та надає йому кількість руху, яка визначається як добуток маси на швидкість $\rho \times v$. Елементарна поверхня лопатки записується як $dS = b \cdot dx$ (рис. 4.1). З урахуванням того, що $v = w \cdot x$, рівняння (4.6) отримає вигляд:

$$dP_m = c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot b \cdot \sin \alpha \cdot x^2 dx \quad (4.7)$$

де c – коефіцієнт опору переміщення, приймається $c = 0,44$ [23, 24];
 b – ширина робочого органу (вертикального ножа), м.

Виконаємо інтегрування рівняння (4.7) з врахуванням межі радіального вигину r_1, r_2 , отримаємо силу тиску на всю лопать:

$$P_m = c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot b \cdot \sin \alpha \cdot \int_{r_1}^{r_2} x^2 dx.$$

отримаємо:

$$P_m = \frac{1}{3} c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot b \cdot (r_2^3 - r_1^3) \cdot \sin \alpha.$$

де r_1, r_2 – радіуси обертання радіального вигину в передній та задній площині, м.

Результуюча сили тиску визначається складанням сил P_c і P_m :

$$P = \sqrt{P_c + P_m}.$$

Потужність, що йде на обертання лопаті визначиться з виразу, Вт:

$$N = P \cdot \omega \cdot x_0 \cdot k \cdot z,$$

де k – кількість радіальних вигинів одного вертикального ножа, шт.;
 z – кількість ножів одного робочого органу, котрі приймають участь у технологічному процесі виготовлення сирного зерна, шт.;

x_0 – координата прикладання сили P_m , яка знаходиться на відстані $2/3$ від ширини ножа (b) вздовж осі прикладених сил обертання (рис. 4.1):

$$x_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{r_2^4 - r_1^4}{r_2^3 - r_1^3}$$

Для спрощення інженерних розрахунків, радіуси обертання передньої та задньої площини взаємодії із робочим середовищем можна усереднити до геометричного радіуса R_i кожного ножа відносно центру обертання комбінованого робочого органу (див. рис. 3.2).

Таким чином, для визначення потужності, необхідної на вимішування сирного зерна, слід визначити потужність, витрачену кожним профілем з відповідним кутом нахилу до площини обертання α і радіусами r_1, r_2 . При цьому, необхідно врахувати і кількість радіальних вигинів на одному ножі.

Потужність, яка необхідна на привод розробленого різально-вимішувального робочого органу виготовлювача сиру має враховувати збільшення потужності на подолання втрат енергії у вузлах тертя, Вт:

$$N_e = 1,15 \cdot N \cdot i, \quad (4.8)$$

де i – кількість робочих органів для виготовлення сирного зерна періодичної дії, шт.;

1,15 – коефіцієнт збільшення потужності на привод робочих органів виготовлювача сирного зерна [23].

На підставі теоретичного аналізу та результатів дослідів можна зробити висновок, що потужність, яка споживається сировиготовлювачами періодичної дії даного конструктивного типу залежить від таких

параметрів: фізичних – густина сирного згустку ρ , кг/м³; кінематичних – частота обертання n , с⁻¹; геометричних – параметри робочого інструменту (ширина та висота), м.

Енергоємність виробництва сирного зерна (рис. 4.2) визначається за формулою, Вт×год/кг:

$$E = N \cdot Q^e,$$

де Q – продуктивність виготовлювача сиру, кг/год:

$$Q = \frac{V \cdot \rho \cdot B}{t} \quad (4.9)$$

де V – робочий об'єм виготовлювача сиру, м³;

B – вихід сирного зерна із маси сирного згустку;

t – тривалість обробки сирного зерна, год.

За результатами досліджень отримали рівняння регресії енергоємності виробництва сирного зерна розробленим робочим органом (рис. 4.2):

$$E = 0,00002 \cdot n^2 + 0,0007 \cdot n + 0,255. \quad (4.10)$$

Отримана математична модель (4.10) адекватно описує взаємозв'язок досліджуваних факторів, оскільки має місце досить високе значення коефіцієнта множинної кореляції на рівні $R=0,977$.

Аналіз графічних залежностей (рис. 4.2) демонструє наступне:

1. Спостерігається пряма залежність: зростання частоти обертання інструменту неминуче веде до підвищення питомої енергоємності, незалежно від відсотка виходу зерна.

2. Підвищення виходу сирного зерна до 64% дозволяє знизити питому енергоємність процесу в середньому на 3%. Це пояснюється

зростанням абсолютної продуктивності апарату при незмінному часі циклу (0,5 год).

3. У порівнянні з базовим прототипом (з прямолінійними ножами), використання модернізованих хвилеподібних органів призводить до незначного зростання енергоспоживання (від 0,8% до 5,6% в діапазоні 5...20 об/хв). Однак це виправдовується покращенням якості вимішування.

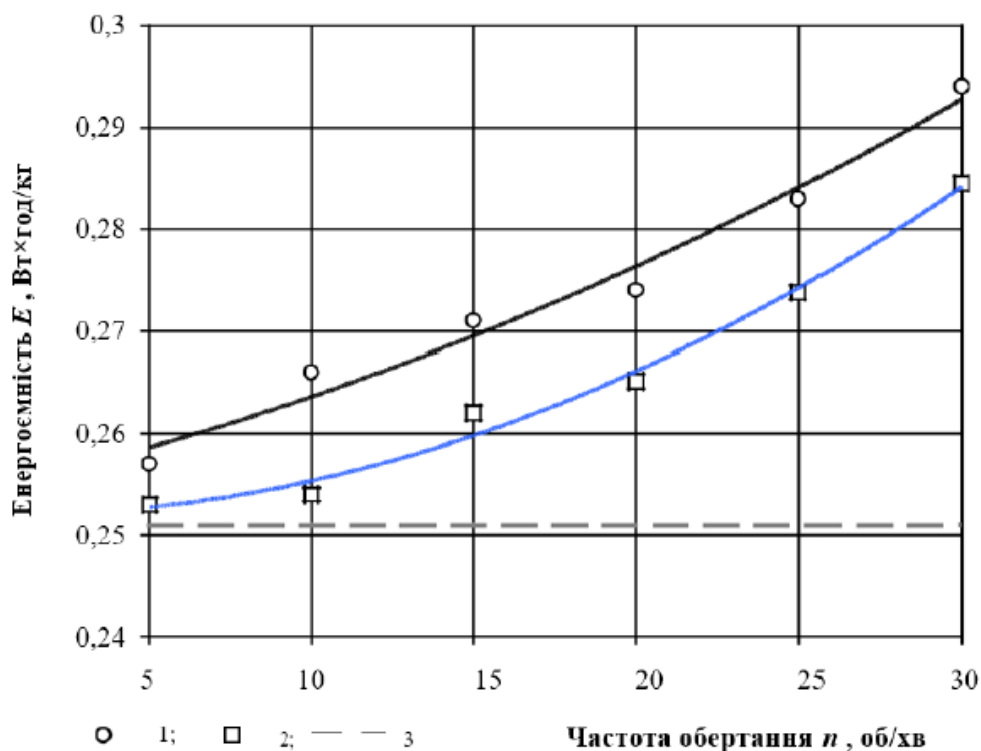


Рис. 4.2. Залежність енергоємності виробництва від частоти обертання робочого органу за умови виходу сирного зерна:

1 – 60 %; 2 – 64 %; 3 – енергоємність серійного виготовлювача

5. ОБІРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

Вертикальний виготовлювач сиру моделі Я5-ОСЖ (рис. 5.1) розроблений для забезпечення технологічного циклу виробництва твердих сирів сичужного типу. Комплектація установки включає безпосередньо ємність для формування зерна, станцію керування (пульт та електричну шафу), технологічний майданчик для персоналу, а також насосні агрегати для транспортування готового продукту та відведення сироватки [12].

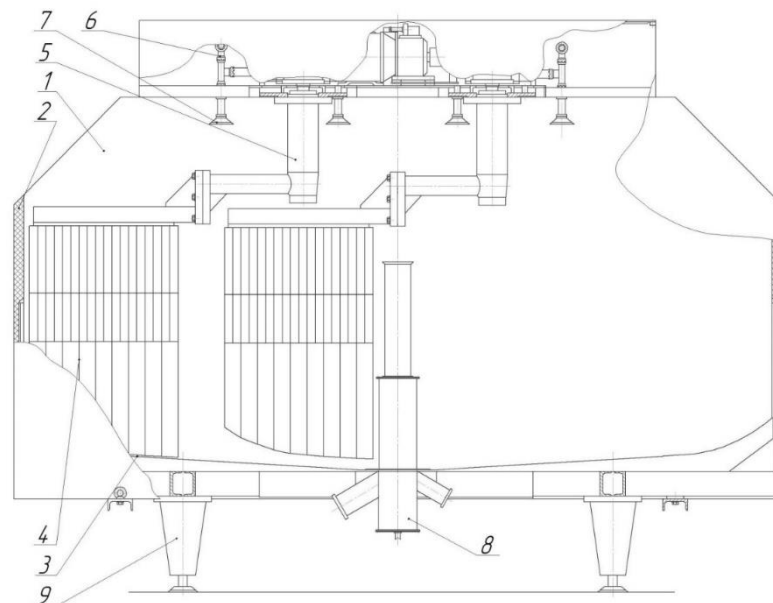


Рис. 5.1. Сировиготовлювач Я5-ОСЖ

Функціонал апарату передбачає завантаження нормалізованої молочної суміші, внесення необхідних компонентів (води, розсолу, ферментів), термічну стабілізацію середовища, а також механічну обробку згустку (різання та вимішування). Відкачування рідкої фракції та готового зерна здійснюється спеціалізованим насосним обладнанням. Конструктивною основою агрегату є тристінний резервуар, де міжстінний простір виконує роль теплообмінної сорочки для нагрівання або

охолодження вмісту. Робочий орган — універсальна рама з ріжучо-вимишувальними елементами. Привідна система забезпечує плавне (безступінчасте) регулювання швидкості обертання інструменту, а також можливість зміни напрямку руху (реверс) [11].

Модернізована конструкція сировиготовлювача Я5-ОСЖ складається з вертикального корпусу (1), оснащеного теплообмінною сорочкою (2) та складним днищем (3). В середині розміщено механізм для різання та вимишування з мішалками (4), що закріплені на валах (5) реверсивного приводу (6). Для подачі сировини та інгредієнтів передбачено вхідний патрубок (7), а для евакуації продуктів переробки — інтегрований вузол відбору сироватки та вивантаження зерна (8). Конструкція спирається на опори (9).

Геометрія резервуару (1) утворена перетином трьох циліндричних об'ємів. Днище (3) також має складну форму, що складається з трьох зрізаних конусів, орієнтованих вершинами донизу, осі яких збігаються з осями відповідних циліндрів. Центральний сегмент днища виконаний у вигляді повного конуса, радіус основи якого корелює з радіусом центральної циліндричної секції. Саме у вершині цього центрального конуса вертикально змонтовано комбінований пристрій (8).

Детальна будова вузла відбору сироватки та вивантаження зерна (8) представлена на рис. 5.2. Він являє собою коаксіальну систему, встановлену вздовж осі симетрії резервуару. Основу складає забірна труба (1), з'єднана зі зливною магістраллю (2) через рухомий золотниковий клапан (3), що має можливість вертикального ходу .

Забірна труба кінематично пов'язана через зірочку (4) з приводним штоком (5). Герметичність вузла забезпечується ущільненням (6) у верхній частині золотника. Нижня частина золотникового елемента (3), що контактує зі зливним каналом, має перфорацію (7) для проходження сирного зерна. У верхній зоні золотника (3) передбачено комунікаційні

отвори для відведення сироватки (8) та зерна (9). Залежно від режиму роботи, ці отвори суміщаються з відповідними відповідними патрубками: сироватковим (10) або продуктовим (11). Вертикальне позиціонування штока (5) забезпечується виконавчим механізмом (пневматичним, гідравлічним або електричним — на схемі умовно не показано). З'єднання золотника (3) зі штоком (5) реалізовано через герметичну втулку (12) [13].

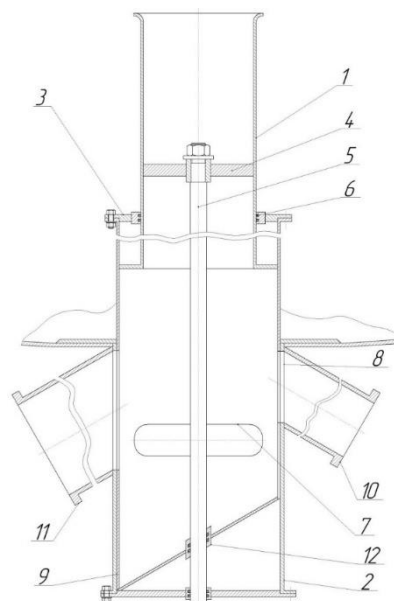


Рис. 5.2. Пристрій для відбору сироватки і вивантаження сирного зерна

Фіксація золотникового елемента (3) у вертикальному положенні та герметизація стику з днищем (3) досягається за допомогою кільцевого ущільнення (13).

Алгоритм роботи модернізованого апарату. Цикл починається з подачі нормалізованого молока у резервуар (1) через патрубок (7). За потреби сировина підігрівається до температури коагуляції шляхом циркуляції теплоносія в сорочці (2). Після внесення молокозсідальних компонентів та короткочасного перемішування, суміш залишають у спокої для формування згустку. На етапах заповнення та коагуляції забірна труба

знаходиться у крайньому верхньому положенні. Ущільнювачі (6) та (13) у цей час надійно герметизують донний вузол (8), запобігаючи витокам [1].

Після утворення згустку активують привід (6) у режимі "різання". Гострі грані інструменту (4) подрібнюють гель до заданого розміру зерна. Далі здійснюється реверс двигуна, і мішалки починають працювати тильною стороною для вимішування («створення зерна»). Цей процес запобігає злипанню та осіданню частинок, утримуючи їх у зваженому стані.

Для етапу відбору сироватки оберти мішалки знижують до мінімуму. Шток (5) плавно опускає забірну трубу до розрахункового рівня, що відповідає об'єму рідини, яку необхідно видалити (зазвичай близько 30% від загальної маси). Освітлена сироватка з поверхневого шару потрапляє у вхідний отвір труби, проходить крізь порожнину золотника (3), отвір (8) та виводиться через патрубок (10) за межі апарату. Після дренажу інтенсивність перемішування підвищують, а в сорочку (2) подають теплоносій для другого нагрівання зерна до технологічної температури.

Завершальний етап — вивантаження готового зерна. За допомогою штока (5) забірна труба піднімається у крайнє верхнє положення. При цьому золотниковий клапан (3) зміщується відносно зливної труби, відкриваючи шлях продукту. Суміш зерна та залишків сироватки через нижні отвори (7) золотника, комунікаційні отвори (9) та вихідний патрубок (11) відводиться з ємності [10].

Процес спорожнення відбувається при працюючих мішалках, що гарантує рівномірність вивантаження та відсутність застійних зон. З апарату продукт насосом перекачується на перший відділювач сироватки. Там рідина фільтрується крізь перфорацію барабану і йде на переробку, а зерно потрапляє у воронку, де зрошується розсолем. У процесі транспортування відбувається посол до заданої кондиції. Далі пульсуючий потік спрямовується через воронку до другого конічного відділювача сироватки для остаточного зневоднення. [10, 12, 20]

6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Технологічний розрахунок. Розрахунок продуктів — це розрахунки сировини, напівфабрикатів та готової продукції на всіх етапах технологічного процесу. Продуктовий розрахунок необхідний для визначення витрат сировини, основних допоміжних матеріалів, розрахунку і підбору обладнання, розрахунку площі, витрат води, пари, холоду, електроенергії, розрахунку чисельності робітників, економічних показників. Розрахунок продуктів виконується на зміну максимального надходження сировини, з використанням розрахункових формул і норм витрат сировини [3].

Масова частка жиру нормалізованого молока визначається за формулою:

$$Ж_{н.м} = \frac{K \cdot Ж_{с.р.} \cdot B_m}{100}, \quad (6.1)$$

де K – коефіцієнт перерахунку встановлений дослідним шляхом, для твердого сиру $K=2,13$

B_m – масова частка білку в молоці %, для даного регіону, $B_m=3,16\%$

$Ж_{с.р.}$ – нормативна масова частка жиру в сухій речовині, $Ж_{с.р.}=51\%$.

$$Ж_{н.м} = \frac{2,13 \cdot 3,16 \cdot 51}{100} = 3,3\%$$

Приймаємо $Ж_{н.м}=3,3\%$.

Масу нормалізованого молока визначаємо за формулою:

$$M_{н.м} = \frac{M_m \cdot (Ж_{верш} - Ж_m)}{Ж_{верш} - Ж_{н.м}}, \quad (6.2)$$

де M_m – маса молока, яке використовується для сиру, т

$Ж_{верш}$ – масова частка жиру в вершках $Ж_{верш}=39\%$

$Ж_m$ – масова частка жиру прийнятого молока, $Ж_m=3,77\%$

$Ж_{н.м}$ – масова частка жиру нормалізованого молока

$$M_{н.м} = \frac{40000(39-3,77)}{39-3,3} = 40213,8 \text{ кг}$$

Маса зрілого зерна визначається за формулою:

$$M_{3,3} = \frac{M_{н.м}(Ж_{н.м}-Ж_{сир})}{(Ж_{3,3}-Ж_{сир})} \cdot \frac{100-П}{100}, \quad (6.3)$$

де $Ж_{сир}$ – масова частка жиру в сироватці, для твердого сиру $Ж_{сир}=0,39\%$;

$П$ – допустимі витрати жиру при виробництві і дозріванні сиру в залежності від його виду, $\% П=0,4$ [12].

$$M_{3,3} = \frac{39425,3 \cdot (3,3-0,39)}{50-0,39} \cdot \frac{100-0,4}{100} = 2276,07 \text{ кг}$$

Маса сиру визначається з урахуванням усушки:

$$M_c = \frac{M_{3,3} \cdot (100-H_y)}{100} \quad (6.4)$$

де H_y – норма усушки сиру в період дозрівання, $\% H_y=7,4\%$

$$M_c = \frac{2276,07 \cdot (100-7,4)}{100} = 2107,6 \text{ кг}$$

Маса сироватки складає 81% маси нормалізованого молока при виробництві твердих сирів. Масу підсирних вершків визначають за формулою:

$$M_{п.верш} = \left[\frac{M_{сир} \cdot (Ж_{сир}-Ж_{зн.сир})}{(Ж_{п.верш}-Ж_{зн.сир})} \right] \cdot \frac{100-0,7}{100} \quad (6.5)$$

де $M_{п.верш}$ – маса підсирних вершків отриманих при сепаруванні сироватки, кг;

$M_{сир}$ – маса сироватки, кг; $M_{сир}=40213,8 \cdot 0,81=32573,2$ кг;

$Ж_{зн.сир}$ – масова частка жиру в знежиреній сироватки, $Ж_{зн.сир}=0,051\%$;

$П$ – гранично допустимі витрати жиру при сепаруванні сироватки, $П=0,7\%$;

$Ж_{п.верш}$ – масова частка жиру в підсирних вершках, отриманих при сепаруванні, $\% Ж_{п.верш}=32,6\%$.

$$M_{n.верш} = \left[32573,2 \cdot \frac{0,39-0,05}{32,6-0,05} \right] \cdot \frac{100-0,7}{100} = 329,9 \text{ кг}$$

Маса вершків отриманих при нормалізації молока на сир без врахування втрат, визначається наступним чином:

$$M_{\text{верш}} = M_{\text{м}} - M_{\text{н.м}} \quad (6.6)$$

$$M_{\text{верш}} = 40000 - 40213,8 = 213,8 \text{ кг.}$$

Вершки в кількості 547,7 кг надходять в масло цех. Маса закваски з урахуванням втрат визначається за формулою:

$$M_3 = \frac{M_{\text{н.м}} \cdot a}{100} - \frac{100}{100 - \Pi}; \quad (6.7)$$

де Π – гранично допустимі втрати закваски, % $\Pi=0,6$;

a – кількість закваски, % $a=0,8$ %.

$$M_3 = \frac{40213,8 \cdot 0,8}{100} \cdot \frac{100}{100-0,6} = 323,65 \text{ кг.}$$

Кількість хлористого кальцію визначаємо із співвідношення:

100 кг молока — 0,02 кг CaCl_2

40213,8 кг молока — x кг CaCl_2

$$x = \frac{40213,8 \cdot 0,02}{100} = 8,05 \text{ кг } \text{CaCl}_2$$

Кількість сичужного ферменту визначаємо із співвідношення:

100 кг молока — 0,0025 ферменту

40213,8 кг молока — x кг ферменту

$$x = \frac{40213,8 \cdot 0,0025}{100} = 1 \text{ кг.}$$

Тепловий розрахунок

Пара витрачається на підігрів суміші при виробництві сирного зерна. Витрати пари на технологічні цілі для апаратів періодичної дії розраховуємо по формулі, кг:

$$D = \frac{M_c(t_2 - t_1)}{(i - t_k)\eta} \quad (6.8)$$

де M – кількість продукту який підігрівається, кг;
 c – теплоємність продукту, кДж/кг·град;
 t_2, t_1 – кінцева і початкова температура продукту, °С;
 i – тепловміст пари, кДж/кг;
 t_k – температура конденсату, °С;
 η – коефіцієнт теплового використання для ізольованого кожуха
 $\eta=0,75$.

Для сиру Українського втрати пари на підігрівання молока в сировиготовлювачі дорівнюють [14]:

$$M = 10200 \text{ кг}$$

$$t_1 = 34^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 43^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{пари}} = 0,51 \text{ МПа}$$

$$i = 644,24 \text{ ккал/кг} = 2705,78 \text{ кДж/кг}$$

$$c = 4,03 \text{ кДж/кг}\cdot\text{с}$$

$$t_k = 99^\circ\text{C}$$

Знаходимо втрати пари:

$$D = \frac{10000 \cdot 4,03(43 - 34)}{(2705,78 - 0,75)} = 189,23 \text{ кг}$$

Так як використовується два сировиготовлювачі, то:

$$D' = D \cdot 2 = 189,23 \cdot 2 = 378,46 \text{ кг.}$$

Тепловий розрахунок установки для посолки сирного зерна в потоці. В установці для посолки сирного зерна в потоці необхідно регулювати температуру розсолу в межах від 30 до 70°C. Тому в даній установці в якості теплоносіїв, використовується пара для охолодження.

Розраховуємо необхідну кількість пари для підігріву розсолу до температури 70°C [14]:

$$D = \frac{M \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{(i - t_k) \cdot \eta}, \quad (6.9)$$

де M – кількість продукту що підігрівається, кг; $M = 200$ кг
 c – теплоємність продукту, кДж/кг·град; $c = 3,56$ кДж/кг·град
 t_1, t_2 – початкова і кінцева температури продукту, °C; $t_1 = 71^\circ\text{C}$,
 $t_2 = 39^\circ\text{C}$
 i – тепловміст пари, кДж/кг; $i = 2705,78$ кДж/кг
 t_k – температура конденсату, °C; $t_k = 99^\circ\text{C}$
 η – коефіцієнт теплового використання, $\eta = 0,75$

Знайдемо кількість пари:

$$D = \frac{200 \cdot 3,56 \cdot (71 - 39)}{(2705,78 - 99) \cdot 0,75} = 11,89 \text{ кг.}$$

Витрати холодної води для установки соління сирного зерна в потоці. Розраховуємо витрати води для охолодження розсолу до температури 30°C. Кількість охолоджуючої води, яка проходить крізь ванну тривалої пастеризації визначаємо з рівняння теплового балансу [14]:

$$M_{o.v} \cdot (c'' \cdot t'' - t'_v \cdot c') = M_n (i - c_k \cdot t_k), \text{ кг/год} \quad (6.10)$$

де c', c'' – середня масова теплоємність охолоджуючої води при температурі до і після установки, кДж/кг·град, $c' = c'' = 4,28$ кДж/кг·град;

M_n – кількість відпрацьованого пару який проходить крізь установку, кг/год;

i – ентальпія пари, кДж/кг;

t_k – температура конденсату, °С;

$t''_в, t'_в$ – температура води до і після установки, °С;

C_k – середня масова теплоємність конденсату, кДж/кг·град,
приймаємо $C_k=4,19$ кДж/кг·град.

З теплового балансу визначимо кількість охолоджуючої води:

$$M_{о.в.} = \frac{M_n \cdot (i - C_k \cdot t_k)}{c'' \cdot t''_в - c' \cdot t'_в} = \frac{11,65 \cdot (2705,78 - 4,28 \cdot 99)}{4,28 \cdot (18 - 5)} = 488,2 \text{ кг/год.}$$

Гідравлічний розрахунок

Підбір насоса для подачі сироваточного розчину NaCl. Визначимо сумарний напір, який необхідно створити насосом для подачі розсолу, Н/м²:

$$\sum P = P_в + P_c \quad (6.11)$$

де $P_в$ – напір необхідний для подачі розсілу на виході із насоса, Н/м²;

P_c – напір необхідний для подолання усіх опорів трубопроводу на подачі, Н/м² буде:

$$P_c = \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \left(\sum \lambda_{тр} \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta_{м.о} + 1 \right) \quad (6.12)$$

де v – швидкість руху розсілу м/с, $v=1,2$ м/с;

d – діаметр трубопроводу, м;

l – довжина трубопроводу, м;

$\sum \lambda_{тр}$ – сума коефіцієнтів опору по довжині трубопроводу;

$\sum \zeta_{м.о.}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

ρ – густина сироваточного розчину кг/м³.

Діаметр трубопроводу визначимо по формулі, м [14]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot 1,2}}, \text{ м} \quad (6.12)$$

де V – продуктивність насосу, $V=1,33 \text{ м}^3/\text{год}$.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,33}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1,2}} = 0,02 \text{ м.}$$

Приймаємо $d = 0,025 \text{ м} = 25 \text{ мм}$.

Густина сироваточного розчину $\rho=1025 \text{ кг/м}^3$.

Довжина трубопроводу $l=6,8 \text{ м}$.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів $\sum \zeta_{\text{м.о.}} = 30$;

Для визначення суми коефіцієнтів опору по довжині трубопроводу $\sum \lambda_{\text{тр}}$ знаходимо число Рейнольда, враховуючи, що коефіцієнт в'язкості сироватки $\nu = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (6.13)$$

$$Re = \frac{1,2 \cdot 0,025}{25 \cdot 10^{-6}} = 12240$$

Так як $Re > 2300$, то режим руху сироватки турбулентний, а коефіцієнт $\lambda_{\text{тр}}$ визначимо по формулі Блазіуса [9]:

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (6.14)$$

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{12240}} = 0,03.$$

Вертикальний напір рідини визначимо по формулі, Н/м^2 :

$$5P_{\text{в}} = \rho \cdot g \cdot H \quad (6.15)$$

де H – висота стовпа рідини, $H=4,8 \text{ м}$;

$$\sum P_{\text{в}} = 1025 \cdot 9,8 \cdot 4,9 = 49180 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sum P_c = \frac{1,2^2 \cdot 1025}{2} \cdot \left(0,03 \cdot \frac{6,8}{0,025} + 30 + 1 \right) = 24063 \text{ Н/м}^2.$$

$$\Sigma P = \Sigma P_g + \Sigma P_c, \text{Н/м}^2 \quad (6.16)$$

$$\Sigma P = 48216 + 24063 = 73243,4 \text{ Н/м}^2$$

Визначимо потужність яку споживає насос, Вт:

$$N = \frac{V \cdot P}{\eta \cdot 3600} \quad (6.17)$$

де $\eta = 0,4$, – ККД насосу.

Тоді потужність насосу буде:

$$N = \frac{1,3 \cdot 73243,4}{0,4 \cdot 3600} = 66,1 \text{ Вт} = 0,066 \text{ кВт.}$$

Підбираємо по даним розрахунків насос 36 МЦ-2-10, продуктивністю 2м³/год, потужністю 0,6 кВт.

Кінематичні розрахунки

Розрахунок привода сировиготовлювача

Потужність на валу мішалки з ножами при різанні згустку, постановці і перемішуванні зерна визначаємо по емпіричній формулі, Вт [8]:

$$N_p = 0,09 \cdot z \cdot h \cdot \left[\left(\frac{r_3 - r_6}{2} + \Sigma \delta \right)^4 - \left(\frac{r_3 - r_6}{2} \right)^4 \right] \cdot n^3 \cdot \rho \quad (6.18)$$

де $N_p = 0,09$ – емпіричний коефіцієнт;

z – кількість мішалок, $z = 2$;

h – висота занурення мішалки в продукт, м;

r_3, r_6 – зовнішній і внутрішній радіус траєкторії, яку описує мішалка, м;

n – число обертів мішалки, об/хв.;

ρ – густина продукту, кг/м³;

$\Sigma \delta$ – сума товщин ріжуче-вимішувальних інструментів, м.

$$\sum \delta = \delta_1 \cdot z_1 + \delta_2 \cdot z_2 \quad (6.19)$$

де δ_1 – товщина плоских ножів, м;

z_1 – кількість плоских ножів, шт;

δ_2, z_2 – ширина та кількість бокових роликів планок.

$$\sum \delta = 0,002 \cdot 14 + 0,01 \cdot 1 = 0,038 \text{ м.}$$

Тоді потужність на валу мішалки буде дорівнювати:

$$N_p = 0,09 \cdot 2 \cdot 0,9 \left[\left(\frac{1,375 - 0,5}{2} + 0,038 \right)^4 - \left(\frac{1,375 - 0,5}{2} \right)^4 \right] \cdot 0,2^3 \cdot 1030 = 1172 \text{ Вт.}$$

Електродвигун підбираємо по величині робочої потужності на валу мішалки з урахуванням коефіцієнту запасу потужності, Вт:

$$N_{елд} = \beta \cdot \frac{N_p}{\eta_{елд} \cdot \eta_{пер}} \quad (6.20)$$

де β – коефіцієнт запасу потужності, приймаємо $\beta=1,3$;

$\eta_{елд}$ – коефіцієнт корисної дії електродвигуна, $\eta_{елд} = 0,668$;

$\eta_{пер}$ – ККД передачі, $\eta_{пер} = 0,85$.

$$N_{елд} = 1,3 \cdot \frac{1,172}{0,85 \cdot 0,668} = 2,684 \text{ кВт.}$$

Вибираємо виходячи з потужності і частоти обертання на вихідному валу електродвигун марки АИР 100 S4 згідно з ГОСТ 19523 – 81 $N_{елд}=3\text{кВт}$, $n=1500$ об/хв.

Розрахунок редуктора привода сировиготовлювача. Знайдемо передаточне число привода сировиготовлювача [8]:

$$i = \frac{n_{дв}}{n_{вих}}, \quad (6.21)$$

де $n_{дв}$ – число обертів вихідного валу електродвигуна;

$n_{вих}$ – число обертів вихідного валу черв'ячного редуктора;

$$i = \frac{1500}{20} = 75.$$

Знайдемо число заходів черв'яка по формулі:

$$z_1 = \frac{z_{2min}}{i} \quad (6.22)$$

де z_{2min} – мінімальне число зубів черв'ячного колеса:

$$z_2 = z_1 \cdot i = 1 \cdot 75 = 75$$

Приймаємо матеріал для черв'яка сталь 45 ДСТУ 7809:2015, із загартованими вітками по міцності HRC 48...50 і прошліфованими.

Приймаємо матеріал вінця черв'ячного колеса БрА9ЖЗЛ ГОСТ 493-76 з границею текучості $\sigma_T = 200 \text{ Н/мм}^2$ з допустимим контактним напруженням при швидкості ковзання $v_{ковз} = 2,4 \text{ м/с}$; $[\sigma]_к = 177 \text{ Н/мм}^2$

Для реверсивної передачі з загартованим шліфованим черв'яком приймаємо допустиме напруження згину рівним [8]:

$$[\sigma_1]_H = 1,25 \cdot 0,16 \cdot \sigma_1 \cdot k_{p.n.} \quad (6.23)$$

де $[\sigma_1]_H$ – допустиме напруження згину;

σ_1 – напруження згину, яке виникає в місці контакту, Н/мм^2 ;

$k_{p.n.}$ – коефіцієнт режиму навантаження при розрахунку на згин:

$$k_{p.n.} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{N_{ц}}}, \quad (6.24)$$

де $N_{ц}$ – число циклів навантаження зубів черв'ячного колеса.

Приймаємо $N_{ц} = 10^6$.

Знаходимо коефіцієнт режиму навантаження.

$$k_{p.n.} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{10^6}} = 1.$$

Тоді допустиме напруження згину буде дорівнювати:

$$[\sigma_1]_H = 1,25 \cdot 0,16 \cdot 392 \cdot 1 = 78,4 \text{ Н/мм}^2$$

Допустиме граничне значення для зубців черв'ячного колеса:

$$[\sigma]_K = 2 \cdot [\sigma]_k = 2 \cdot 177 = 354 \text{ Н/мм}^2. \quad (6.25)$$

$$[\sigma]_f = 0,8 \cdot \sigma_1 = 0,8 \cdot 200 = 160 \text{ Н/мм}^2.$$

Приймаємо ККД черв'ячного редуктора при $z_1=1$ $\eta=0,72$.

Враховуючи, що черв'ячна пара працює при змінному навантаженні приймаємо коефіцієнт навантаження рівним $k=1,5$.

Попередньо приймаємо число модулів в діаметрі ділительного циліндру черв'яка $q=20$.

Міжосьова відстань з умови контактної міцності, мм [8]:

$$A \geq \left(\frac{z_2}{q} + 1\right) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{169}{z_2/q \cdot [\sigma]_K}\right)^2 \cdot M_2 \cdot k}; \quad (6.26)$$

$$A \geq \left(\frac{75}{20} + 1\right) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{169}{75/20 \cdot 177}\right)^2 \cdot 4244 \cdot 1,5} = 58,7 \text{ мм};$$

де M_2 – момент на черв'ячному колесі, конструктивно приймаємо із стандартного ряду міжосьову відстань рівною $A=100$ мм.

Знаходимо осьовий модуль зачеплення, мм:

$$m_3 = \frac{2 \cdot A}{q + z_2} \quad (6.27)$$

$$m_3 = \frac{2 \cdot 100}{20 + 75} = 2,05 \text{ мм}.$$

Згідно стандарту приймаємо $m_3=2$ мм.

Уточнюємо значення числа модулів q :

$$q = \frac{2 \cdot A}{m_3} - z_2 \quad (6.28)$$

$$q = \frac{2 \cdot 100}{2} - 75 = 25.$$

Визначаємо основні геометричні розміри черв'яка:

діаметр ділительного циліндру:

$$d_{\partial 1} = q \cdot m_s \quad (6.29)$$

$$d_{\partial 1} = 25 \cdot 2 = 50 \text{ мм.}$$

діаметр циліндру виступів, мм:

$$D_{вист} = m_s \cdot (q + 2) \quad (6.30)$$

$$D_{вист} = 2 \cdot (25 + 2) = 54 \text{ мм.}$$

довжина нарізної частини, не менше, мм:

$$L_n = (11 + 0,06 \cdot z_2) \cdot m_s \quad (6.31)$$

$$L_{n3} = (11 + 0,06 \cdot 75) \cdot 2 = 31 \text{ мм.}$$

Для шліфованого черв'яка отриману довжину збільшуємо на ΔL .

Довжина $\Delta L = 24$ мм, тоді, мм:

$$L = L_n + \Delta L \quad (6.32)$$

$$L = 31 + 24 = 55 \text{ мм.}$$

Знайдемо кут підйому гвинтової лінії по ділительному циліндру:

$$\lambda_{\partial} = \arctg \frac{z_1}{q} \quad (6.33)$$

$$\lambda_{\partial} = \arctg \frac{1}{25} = 2,29 = 2^{\circ}17'2''.$$

Визначаємо основні геометричні розміри вінця черв'ячного колеса, мм:

$$d_{\partial 2} = m_s \cdot z_2 \quad (6.34)$$

$$d_{\partial 2} = 2 \cdot 75 = 150 \text{ мм.}$$

де $d_{\partial 2}$ – діаметр ділильного кола.

Діаметр кола виступів, мм:

$$D_B = m_3 \cdot (z_2 + 2) \quad (6.35)$$

$$D_B = 2 \cdot (75 + 2) = 154 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр вінця, мм:

$$D_H < D_B + 1,25 \cdot m_3 \quad (6.36)$$

$$D_H < 154 + 1,25 \cdot 2 = 156,5 \text{ мм.}$$

Ширина вінця, мм:

$$b < 0,75 \cdot D_{B1} \quad (6.37)$$

$$b < 0,75 \cdot 54 = 40,5 \text{ мм.}$$

Знайдемо швидкість ковзання, м/с:

$$v_{\text{ковз}} = \frac{\pi \cdot n_2 \cdot d_{\partial 1}}{6 \cdot 10^4 \cdot \cos \lambda_{\partial}} \quad (6.38)$$

$$v_{\text{ковз}} = \frac{3,14 \cdot 1500 \cdot 50}{6 \cdot 10^4 \cdot \cos 2^{\circ} 17' 2''} = 3,93 \text{ м/с.}$$

Розрахункове значення коефіцієнту корисної дії черв'ячної пари приймаємо: $n=2$ – число пар підшипників; $\eta_n = 0,995$ – ККД підшипників; $\eta_m = 0,98$ – гідравлічні втрати на мастилі; $\eta_{зп} = 0,97$ ККД зубчастої передачі; кут тертя β при швидкості ковзання $v_{\text{ковз}} = 4$ м/с, $\beta = 1^{\circ} 30'$.

Тоді ККД гвинтової пари буде дорівнювати [8]:

$$\eta_{\text{гв.п}} = \frac{\text{tg} \lambda_{\partial}}{\text{tg}(\lambda_{\partial} + \beta)} \quad (6.39)$$

$$\eta_{\text{гв.п}} = \frac{\text{tg} 2^{\circ} 17' 2''}{\text{tg}(2^{\circ} 17' 2'' + 1^{\circ} 30')} = 0,6037.$$

Отже загальний ККД редуктора буде дорівнювати:

$$\eta' = \eta_n^2 \cdot \eta_m \cdot \eta_{з.п} \cdot \eta_{ГВ.п} \quad (6.40)$$
$$\eta' = 0,995^2 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,6037 = 0,668.$$

Знайдемо момент на валу черв'яка, Н·м:

$$M_1 = \frac{M_2}{i \cdot \eta'} \quad (6.41)$$
$$M_1 = \frac{4244}{75 \cdot 0,668} = 85 \text{ Н·м.}$$

Знайдемо розрахункову потужність на валу черв'яка, кВт:

$$N = \frac{M_1 \cdot n}{9550 \cdot g} \quad (6.42)$$
$$N = \frac{85 \cdot 1500}{9550 \cdot 9,81} = 1,36 \text{ кВт.}$$

Знайдемо розрахункову потужність на валу приводного електродвигуна:

$$N_{\partial} = 2 \cdot N \cdot \eta_n, \text{кВт} \quad (6.43)$$
$$N_{\partial} = 2 \cdot 1,36 \cdot 0,668 = 1,82 \text{ кВт.}$$

Виходячи з раніш підбраного електродвигуна і забезпечення надійної роботи приводу, і врахувавши можливі перевантаження залишаємо раніш підібраний електродвигун марки АІР 100 S4 згідно зі стандартом [8].

$$N_{\text{елд}} = 3 \text{ кВт, } n = 1500 \text{ об/хв.}$$

Знайдемо номінальний момент від двигуна на черв'яку, Н·мм:

$$M'_1 = \frac{9550 \cdot g \cdot N}{n} \quad (6.44)$$
$$M'_1 = \frac{9550 \cdot 9,8 \cdot 3}{1500} = 187,2 \text{ Н·мм.}$$

Номінальний момент від двигуна на вінці черв'ячного колеса:

$$M'_2 = M'_1 \cdot i \cdot \eta_\gamma, \quad (6.45)$$

$$M'_2 = 187,2 \cdot 75 \cdot 0,668 = 9377,1 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Знайдемо контактні напруження в зачепленні, Н/мм²:

$$\sigma_\kappa = \frac{476}{d_{\partial 2}} \cdot \sqrt{\frac{M_2 \cdot k}{d_{\partial 1}}} \quad (6.46)$$

$$\sigma_\kappa = \frac{476}{150} \cdot \sqrt{\frac{9377,1 \cdot 1,5}{50}} = 53,23 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_\kappa = 53,23 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma]_\kappa = 177 \text{ Н/мм}^2.$$

Знаходимо еквівалентне число зубців черв'ячного колеса:

$$z_{\partial 2} = \frac{z_2}{\cos^3 \lambda_\partial} \quad (6.47)$$

$$z_{\partial 2} = \frac{75}{\cos^3 2^\circ 17' 2''} = 75,18.$$

Цьому числу зубців відповідає коефіцієнт форми зуба, який дорівнює $Y_{\partial 2} = 1,36$. Визначимо напруження згину в основі колеса при коефіцієнті зносу $\gamma = 1,5$, Н/мм²:

$$\sigma_{-1}^H = \frac{1,2 \cdot M'_2 \cdot k \cdot \gamma}{Y_{\partial 2} \cdot m_3 \cdot d_{\partial 1} \cdot d_{\partial 2}} \quad (6.48)$$

$$\sigma_{-1}^H = \frac{1,2 \cdot 9377,1 \cdot 1,5 \cdot 1,5}{1,36 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 150} = 1,24 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{-1}^H = 1,24 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_{-1}]_H = 78,7 \text{ Н/мм}^2.$$

Контактні пікові напруження в черв'ячному зачепленні будуть дорівнювати, Н/мм²:

$$\sigma_\kappa \sqrt{\frac{M'_{2\max}}{M'_{2\kappa\max}}} \quad (6.49)$$

$$\sigma \sqrt{2}_{\kappa\max} \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\kappa\max} = 75,3 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma]_{\kappa\text{ пред}} = 354 \text{ Н/мм}^2$$

Знайдемо пікові напруження згину в основі зуба колеса, Н/мм²:

$$\sigma_{-1 \text{ н max}} = \sigma_{-1}^{\text{н}} \cdot \frac{M'_{2 \text{ max}}}{M'_2} \quad (6.50)$$

$$\sigma_{-1 \text{ н max}} \text{ Н/мм}^2, \\ \sigma_{-1 \text{ н max}} = 2,73 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma]_{\text{н max}} = 160 \text{ Н/мм}^2.$$

Зробивши перевірочний розрахунок черв'ячної передачі ми бачимо, що даний редуктор підходить для передачі крутного моменту від електродвигуна до валу мішалки.

Підбір електродвигуна для мішалки тривалої пастеризації. У ванні тривалої пастеризації стоїть лопатева мішалка для інтенсифікації процесу.

Розрахункова потужність, яку споживає лопатева мішалка визначаємо по формулі, Вт [9]:

$$N_M = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5 \quad (6.51)$$

де ρ – густина середовища, яке переміщується, кг/м³;

d_m – діаметр мішалки, м;

n – частота обертання мішалки, об/хв;

K_N – критерій потужності.

Для визначення K_N знаходимо відцентровий критерій Рейнольда, який визначаємо по формулі:

$$Re = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_c}, \quad (6.52)$$

де μ_c – динамічний коефіцієнт в'язкості суміші, Па·с, $\mu_c=2,8$ Па·с.

Тоді:

$$Re = \frac{1027 \cdot 30 \cdot 1.5 \cdot 0,2^2}{3,14 \cdot 2,8} = 235,37$$

Для значення $Re=235,37$, $K_N=0,7$ визначимо потужність лопатевої мішалки:

$$N_M = 0,7 \cdot 1027 \cdot \left(\frac{30 \cdot 1,5}{3,14}\right)^3 \cdot 0,2 = 0,676 \text{ кВт.}$$

$$n_1=750 \text{ об/хв.}, n_2=\frac{30 \cdot 1,5}{3,14} = 14,32 \text{ об/хв.}$$

Визначимо передаточне відношення:

$$U = \frac{n_1}{n_2} \quad (6.53)$$

$$U = \frac{750}{14,32} = 52,4.$$

Для передачі крутного моменту від електродвигуна до мішалки підбрано черв'ячний редуктор 4-80-10-10-8 з одно західним черв'яком.

Електродвигун підбираємо враховуючи втрати в передачі, кВт [9]:

$$N_{ed} = \frac{N}{\eta_n \cdot \eta_p} \quad (6.54)$$

$$N_{ed} = \frac{0,676}{0,99 \cdot 0,75} = 1,39 \text{ кВт.}$$

Підбираємо електродвигун марки АІР 100 L8 $N_{ном}=1,5$ кВт $n=750$ об/хв.

Розрахунок привода відділювача сироватки і розсолу. Розрахунок проводимо зробивши припущення, що відділювачі це машини для змішування харчових продуктів з одночасним відводом сироватки або розсілу.

Визначимо необхідну потужність відділювача для перемішування сирного зерна:

$$N = N_1 + N_2, \text{ кВт} \quad (6.55)$$

де N_1 – потужність, яка необхідна для подолання тертя в підшипниках;

N_2 – потужність, яка необхідна для подолання сили тяжіння продукту, для його підйому в барабані до кута природного ухилу.

Визначимо силу тертя кочення бандажем по роликах:

$$P'_1 = \mu \cdot \frac{P_1}{r_p} \cdot i \quad (6.56)$$

де P_1 – реакція в опорному ролику, Н;

μ – коефіцієнт тертя кочення бандажа об ролики, $\mu = 0,003$;

i – кількість роликів;

r_p – радіус роликів, м

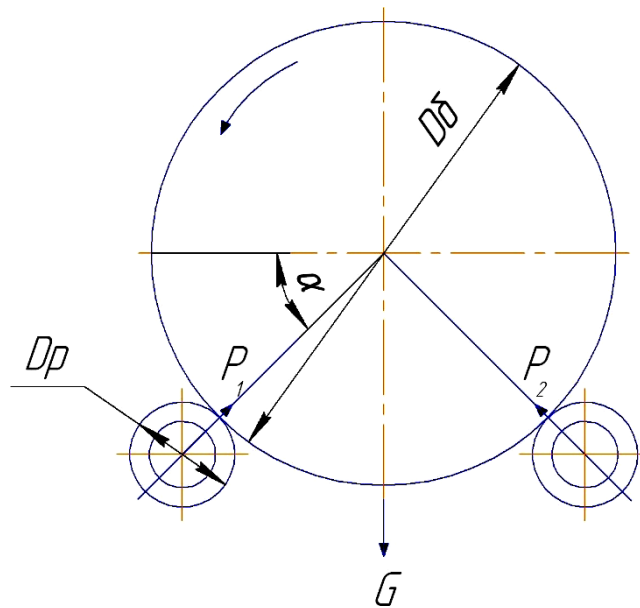


Рис. 6.1. Розрахункова схема для визначення потужності необхідної для подолання опору в підшипниках

Спроектувавши діючі сили на вертикальну вісь отримуємо рівняння:

$$G - i \cdot P_1 \cdot \cos \alpha = 0,$$

з якого знаходимо:

$$P_1 = \frac{G}{i \cdot \cos \alpha}, \quad (6.57)$$

Робота кочення за один оберт барабану складає:

$$T' = P'_1 \cdot \pi \cdot D_b = \mu \cdot \frac{P_1}{r_p} \cdot i \cdot \pi \cdot D_b = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_b}{D_p} \cdot P_1 \cdot \mu \cdot i \quad (6.58)$$

Знайдемо потужність, яка необхідна для подолання тертя кочення бандажу барабана по роликах, кВт:

$$N = \frac{T_1}{2 \cdot \pi \cdot 1000} = \frac{D_6 \cdot P_1 \cdot \mu \cdot i \cdot \omega}{D_p \cdot 1000} \quad (6.58)$$

$$P_1 = \frac{m \cdot g}{i \cdot \cos \alpha} = \frac{(200+50) \cdot 9,8}{2 \cdot 0,86} = 1424 \text{ Н.}$$

$$T_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,6}{0,1} \cdot 1424 \cdot 0,003 \cdot 2 = 322 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$N' = \frac{322 \cdot \pi \cdot 30,4}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 30} = 0,32 \text{ кВт.}$$

Сила тертя ковзання P'' цапф опорних роликів в підшипниках може бути визначена по формулі [8]:

$$P'' = P_1 \cdot f \cdot i \cdot \frac{D_6}{D_p} \quad (6.59)$$

де f – коефіцієнт тертя в підшипниках $f = 0,1$.

$$P'' = 1424 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot \frac{0,6}{0,1} = 1700 \text{ Н}$$

Робота тертя ковзання опорних роликів в підшипниках, Н·м:

$$T'' = P'' \cdot \pi \cdot D_y \quad (6.60)$$

$$T'' = 1700 \cdot 3,14 \cdot 0,06 = 320 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Потужність, яка необхідна для подолання тертя ковзання в цапфах опорних роликів знаходимо по формулі, кВт:

$$N'' = \frac{T'' \cdot n}{60 \cdot 100} \quad (6.61)$$

$$N'' = \frac{320 \cdot 30}{60 \cdot 100} = 1,5 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність, що витрачається на подолання опору тертя кочення, кВт:

$$N = N_1 + N_2 \quad (6.62)$$

$$N = 0,32 + 1,5 = 1,82 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність, яка необхідна для підйому продукту в барабані до кута природного ухилу, кВт:

$$N_2 = \frac{G_{np} \cdot h}{1000 \cdot t} \quad (6.63)$$

де h – висота підйому продукту в барабані до кута природного ухилу, $h=0,25\text{м}$;

t – час підйому продукту на висоту h , $t = 3 \text{ с}$.

$$N_2 = \frac{200 \cdot 9,8 \cdot 0,25}{1000 \cdot 3} = 0,16 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність відділювача буде дорівнювати:

$$N = 1,82 + 0,16 = 1,98 \text{ кВт.}$$

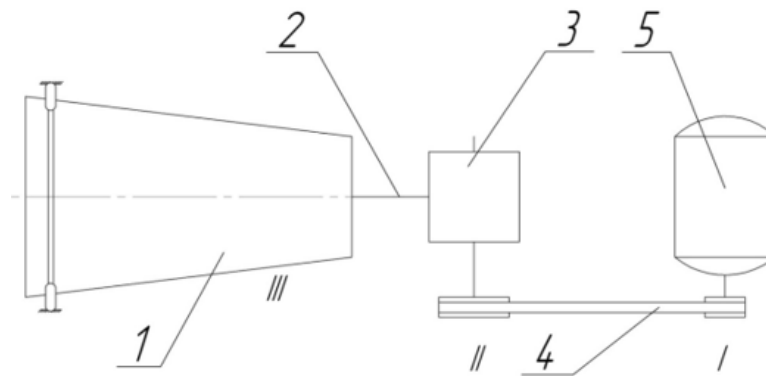


Рис. 6.2. Схема кінематична привода відділювача сироватки і розсолу:

1 – барабан відділювача; 2 – приводний вал; 3 – черв'ячний редуктор;

4 – клинопасова передача; 5 – електродвигун

По технології виділення сироватки частота обертання барабана відділювача $n_{III} = 30,4 \text{ об/хв}$ [11].

Кутова швидкість на валу барабана відділювача, хв^{-1} :

$$\omega_{III} = \frac{\pi \cdot n_{III}}{30} \quad (6.64)$$

$$\omega_{III} = \frac{3,14 \cdot 30}{30} = 3,2 \text{ хв}^{-1}.$$

Потужність на валу барабана відділювача $N_{III}=1,98$ кВт.

Крутний момент на валу барабана відділювача, Н·м:

$$T_{III} = \frac{1000 \cdot N_{III}}{\omega_{III}} \quad (6.65)$$

$$T_{III} = \frac{1000 \cdot 1,98}{3,2} = 618,75 \text{ Н·м.}$$

Частота обертання на валу черв'ячного редуктора, об/хв:

$$n_{II} = n_{III} \cdot 16 \quad (6.66)$$

$$n_{II} = 30,4 \cdot 16 = 480 \text{ об/хв.}$$

Кутова швидкість на валу черв'ячного редуктора, хв^{-1} :

$$\omega_{II} = \frac{\pi \cdot n_{II}}{30} \quad (6.67)$$

$$\omega_{II} = \frac{3,14 \cdot 480}{30} = 50,26 \text{ хв}^{-1}$$

Потужність на валу черв'ячного редуктора, кВт:

$$N_{II} = \frac{N_{III}}{\eta_{n.n} \cdot \eta_{n.p}} \quad (6.68)$$

$$N_{II} = \frac{1,98}{0,99 \cdot 0,65} = 3,07 \text{ кВт.}$$

Крутний момент на валу черв'ячного редуктора, Н·м:

$$T_{III} = \frac{1000 \cdot N_{II}}{\omega_{II}} \quad (6.69)$$

$$T_{III} = \frac{1000 \cdot 3,07}{50,26} = 61,2 \text{ Н·м.}$$

Частота обертання на вхідному валу клинопасової передачі, об/хв.:

$$n_I = n_{II} \cdot u_{к.п} \quad (6.70)$$

$$n_I = 480 \cdot 2 = 1440 \text{ об/хв.}$$

Кутова швидкість на вхідному валу клинопасової передачі, хв⁻¹:

$$\omega_I = \frac{\pi \cdot n_I}{30} \quad (6.71)$$

$$\omega_I = \frac{3,14 \cdot 1440}{30} = 150,8 \text{ хв}^{-1}.$$

Потужність на вхідному валу клинопасової передачі, кВт:

$$N_I = \frac{N_{II}}{\eta_{к.п}} \quad (6.72)$$

$$N_I = \frac{3,07}{0,8} = 3,8 \text{ кВт.}$$

Крутний момент на вхідному валу клинопасової передачі, Н·м:

$$T_I = \frac{1000 \cdot N_I}{\omega_I} \quad (6.73)$$

$$T_I = \frac{1000 \cdot 3,8}{150,8} = 25 \text{ Н·м.}$$

По потужності і частоті обертання на вихідному валу електродвигуна підбираємо електродвигун типу АИР 100 L4 потужністю 4 кВт і частотою обертання вихідного валу =1500 об/хв.

Розрахунок клинопасової передачі. Проведемо розрахунок клинопасової передачі, яка передає момент від електродвигуна до черв'ячного редуктора в приводі гвинтової транспортуючої труби [9].

Вихідні дані: номінальна потужність, що передається $N_{ном}=2,2$ кВт; передаточне відношення передачі $u_{к.п}=2$; частота обертання електродвигуна $n_{ном}=1500$ об/хв.; розташування передачі – вертикальне.

Розрахунок починаємо з попереднього вибору перерізу пасу. Згідно таблиць для заданих умов підходить пас перерізом О.

Технічні дані обраного паса: $l_p = 8,5$ мм, $W = 10$ мм, $T_0 = 6$ мм, площа перерізу $F = 0,47$ см², маса 1 м пасу $m = 0,18$ кг/м. Розрахункова довжина в інтервалі $L_p = 400 \dots 2500$ мм. Внутрішня довжина пасу по меншій основі $\Delta L = L_p - l_{вн} = 25$ мм.

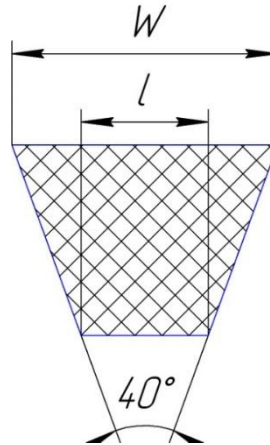


Рис. 6.3. Пас по ISO

Визначення геометричних розмірів клинопасової передачі.

Приймаємо діаметр меншого шківa $d_{p1} = 112$ мм, а більшого розраховуємо за формулою [8]:

$$d_{p2} = u \cdot d_{p1}, \text{ мм} \quad (6.74)$$

$$d_{p2} = 2 \cdot 112 = 224 \text{ мм}$$

Визначаємо міжосьову відстань, мм:

$$a = 0,95 \cdot d_{p2} \quad (6.75)$$

$$a = 224 \cdot 0,95 = 133 \text{ мм}$$

Розрахункова довжина паса, мм:

$$L = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_{p1} + d_{p2}) + \frac{(d_{p2} - d_{p1})^2}{4 \cdot a}, \quad (6.76)$$

$$L = 2 \cdot 133 + \frac{3,14}{2} \cdot (112 + 224) + \frac{(224 - 112)^2}{4 \cdot 133} = 604,9 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартну довжину пасу $L=650$ мм. По стандартній довжині уточнюємо дійсну міжосьову відстань:

$$a = \frac{2 \cdot L - \pi \cdot (d_{p1} + d_{p2}) + \sqrt{[2 \cdot L - \pi \cdot (d_{p1} + d_{p2})]^2 - 8 \cdot (d_{p2} - d_{p1})^2}}{8} \quad (6.77)$$

$$a = \frac{2 \cdot 650 - 3,14 \cdot (112 + 224) + \sqrt{[2 \cdot 650 - 3,14 \cdot (112 + 224)]^2 - 8 \cdot (224 - 112)^2}}{8} = 132,9 \text{ мм.}$$

Мінімальна міжосьова відстань:

$$a_{\min} = a - 0,01 \cdot L \quad (6.78)$$

$$a_{\min} = 133 - 0,01 \cdot 133 = 126,4 \text{ мм.}$$

Кут обхвату на меншому шківі:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{d_{p2} - d_{p1}}{a} \quad (6.79)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{224 - 112}{133} = 148^\circ 40''.$$

Допустима потужність на один пас:

$$[N] = (N_0 \cdot C_\alpha \cdot C_L + \Delta N_n) \cdot C_p \quad (6.80)$$

де ΔN_n – похибка потужності:

$$\Delta N_n = 0,0001 \Delta T_n \cdot n_6 \quad (6.81)$$

$$\Delta N_n = 0,0001 \cdot 1,2 \cdot 1500 = 0,18 \text{ кВт.}$$

C_p – коефіцієнт режиму роботи при вказаній потужності $C_p = 0,73$;

C_α – коефіцієнт кута обхвату $C_\alpha = 0,86$;

C_L – коефіцієнт довжини, $C_L = 0,977$;

$$[N] = (2,2 \cdot 0,86 \cdot 0,977 + 0,18) \cdot 0,73 = 1,4 \text{ кВт.}$$

Розрахункова кількість ременів [8]:

$$z = \frac{N}{[N]} \quad (6.82)$$

$$z = \frac{2,2}{1,4} = 1,57.$$

Коефіцієнт, який враховує нерівномірність навантаження $G_z=0,9$.

Дійсна кількість пасів в передачі:

$$z' = \frac{z}{G_z} \quad (6.83)$$

$$z' = \frac{1,57}{0,9} = 1,74.$$

Приймаємо кількість пасів $z'=2$.

Розміри обода шківів: $l_p=8,5$; $h > 7$; $b=2,5$; $e=12^{+0,3}$; $f=8^{\pm 1}$; $r=0,5$; $h_{\min}=6$.

Зовнішній діаметр більшого шківа, мм:

$$d_{e1} = d_{p1} + 2 \cdot b \quad (6.83)$$

$$d_{e1} = 112 + 2 \cdot 2,5 = 117 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр меншого шківа, мм:

$$d_{e2} = d_{p2} + 2 \cdot b \quad (6.84)$$

$$d_{e2} = d_{p2} + 2 \cdot b = 224 + 2 \cdot 2,5 = 229 \text{ мм.}$$

Ширина обода шківів, мм:

$$M = (z' - 1) \cdot e + 2 \cdot f \quad (6.85)$$

$$M = (2 - 1) \cdot 12 + 2 \cdot 8 = 28 \text{ мм.}$$

7. ПІДБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

У сфері проектування обладнання для харчової галузі критично важливим етапом є кваліфікований підбір матеріалів. Визначальним критерієм при цьому виступає наявність санітарно-гігієнічного допуску до прямого контакту з харчовими середовищами. Стосовно елементів конструкції, які технологічно ізольовані від продукту, застосовуються стандартні загальнотехнічні вимоги машинобудування. Оптимальною вважається така інженерна конструкція, де фізико-механічні характеристики матеріалів збалансовані таким чином, щоб забезпечити необхідну жорсткість, втомну міцність та зносостійкість при мінімізації металоємності та собівартості виробу [7, 8].

Оскільки робочим середовищем у сировиготовлювачі виступає молоко та продукти його коагуляції, особливу увагу слід приділити саме тим вузлам, що перебувають у безпосередній взаємодії з сировиною. До переліку таких відповідальних елементів належать: внутрішній корпус вертикального резервуару, складна поверхня днища, вали приводу, конструктивні елементи ріжучо-вимішувального механізму (лопаті, ножі), вхідні патрубки для компонентів, а також модернізований вузол відбору сироватки та вивантаження зерна [13].

Враховуючи специфіку кінематики обладнання, яке функціонує у діапазоні низьких кутових швидкостей (2...20 об/хв), обраний матеріал повинен гарантувати високу конструкційну жорсткість та опір зношуванню, залишаючись при цьому хімічно інертним. Він не повинен впливати на органолептичні показники молока або вступати з ним у реакцію [9].

Виходячи з вищезазначених умов, для виготовлення деталей, що контактують з продуктом, прийнято рішення використати високолеговану ливарну сталь марки 12X18H9TЛ. Цей сплав регламентується ДСТУ 2176-93 (Виливки з легованої сталі зі спеціальними властивостями) і широко

використовується у харчовому машинобудуванні. Матеріал характеризується стабільною роботою в агресивних середовищах та при високих температурах (до 700°C). Сталь класифікується як жаростійка (до 750°C), жароміцна (до 600°C) та має відмінні антикорозійні властивості [8].

Хімічний склад сплаву 12X18H9ТЛ включає наступні легуючі елементи: хром (Cr) — 17,0...20,0%; нікель (Ni) — 8,0...11,0%; марганець (Mn) — 1,0...2,0%; кремній (Si) — 0,20...1,0%. Вміст домішок суворо обмежений: титан — до 0,60%, мідь — до 0,30%, сірка — не більше 0,03%, вуглець — до 0,12%, фосфор — до 0,035%.

Для елементів несучої системи сировиготовлювача, таких як зовнішня обшивка та опорні стійки, які не контактують із продуктом, головною вимогою є здатність витримувати статичні та динамічні навантаження, забезпечуючи цілісність конструкції. Для цих цілей обрано конструкційну леговану хромисту сталь марки 40Х згідно з ДСТУ 7806:2015. Для досягнення необхідних механічних властивостей деталі з цієї сталі піддають термічній обробці: гартуванню при температурі 860°C (з охолодженням у маслі) та наступному відпуску при 500°C (охолодження у воді або маслі). Хімічний склад сталі 40Х включає: вуглець — близько 0,40%, хром — 0,8...1,1%, марганець — 0,5...0,8%, кремній — 0,17...0,37%. Вміст домішок (нікель, мідь, сірка, фосфор) не перевищує допустимих норм для якісних сталей [8].

8. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Розроблення послідовності складання модернізованого вузла сировиготовлювача. Ключовим елементом модернізації є комбінований пристрій, що поєднує функції відбору сироватки та вивантаження сирного зерна (рис. 8.1). Цей механізм монтується вертикально вздовж центральної осі резервуару апарату. Його конструкція базується на коаксіальній системі, що включає забірну трубу (1) та зливну трубу (2), сполучення між якими регулюється рухомим золотниковим елементом (3). Останній має можливість зворотно-поступального руху у вертикальній площині [8].

Кінематичний зв'язок забірної труби (1) із приводом реалізовано через шток (5), який з'єднаний із зірочкою (4) (прим.: у тексті оригіналу "зірочка" може означати кронштейн або елемент кріплення, позиція 4 в таблиці — кронштейн). Герметичність верхньої частини вузла забезпечується ущільненням (6), встановленим у верхній зоні золотника (3). Нижня частина золотникового елемента (3) функціонально взаємодіє зі зливною трубою (2). У стінках золотника виконано систему комунікаційних отворів, які, залежно від фази роботи, суміщаються з вихідними патрубками: для вивантаження зерна (11) та для відведення сироватки (10). Вертикальне позиціонування штока (5) та зв'язаних елементів здійснюється пневматичним виконавчим механізмом (на схемі умовно не показаний). З'єднання штока (5) із золотником (3) відбувається через нижню кришку (8) та герметизуючу втулку (12).

Фіксація та центрування всього золотникового вузла (3) відносно днища сировиготовлювача (7) забезпечується за допомогою кільця з ущільненням (9), встановленого у нижній частині днища [11].

Повна специфікація деталей та вузлів, що входять до складу модернізованого пристрою, наведена в таблиці 8.1.

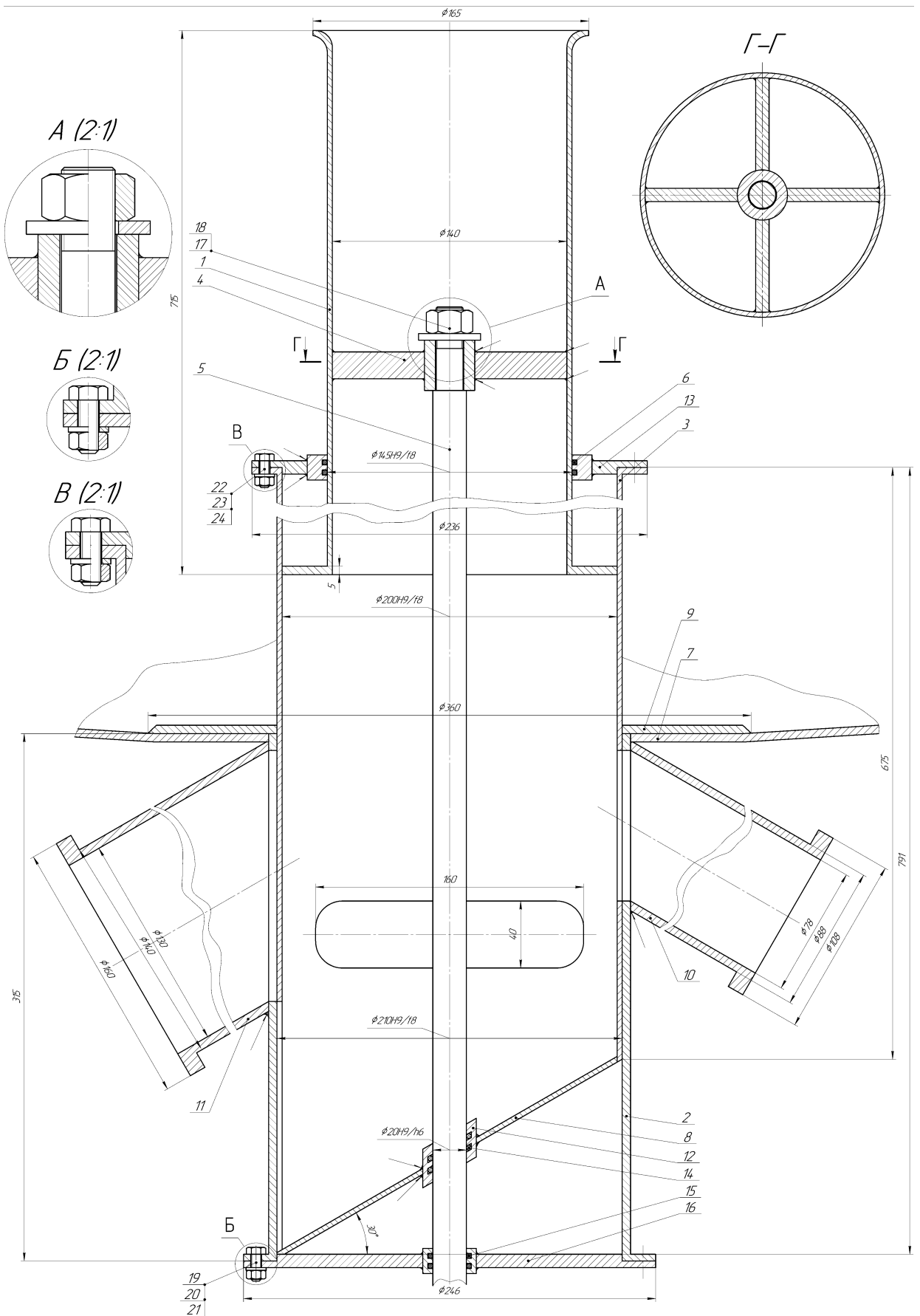


Рис. 8.1. Пристрій для відбору сироватки і вивантаження сирного зерна

Таблиця 8.1

**Специфікація елементів пристрою для відбору сироватки та
вивантаження зерна**

<i>Номер позиції деталі</i>	<i>Назва деталі</i>	<i>Кількість деталей</i>	<i>Номер позиції деталі</i>	<i>Назва деталі</i>	<i>Кількість деталей</i>
1	Заборна труба	1	13	Верхня кришка	1
2	Зливна труба	1	14	Кільце	2
3	Золотниковий елемент	1	15	Кільце	2
4	Кронштейн	1	16	Нижня кришка	1
5	Приводний шток	1	17	Гайка М16	1
6	Кільце	2	18	Шайба 16	1
7	Днище	1	19	Болт М6×16	8
8	Нижня кришка	1	20	Гайка М6	8
9	Кільце із ущільненням	1	21	Шайба 6	8
10	Патрубок зливу сироватки	1	22	Болт М6×16	8
11	Патрубок вивантаження сирного зерна	1	23	Гайка М6	8
12	Герметична втулка	1	24	Шайба 6	8

Аналіз конструкції (рис. 8.1) дозволяє виокремити базові складальні одиниці (вузли) першого порядку: Ск.1 – зливна труба, Ск.2 – заборна труба, Ск.3 – золотниковий елемент, а також окрему стандартну деталь – кільце із ущільненням 9.

Логічна послідовність монтажних операцій відображена на технологічній схемі складання (рис. 8.2).

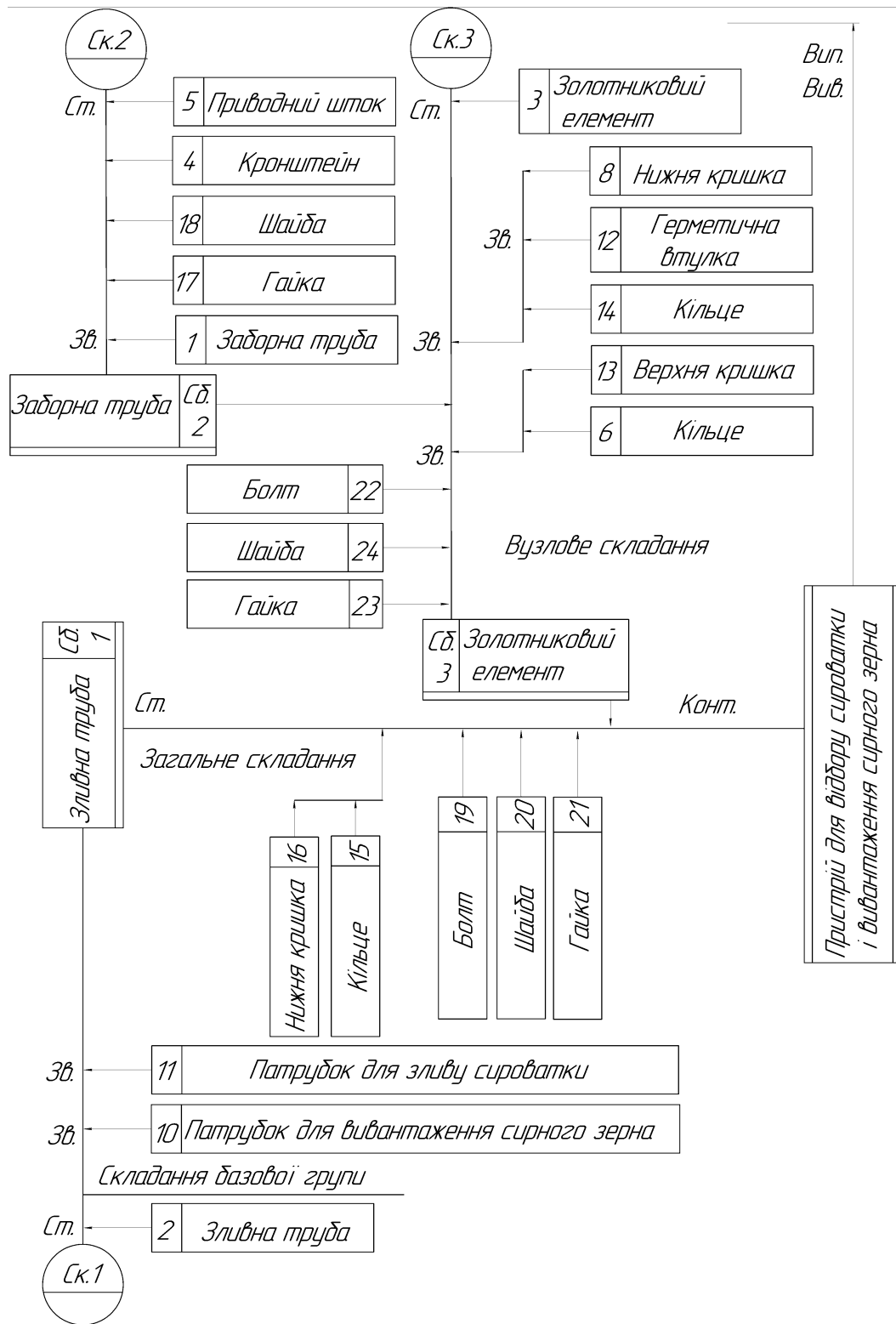


Рис. 8.2. Технологічна схема складання пристрою для відбору сироватки та вивантаження сирного зерна

На схемі центральна горизонтальна вісь відображає процес фінального монтажу вузлів 1-го порядку та стандартних виробів. Вертикальні

відгалуження деталізують процес попереднього складання окремих вузлів. У прямокутних блоках зазначені назви деталей та їх номери згідно зі специфікацією, а подвійні рамки вказують на сформовані складальні одиниці. Для позначення характеру операцій використано абревіатури: **Ст** – стендове складання; **Вив.** – вивірка (юстування); **Зв** – зварювання; **Вип.** – випробування; **Конт.** – технічний контроль.

Технологічний маршрут складання, що містить перелік операцій та зміст переходів, представлено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2

Технологічний маршрут складання вузла

<i>№ операції</i>	<i>№ переходу, зміст переходу</i>
10. Збирання зливного патрубка (Ск. 1)	10.1. Установити корпус та закріпити його на складальному стенді 10.2. Приварити патрубок для вивантаження сирного зерна 10.3. Приварити патрубок для вивантаження сироватки
20. Збирання заборного патрубка (Ск. 2)	20.1. Установити шток і закріпити його на складальному стенді 20.2. Встановити кронштейн на шток 20.3. Встановити шайбу на шток 20.4. Накрутити гайку М16, притримуючи шток від провертання 20.5. Приварити шток із кронштейном до заборного патрубка
30. Збирання золотникового елемента (Ск. 3)	30.1. Установити золотниковий елемент на складальному стенді і закріпити його 30.2. Установити на складальному стенді нижню кришку і закріпити її 30.3. Приварити до нижньої кришки герметичну втулку

	<p>30.4. Вставити у герметичну втулку 2 кільця</p> <p>30.5. Приварити нижню кришку із герметичною втулкою до золотникового елемента</p> <p>30.6. Встановити в золотниковий елемент (Ск. 3) заборний патрубок (Ск. 2) і приводний шток у отвір герметичної втулки</p> <p>30.7. Вставити у верхню кришку 2 кільця</p> <p>30.8. Надіти на золотниковий елемент верхню кришку</p> <p>30.9. Встановити 8 болтів М6×16</p> <p>30.10. Встановити 8 шайб</p> <p>30.11. Притримуючи болт від провертання накрутити гайку М6</p>
40. Збирання пристрою для відбору сироватки і вивантаження сирного зерна	<p>40.1. Установити зливний патрубок на складальному стенді і закріпити його</p> <p>40.2. Вставити у нижню кришку 2 кільця</p> <p>40.3. Встановити нижню кришку на зливний патрубок</p> <p>40.4. Встановити у нижню кришку 8 болтів М6×16</p> <p>40.5. Встановити 8 шайб</p> <p>40.6. Притримуючи болт від провертання накрутити гайку М6</p> <p>40.7. Встановити у зливний патрубок золотниковий елемент</p>
50. Контрольна	50.1. Проконтролювати роботу пристрою для відбору сироватки і вивантаження сирного зерна під тиском
60. Випробувальна	60.1. Випробувати пристрій

9. ПРАВИЛА МОНТАЖУ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ

Монтаж та пусконаладжувальні роботи. Транспортування сировиготовлювача здійснюється у спеціальній тарній упаковці (ящику), укомплектованій технічним паспортом та супровідною документацією згідно з контрактними вимогами замовника та кліматичними особливостями регіону доставки. При прийманні вантажу ящик слід розмістити на рівній основі та провести візуальний огляд на предмет цілісності пакування. У випадку виявлення механічних пошкоджень або неповної комплектації необхідно скласти дефектний акт за участю уповноважених представників для фіксації збитків. До моменту монтажу обладнання повинно зберігатися у критих складських приміщеннях, захищеним від атмосферних опадів [4].

Локація для інсталяції апарату обирається відповідно до технологічної карти виробництва. Монтаж здійснюється на попередньо підготовлений фундамент. Важливою вимогою є забезпечення відстані не менше 600 мм від рівня підлоги до зливного крану для зручності обслуговування.

Перед першим запуском необхідно переконатися у відсутності сторонніх предметів всередині резервуару та протестувати роботу приводу в холостому режимі. Функціонування механізму має бути плавним, без ривків, сторонніх шумів та надмірної вібрації. Температура підшипникових вузлів під час роботи не повинна перевищувати 50°C.

Тиск пари на вході в систему нагрівання (барботер) лімітується показником 0,08 МПа. У процесі експлуатації найбільш вразливими до зносу елементами кінематичної схеми є підшипники, шестерні редуктора та пас варіатора швидкості.

Регламент технічного обслуговування передбачає щотижневий огляд манжетних ущільнень підшипників та перевірку герметичності валів на

предмет витоку мастила. Раз на два тижні контролюють рівень оливи в картері редуктора, за потреби — доливають до норми. Перетяжку болтових з'єднань виконують щоквартально [4].

Експлуатація сировиготовлювача. До роботи з установкою допускається виключно кваліфікований персонал, який пройшов відповідний інструктаж та отримав допуск.

Функціональне призначення сировиготовлювача — забезпечення повного циклу отримання зерна для твердих сичужних сирів. До складу комплексу входять: власне ємність для обробки молока, станція управління (пульт і шафа), сервісний майданчик та насосна група для транспортування продуктів (зерна та сироватки) [6].

Технологічний процес включає прийом дозованих порцій сировини (молока, компонентів, води, розсолу), термічну стабілізацію суміші, а також механічну обробку (різання коагулюму та вимішування). Евакуація готового продукту здійснюється спеціалізованим насосом.

Конструктивно апарат базується на тристінній ванні, де міжстінний простір виконує функцію сорочки для терморегуляції (нагріву/охолодження). Робочим органом виступає універсальна рама з набором ріжучо-вимішувальних елементів. Привідна система забезпечує плавне (безступінчасте) варіювання обертів інструменту та функцію реверсу [6].

Керування позиціонуванням (підйом/опускання) пристрою відбору сироватки реалізовано через пневматичний привід, що має планетарний кінематичний зв'язок з корпусом установки.

Ремонтне обслуговування. Під поняттям «ремонт» розуміється комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на відновлення ресурсу та працездатності обладнання до рівня, що гарантує ефективну та безпечну експлуатацію протягом міжремонтного інтервалу. Ремонтні роботи ініціюються у випадках, коли відновлення функціональності

методами регулювання є неможливим і потрібна заміна або реставрація зношених компонентів [4, 5].

Фундаментом надійної експлуатації парку машин є система планово-попереджувального ремонту (ППР). Це стратегія, що включає сукупність заходів з нагляду, догляду та планових ремонтів, які виконуються за заздалегідь затвердженим графіком для запобігання аварійним відмовам. Ефективна організація ППР безпосередньо впливає на зниження собівартості продукції за рахунок подовження життєвого циклу обладнання.

Структура системи ППР охоплює [4, 5]: профілактичні огляди; міжремонтне обслуговування; поточний (малий) ремонт (П); середній ремонт (С); капітальний ремонт (К).

Відповідальність за впровадження та дотримання графіків ППР покладено на технічного директора (головного інженера) та службу головного механіка підприємства.

Процедура приймання обладнання з ремонту та введення в експлуатацію поділяється на два етапи: попередній та остаточний.

На попередньому етапі комісія (у складі механіка цеху, представника служби головного механіка, представника ремонтної бригади та оператора-наладчика) проводить огляд та випробування установки на холостому ходу.

Остаточне приймання здійснюється тією ж комісією після успішного проходження випробувань під навантаженням у виробничих умовах [4, 5].

Тривалість випробувань під навантаженням регламентується типом ремонту: поточний — 8 годин; середній — 16 годин; капітальний — 24 години.

Планування ремонтних робіт базується на нормативах міжремонтних циклів. У табл. 9.1 наведено структуру циклу та періодичність обслуговування для сировиготовлювача. Оцінка трудомісткості ремонтних робіт здійснюється через категорію складності ремонту (R). У табл. 9.2 наведено категорії складності та норми часу для основного обладнання.

Таблиця 9.1

Нормативи періодичності ремонтів

Група обладнання	Структура ремонтних циклів	Час періоду до найближчого ремонту чи огляду, міс			
		К	С	П	О
Сировиготовлювач	К-О-О-П-О-О-П-О-О- П-О-О-С-О-О-П-О-О- П-О-О-К	24	12	3	1

Таблиця 9.2

Категорії складності та норми часу на ремонт

Обладнання	Категорія ремонтної складності	Норма часу на ремонтні роботи, люд. год.		
		К	С	П
Сировиготовлювач	1,2	42,0	25,2	8,4

Типовий алгоритм ремонтних робіт включає: санітарну обробку та миття, демонтаж та розбирання вузлів, очищення деталей, дефектацію (сортування на придатні, такі що потребують ремонту, та брак), балансування обертових частин (роторів), заміну або відновлення зношених елементів, складання, індивідуальні випробування та здачу в наладку.

Юридичним підтвердженням завершення робіт є Акт прийому-передачі обладнання з ремонту. Цей документ складається комісією під головуванням технічного директора. В акті фіксуються: інвентарний номер, назва об'єкта, оцінка якості робіт, фактичний час простою в ремонті (у порівнянні з плановим). Акт затверджується підписом технічного керівника підприємства. [4, 5, 6]

10. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ

У сучасній молокопереробній галузі спостерігається масштабна інтеграція автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУТП). Поряд із традиційними локальними контурами регулювання, дедалі активніше впроваджуються централізовані системи моніторингу та управління на базі комп'ютерних технологій [19].

Критично важливим етапом у ланцюгу виробництва твердих сирів є процес їх визрівання, який відбувається у спеціалізованих сиросховищах (камерах дозрівання). Технологія вимагає суворого дотримання регламентованих параметрів мікроклімату, зокрема температурного режиму та відносної вологості повітря.

Забезпечення стабільності цих показників реалізується через використання автоматизованих кліматичних установок (кондиціонерів). В рамках даної кваліфікаційної роботи спроектовано локальну систему автоматичного регулювання параметрів повітряного середовища в камері дозрівання продукції [18].

Опис апаратурно-технологічної схеми. Конструкція системи підготовки повітря (кондиціонера) включає: два теплообмінники-калорифери, камеру зрошення (форсуночну камеру) та власне камеру дозрівання сиру, яка обладнана змішувальними секціями №1 та №2.

Функціонування установки передбачає два сезонні сценарії: «літній» та «зимовий». У літній період клапани подачі теплоносія (4к, 7к) та зволоження перекриті, шибер рециркуляції (2к) також закритий. Охолодження повітряної маси досягається адіабатичним методом — шляхом розпилення води у форсуночній камері. Корекція температури (підігрів) здійснюється за рахунок підмішування повітря другої рециркуляції через регульований шибер (8к) [24].

У зимовому режимі активується електродвигун (2д) основного вентилятора (VIII). Система забирає повітря з камери дозрівання (перша рециркуляція) та змішує його зі свіжим атмосферним повітрям у заданій пропорції в змішувальній камері №1 через шибер (2к). Після проходження через фільтр (II) суміш надходить до калорифера першого підігріву, де її температура підвищується за рахунок теплообміну з парою, витрата якої модулюється клапаном (4к). Далі підігрітий потік спрямовується у форсуночну камеру (IV), де відбувається його зволоження дрібнодисперсним розпиленням холодної води. Температура води у контурі підтримується холодильною установкою з розсольним охолодженням. Інтенсивність подачі води на форсунки регулюється клапаном (5к). Насичене вологою повітря проходить крізь краплевловлювач (сепаратор V) для видалення вільної вологи. Потім, проходячи через калорифер другого підігріву або обвідний канал (байпас 6к), повітряна суміш набуває фінальної температури та подається безпосередньо в зону дозрівання продукту.

Позначення: $G_{пов} t_{пов}$ - подача і температура оточуючого середовища;

$G_{пов1} t_{пов1}$ - подача і температура I рекуперації; $G_{г.п} t_{г.п}$ - подача і температура нагрівної пари; $G_{сум.п.1} t_{сум.п.1}$ - подача і температура змішувальної камери №1; $G_{х.в} t_{х.в}$ - подача і температура холодної води;

$G_{п.п} t_{п.п}$ - подача і температура насиченого повітря; $G_{пов2} t_{пов2}$ - подача і температура повітря II рекуперації; $G_{сум.п.2} t_{сум.п.2}$ - подача і температура повітря із змішувальної камери №2; $t_{к.д.}$ - повітря в камері дозрівання твердого сиру.

Опис структурної схеми автоматизації. Згідно з розробленою схемою, керування технологічним процесом на дільниці централізоване і здійснюється з операторського пульта, де розміщено щит управління та організовано робоче місце оператора-технолога. Щит управління укомплектований технічними засобами для моніторингу та корекції технологічних параметрів. Для всебічного контролю над об'єктами

передбачено три рівні управління: автоматичний, дистанційний (ручний) та програмно-логічний [29].

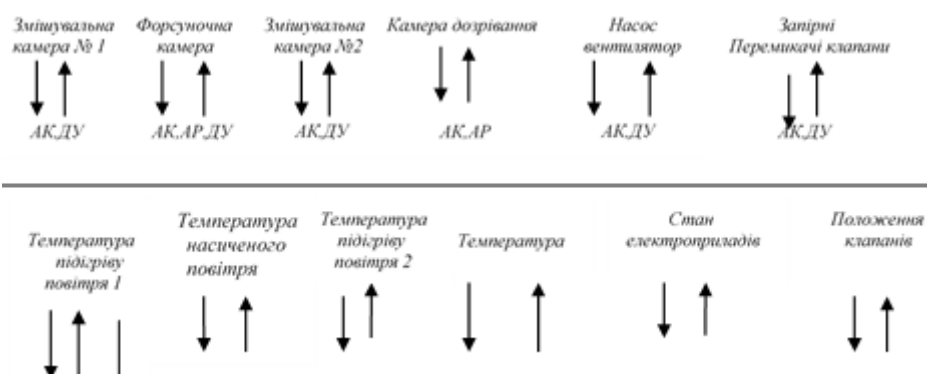


Рис. 10.1 Програмно-логічне управління режимом роботи ділянки

Алгоритм програмно-логічного керування (блок-схема). На основі технічного завдання розроблено алгоритм запуску кліматичної установки. За ініціюючим сигналом «Пуск» від оператора система виконує таку послідовність дій: 1. Відкриття заслінок подачі свіжого повітря (1к) у змішувальну камеру та рециркуляційного повітря (2к) (оператори 2-3). 2. Запуск електродвигунів вентилятора та насоса подачі холодоагента (1д, 2д) (оператор 4). 3. Позиціонування клапанів рециркуляції (2к) та свіжого повітря (1к) у робоче положення (оператори 2-3). 4. Очікування сигналу про досягнення заданої температури точки роси (насиченого повітря) (оператор 5). 5. Активація подачі води на форсунки (клапан 5к) та теплоносія в калорифер першого підігріву (клапан 4к) (оператори 6-7). Коригування положення шибера (3к) для зміни пропорції байпасування калорифера. 6. Отримання зворотного зв'язку про динаміку температури в камері дозрівання (оператор 8). 7. Тонке регулювання температури: зміна положення клапана (6к) для балансування суміші та відкриття подачі пари на другий калорифер (7к) (оператори 9-10). 8. Генерація повідомлення про вихід установки на стаціонарний робочий режим [11].

Обґрунтування комплексу технічних засобів автоматизації. Підбір апаратної бази АСУТП базується на аналізі алгоритмічних потреб, топології системи, умов експлуатації та вимог до надійності. Враховуючи такі фактори, як необхідність уніфікації обладнання, локальний характер управління, низька інерційність процесів, підвищена вологість середовища, потенційна вибухонебезпечність зон, а також потреба у дистанційній передачі даних, було обрано електричну гілку засобів автоматизації. Перевагами такого вибору є висока швидкодія, легкість монтажу ліній зв'язку, простота організації живлення та універсальність у вимірюванні різнорідних фізичних величин.

Функціональна схема автоматизації. Моніторинг температури перед камерою зрошення здійснюється за допомогою манометричного термометра (позиції 4а-4в) з реєстрацією показників на вторинному приладі (4д). Контур регулювання температури після краплевловлювача побудований на базі ПІ-регулятора (4д), який отримує сигнали від термодатчиків (4а-4в, 4б-4г). Керуючий вплив через байпасні панелі (4н, 4м, 4п) та пневмопідсилювачі (4р, 4с, 4т) передається на виконавчі механізми (4ф, 4ц, 4ш), що змінюють положення шиберів (3к) та клапанів (4к, 5к). У зимовий період задіяні всі елементи контуру. Влітку подача пари на перший калорифер (4к) блокується, а шибер (3к) переводиться в положення, що виключає нагрів (працює лише охолодження та зволоження).

Літнє регулювання температури в камері дозрівання забезпечує регулятор (5а). Отримуючи дані від датчиків (4б-4г) та (6а-6в), він через панель (5г) і підсилювач (5д) керує мембранним механізмом (5е), який відкриває або закриває шибер другої рециркуляції (8к).

У зимовому режимі регулятор (6д) аналізує температуру в другій змішувальній камері (датчики 6а-6б, 6б-6г) і через відповідну об'язку (панелі 6л, 6м, механізми 6р, 6с) модулює подачу тепла на другий калорифер [11, 12].

Координацію логіки роботи кондиціонера здійснює мікропроцесорний контролер (8а), з'єднаний інтерфейсними модулями з периферійними датчиками та актуаторами. Завдання на розробку АСУТП та замовну специфікацію наведено в табл. 10.1 та 10.2.

Таблиця 10.1

Технічне завдання на розробку АСУТП

№	Обладнання	К-сть	Параметр	Система АСУТП			Місце контролю
				Вид системи	Характер контролю, регулювання	Додаткові вимоги	
1	Змішувальна камера №1	1	Температура	Контроль Управління Регулювання	Автоматична і ручна дистанційна стабілізація	Світлова, звукова Дія на подачу	Щит -II- По місцю
2	Фільтр	1	Маса	Контроль Регулювання Управління	Покази, запис сигналіз. Стабілізація Автоматичне і ручне блокування	Світлова Дія на потік сиру	Щит -II- -II-
3	Калорифер	1	Температура	Контроль Регулювання Управління	Покази сигналіз.	Світлова, звукова	-II-
4	Форсуночна камера	1	Стан	Контроль Регулювання Управління	Покази стабілізація	Дія на подачу молока	-II- по місцю
5	Бризковід-дільник	1	Тиск	Контроль	Покази	Дія на подачу повітря	-II-
6	Змішувальна камера №2	1	Температура	Контроль Регулювання Управління	Автоматична і ручна дистанційна стабілізація	Світлова, звукова Дія на подачу	Щит -II-
7	Вентилятор	1	Температура	Контроль Регулювання	Покази, запис сигналіз. Стабілізація	Дія на подачу пари	Щит -II- По місцю
8	Насос	1	Маса	Регулювання Управління	Автоматичне і ручне блокування	Відкрити закрити	Щит -II-

Специфікація засобів автоматизації (замовна)

Позиції на схемі автоматизації	Місце відбору сигналу	Значення параметрів	Місце вимірювання	Найменування і технічна характеристика	Тип	Кількість	Виробник
1а	Маса	500кг	Ваги на щиті	Прилад електрометричний. Для завантаження продуктів в ємкостях. Діапазон дозування 0,002...1, клас точності 0,5	1858 УТВ-1	2	м. Київ
2а	витрати		На щиті	Вторинний вимір. прилад, клас точності 1,0	РП-160		Завод вимірювальних приладів м. Таллінн
3а 3б 4а 4б	рівень	0,1-10м	На щиті	Призначений для вимірювання і перетворення в стандартний пневматичний сигнал на підприємствах масломолочної та інших промисловостях	ПИГ-2	2	Завод „Пище промавтоматика” м. Одеса

5а	температура	80°C	На щипі	Термометр призначений для вимірювання температури рідини. Клас точності 1,5, глибина погруження термобалона L=200мм.	ТПП-4	1	„Тепло контроль”
6а	--/--	-50°C +50°C	На щипі	Клас точності 1, глибина погруження термобалона L=200мм.	--/--	1	--/--
7а 7б	рівень	0,2-3м	На щипі	Регулятор- сигналізатор рівня призначений для контролю рівня рідких електропровідних середовищ. Похибка спрацювання ±5мм, длужина вимірювання	Э РСУ-3	1	Завод „Старорус прибор”

11. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Законодавче регулювання охорони праці в Україні. Фундаментом правової бази, що регулює безпеку виробничих процесів, виступає Закон України «Про охорону праці». Його положення деталізуються через розгалужену систему нормативно-правових актів: національних стандартів, галузевих норм, статутів підприємств, інструкцій та положень.

Гарантія безпечних умов діяльності є невід'ємним конституційним правом кожного громадянина. Відповідно до чинного законодавства, охорона праці трактується як комплексний механізм, що об'єднує правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи, метою яких є збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності [15].

Фінансове забезпечення безпеки праці. Матеріальне забезпечення заходів з охорони праці здійснюється за рахунок спеціалізованих фондів. Кошти цих фондів мають цільове призначення і витрачаються виключно на реалізацію затверджених кошторисів для покращення умов праці та підвищення рівня безпеки. Контроль за використанням фінансів покладається на роботодавців, а також на органи державного нагляду (Держпраці). Важливою особливістю є те, що невикористані залишки коштів фонду наприкінці звітного року не підлягають вилученню чи списанню, а акумулюються та переносяться на наступний календарний період для подальшого інвестування в безпеку [15].

Система навчання та інструктажів на підприємстві. Кожен працівник, незалежно від стажу та посади, при прийнятті на роботу та в процесі трудової діяльності проходить обов'язкове навчання та інструктажі з питань охорони праці. Програма включає засвоєння методів надання домедичної допомоги постраждалим, а також алгоритмів дій у разі виникнення аварійних ситуацій [1].

Персонал, задіяний в обслуговуванні обладнання підвищеної небезпеки, підлягає спеціальному навчанню з подальшою атестацією (іспитом). Відповідальність за організацію освітнього процесу несе керівник підприємства, а в окремих підрозділах — їх безпосередні начальники. Загальний контроль здійснює служба охорони праці. Варто зазначити, що посадові особи також зобов'язані проходити регулярну перевірку знань [1].

Класифікація інструктажів включає п'ять типів: Вступний. Первинний (на робочому місці). Повторний (періодичний). Позаплановий. Цільовий.

Головна мета цих заходів — сформувати у персоналу стійкі навички безпечного виконання посадових обов'язків.

Аналіз виробничих ризиків у сироробному цеху. Проект модернізації сировиготовлювача передбачає роботу лінії під наглядом бригади з 6 фахівців. У виробничому середовищі цеху ідентифіковано наступні потенційно шкідливі фактори: акустичне навантаження (шум); вібрація; параметри мікроклімату (тепло- та вологовиділення); небезпека ураження електричним струмом; можливість загазованості або пароутворення [1].

Мікрокліматичні умови та вентиляція. На дільниці пресування сиру система припливно-витяжної вентиляції інтегрована в загальноцехову мережу. Специфіка технології (зокрема, у відділеннях соління та дозрівання) вимагає суворого дотримання кліматичних параметрів. Для цього передбачено встановлення стельових систем кондиціонування, які автоматично підтримують температуру в діапазоні $t_{\text{вн}} = 10...12^{\circ}\text{C}$ та відносну вологість повітря $\varphi = 75...85\%$ [7].

Проектування вентиляційних викидів виконано згідно з ДБН В.2.5-56:2014: дистанція між точками забору свіжого повітря та викидними отворами становить понад 10 метрів.

Для мінімізації аеродинамічного шуму вжито інженерних заходів: обмеження колової швидкості вентиляторів (до 30 м/с); лімітування

швидкості потоку в повітроводах (10-12 м/с); динамічне балансування роторів; використання віброізоляторів та гнучких вставок для розв'язки обладнання з будівельними конструкціями [1].

Захист від шуму та вібрації. Шум є одним із найбільш поширених стрес-факторів, що провокує втому, знижує концентрацію уваги та підвищує ризик виробничого травматизму. Враховуючи зростання потужності сучасного обладнання, боротьба з акустичним забрудненням є пріоритетом. Рівні шуму на підприємстві регламентуються стандартом ДСТУ 12.1.003-2014. Для акустичного комфорту застосовуються спеціальні звукопоглинаючі екрани та конструкції [15].

Профілактика вібраційної хвороби базується на використанні обладнання, вібраційні характеристики якого відповідають нормам ДСТУ 12.1.012:2008 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги». Пріоритет віддається технологіям, що усувають передачу вібрації на оператора.

Освітлення виробничих площ. Система освітлення цеху комбінує природне та штучне джерела (суміщене освітлення), що дозволяє оптимізувати умови зорової роботи у світлий час доби. Розрахунок штучного освітлення виконано відповідно до галузевих норм для молокопереробних підприємств. Керування світловими групами здійснюється локальними вимикачами безпосередньо на робочих місцях [7].

Електробезпека. Надійність електропостачання цеху забезпечується підключенням до мереж 0,4 кВ головного корпусу.

Ключовим заходом захисту від ураження струмом є система захисного заземлення. Заземленню підлягають усі струмопровідні металеві елементи обладнання та освітлювальних установок, які нормально не перебувають під напругою, шляхом приєднання до загального контуру.

Роль нульових захисних провідників (РЕ-провідників) виконують металоконструкції будівлі, кабельні лотки та стаціонарні елементи технологічного обладнання [15].

Пожежна безпека. Будівля виробничого цеху класифікується за II ступенем вогнестійкості. За категорією вибухопожежної небезпеки виробництво віднесено до категорії «Д» (процеси з обробкою негорючих речовин у холодному стані або з незначним виділенням тепла).

Протипожежний захист реалізовано комплексно: використанням негорючих будівельних матеріалів; інженерними системами (сигналізація, пожежогасіння); архітектурно-планувальними рішеннями, що гарантують швидку та безпечну евакуацію персоналу [15].

Заходи щодо покращення умов праці. Для подальшого підвищення рівня безпеки та комфорту праці пропонується:

1. Забезпечити повну наявність нормативної документації та інструкцій на кожному робочому місці.
2. Здійснювати постійний моніторинг технічного стану обладнання на відповідність стандартам безпеки.
3. Гарантувати забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), спецодягом, миючими засобами, а також доступ до санітарно-побутових приміщень та лікувально-профілактичного харчування.

12. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Глобальні аспекти екологічної безпеки. Прогрес людського суспільства нерозривно пов'язаний з інтенсивною експлуатацією природних ресурсів, які забезпечують цивілізацію енергією, сировиною для матеріалів та продуктами харчування. Однак, в останні десятиліття антропогенний тиск на біосферу досяг критичних значень, що призвело до дестабілізації глобальної екосистеми та втрати нею механізмів саморегуляції. У періоди, коли чисельність населення та промислові потужності були помірними, екологічні збитки вважалися допустимою платою за розвиток. Проте в умовах обмеженості ресурсів планети така стратегія стала нежиттєздатною. З демографічним вибухом та індустріалізацією масштаби екологічних загроз набули глобального характеру, поставивши людство перед фактом реальної кризи довкілля [29].

До ключових викликів сучасності відносять деградацію атмосферного повітря, що провокує парниковий ефект та кліматичні зміни, витончення озонового екрану планети, випадання кислотних опадів, а також критичне забруднення гідросфери через скиди неочищених стоків та нераціональне водокористування. Значної шкоди зазнає літосфера внаслідок видобутку копалин, спостерігається виснаження природно-ресурсного потенціалу, скорочення площ лісових масивів, опустелювання земель та втрата біорізноманіття. Додатковими факторами ризику є накопичення токсичних та радіоактивних відходів, що створює генетичні загрози для живих організмів. Сучасна наука вбачає шлях до подолання цих проблем у впровадженні новітніх еко-орієнтованих технологій, що базуються на досягненнях біохімії та суміжних біологічних дисциплін [27].

Охорона атмосферного повітря на виробництві. В умовах функціонування підприємств харчової індустрії існує ризик забруднення повітряного басейну робочої зони. Джерелами емісії шкідливих агентів

можуть бути технологічні процеси, сировинні компоненти, напівфабрикати або виробничі відходи. Забруднювачі надходять у атмосферу у формі аерозолів, газів, пилу або пари, чинячи негативний вплив на здоров'я персоналу. Залежно від концентрації та ступеня токсичності, ці речовини здатні провокувати розвиток професійних патологій або хронічних інтоксикацій [19].

У зв'язку з цим, державні санітарні регламенти жорстко лімітують гранично допустимі концентрації (ГДК) ксенобіотиків у повітрі виробничих приміщень, базуючись на їхніх фізико-хімічних характеристиках та шляхах проникнення в організм. За рівнем токсикологічного впливу на людину шкідливі речовини класифікують на чотири категорії небезпеки: Надзвичайно небезпечні. Високонебезпечні. Помірно небезпечні. Малонебезпечні. Для окремих сполук, присутність яких у повітрі є типовою, встановлюються часові ліміти експозиції. Зокрема, для оксиду вуглецю (чадного газу) діють наступні нормативи середньогодинних концентрацій: 200 мг/м³ — експозиція не більше 15 хвилин; 100 мг/м³ — до 30 хвилин; 50 мг/м³ — при тривалості роботи до 1 години. Повторне виконання робіт в умовах підвищеного вмісту СО дозволяється не раніше, ніж через двогодинну перерву [15].

Охорона водних ресурсів. Проектом передбачено чітке розмежування внутрішніх водовідвідних мереж: господарсько-побутова та виробнича каналізація проектується як роздільні системи з автономними випусками у внутрішньомайданчикову мережу. Категорично забороняється скидання неочищених стоків на рельєф місцевості, у відкриті водойми, а також облаштування поглинаючих колодязів, що можуть забруднити підземні водоносні горизонти [29].

Екологічні аспекти модернізації виробництва сиру. Харчова промисловість є стратегічним сектором економіки України. Її сталий розвиток вимагає постійної оптимізації технологічних процесів,

спрямованої на зниження енергоємності, економії палива та конструкційних матеріалів, що в комплексі сприяє покращенню екологічної ситуації [27].

При модернізації обладнання пріоритет віддається рішенням, які забезпечують раціональне природокористування та мінімізують техногенне навантаження на довкілля. Аналіз проекту показує, що експлуатація модернізованого цеху з виробництва сиру не чинитиме негативного впливу на екологічний баланс регіону. Домінуючим типом викидів у атмосферу від даного технологічного процесу є водяна пара та теплові викиди, які не відносяться до токсичних забруднювачів.

Технологічний цикл побудовано на принципах безвідходного виробництва: 1. Тверді відходи: Відпрацьована тара та пакувальні матеріали сегрегуються, накопичуються у спеціальних контейнерах на відведеному майданчику та вивозяться на полігон або переробку згідно з договором із комунальними службами. 2. Вторинна сировина: Молочна сироватка не зливається в каналізацію, а відвантажується фермерським господарствам для використання як корм або добриво. 3. Водопостачання та водовідведення: Джерелом води є існуюча централізована мережа. Якість води відповідає вимогам ДСТУ 7525:2014 «Вода питна». Виробничі стоки, які утворюються переважно в процесі санітарної обробки обладнання, направляються до зовнішньої каналізаційної мережі. Завдяки сучасним методам очищення, стічні води на виході не містять агресивних домішок.

Додатковим екологічним фактором є організація санітарно-захисної зони підприємства, озелененої деревами та чагарниками з високими фітонцидними властивостями, що покращує якість повітря [7].

Впровадження модернізованого сировиготовлювача дозволяє не лише збільшити продуктивність лінії, але й реалізувати концепцію маловідходного виробництва. Відсутність шкідливих скидів та раціональна утилізація вторинних ресурсів свідчать про позитивний вплив проекту на екологічну ситуацію на підприємстві.

13. МАРКЕТИНГОВЕ ОБІРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Продукція молочної індустрії займає фундаментальне місце у споживчому кошику населення. Однак, аналіз поточної ринкової ситуації в Україні демонструє негативну динаміку скорочення обсягів виробництва та продажу цих товарів. Дана тенденція обумовлена комплексом причин: скороченням поголів'я великої рогатої худоби, дефіцитом якісної сировини, стрімким зростанням собівартості молочної продукції та низькою інвестиційною активністю. Додатковим бар'єром залишається складність інтеграції вітчизняних виробників у європейський економічний простір.

Сироваріння є складним та тривалим технологічним процесом, який залежить не лише від технічного оснащення заводів, а й від макроекономічної ситуації в державі. Глобальна статистика свідчить про ріст галузі: якщо у 2021 році світовий обсяг виробництва сиру склав 23,5 млн тонн, то прогнози до 2030 року обіцяють суттєве збільшення цього показника (до 1 млрд тонн згідно оптимістичних оцінок) [19].

Гегемонами на світовому ринку сиру залишаються США та країни Європейського Союзу. Водночас, Китай демонструє амбіції щодо розширення своєї частки ринку, наразі збільшивши імпорتنі закупівлі на 18% [21].

Українські сировари змушені працювати в умовах жорсткої конкуренції. З одного боку, на ринок тисне потік доступного імпорту з країн ЄС, а з іншого — високі закупівельні ціни на молоко, які диктують виробники цільномолочної продукції, не дають можливості знизити собівартість сировини для сироваріння.

Помітним трендом останніх років стала поява на прилавках сирних продуктів, у рецептурі яких молочний жир замінено рослинними оліями. Така модифікація збагачує продукт поліненасиченими жирними кислотами рослинного походження. Проте, критично важливим є забезпечення повної

прозорості інформації для споживача, щоб він чітко розумів склад продукту, який купує.

Окремим питанням є заміна молочного білка соєвими аналогами. Виробники повинні враховувати, що більшість світових посівів сої є генетично модифікованими. Отже, використання соєвих гідролізатів несе ризик введення у харчовий ланцюг трансгенних білків, які можуть провокувати алергічні реакції та інші проблеми зі здоров'ям [6].

Попит на тверді сири та сирні продукти в Україні задовольняється як за рахунок внутрішнього виробництва, так і завдяки імпорту, що підтверджується статистикою [19].

Ринок насичений продукцією значної кількості гравців. Серед лідерів вітчизняної галузі варто виділити групу компаній «ТЕРРА ФУД» (бренди «Ферма», «Золотий резерв», «Тульчинка», «Вапнярка», «Лауреат», «Сорочинський»); компанію «Альміра» (ТМ «Гадячсир», «Слов'янські сири», «Любас», «Добрий Ян»); ПАТ «Дубномолоко» (ТМ «КОМО»); холдинг «Молочний Альянс» (ТМ «Пирятин», «Славія»); групу Milkiland (ТМ «Добряна», Latter) та компанію «Клуб сиру» [19].

Аналіз науково-технічних джерел та результати порівняльних випробувань різноманітних конструкцій свідчать, що вертикальні сировиготовлювачі є найбільш ефективним рішенням. Саме ці дані стали базою для обґрунтування вибору напрямку модернізації у даній магістерській роботі [11].

Дослідження підтвердили, що ключовим показником ефективності нової конструкції є зростання продуктивності, яке досягається шляхом мінімізації тривалості технологічного циклу.

Вивчення впливу геометрії та кінематики робочих органів на процес показує, що двовальні вертикальні апарати гарантують найбільш делікатну обробку згустку, зберігаючи його структуру [22].

Впровадження модернізованого сировиготовлювача забезпечує економічний ефект за рахунок кількох факторів: зменшення питомих витрат енергії та трудових ресурсів; підвищення виходу готового продукту завдяки максимальному вловлюванню білка; зростання товарного випуску через інтенсифікацію виробництва; а також мінімізацію втрат сировини у вигляді «сирного пилу» на етапах різання та вимішування зерна [19].

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення ефективності виробництва твердих сирів шляхом удосконалення конструкції та технологічних параметрів вертикального сировиготовлювача марки Я5-ОСЖ. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, а також інженерних розробок, зроблено наступні висновки:

1. Проведений аналіз сучасного стану обладнання для сироваріння показав, що вертикальні апарати закритого типу є найбільш перспективними завдяки раціональному використанню виробничої площі та можливості повної автоматизації. Однак виявлено недоліки існуючих конструкцій, зокрема нерівномірність обробки згустку та складність санітарної обробки вузлів відбору сироватки, що обґрунтувало необхідність модернізації.

2. Досліджено кінематичні та енергетичні характеристики процесу вимішування. Встановлено аналітичні залежності між геометрією робочого органу та споживаною потужністю. Доведено, що використання хвилеподібної форми ножів ліквідує «мертві зони» та інтенсифікує масообмін.

3. Розроблено інноваційну конструкцію комбінованого пристрою для відбору сироватки та вивантаження зерна, інтегрованого у центральну частину днища. Ключовою особливістю є коаксіальне розміщення забірної та зливної труб, комутація яких здійснюється за допомогою рухомого золотникового клапана. Це дозволило об'єднати дві технологічні операції в одному механізмі зі спільним приводом.

4. Запропоноване рішення забезпечує інтенсивне гравітаційне відведення сироватки без необхідності зупинки мішалок, що виключає небажане осідання та злежування зерна. Відсутність необхідності

повторного дроблення пласта мінімізує утворення «сирного пилу», збільшуючи вихід готової продукції та покращуючи її якісні показники. Конструкція забезпечує повне, беззалишкове спорожнення резервуару.

5. Обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів: для деталей, що контактують з продуктом, обрано корозійностійку сталь 12Х18Н9ТЛ, а для силових елементів — сталь 40Х. Розроблено детальний технологічний маршрут складання модернізованого вузла та регламент технічного обслуговування, що гарантує надійність експлуатації.

6. Розроблено систему автоматизованого керування мікрокліматом у камері дозрівання сиру. Впровадження контуру регулювання температури та вологості з використанням мікропроцесорного контролера дозволяє стабілізувати процес дозрівання незалежно від зовнішніх погодних умов.

7. Проект відповідає вимогам чинного законодавства з охорони праці та промислової санітарії. Впровадження модернізованого обладнання не створює негативного впливу на довкілля. Раціональна система збору сироватки та миття обладнання зменшує навантаження на очисні споруди.

8. Економічний ефект досягається за рахунок: зменшення втрат сировини, зниження енергоємності процесу (відмова від вакуумних насосів для сироватки), скорочення витрат води та миючих засобів для СІР-мийки, а також підвищення загальної продуктивності лінії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підруч. для студентів ВНЗ / Мирончук В.Г., Гулий І.С., Пушанко М.М. та ін. Вінниця: Нова книга, 2007. 648с.
2. Методичні рекомендації до виконання випускової кваліфікаційної роботи [Електронний ресурс] [Текст]: на здобуття освіт. ступ. "Магістр" за спец. 133 "Галузеве машинобудування" освіт.-проф. програми "Інжиніринг харчових виробництв" ден. та заоч. форми навч. / уклад.: В.Г. Мирончук, М.В. Якимчук, О.М. Гавва, Д.М. Люлька, О.М. Чепелюк; Нац. ун-т харч. технол. Київ: НУХТ, 2022. 51 с.
3. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навч. посіб. / Мирончук В.Г., Орлов Л.О., Пушанко М.М. та ін. Вінниця: Нова книга, 2004. 288с.
4. Монтаж і технічний сервіс обладнання: підручник [Текст] [Електронний ресурс] / В.Г. Мирончук, М.В. Якимчук, Д.М. Люлька, С.О. Володін; Нац. ун-т харч. технол. Київ: НУХТ, 2024. 267 с.
5. Монтаж та технічний сервіс обладнання. Практикум: навч. посібник [Текст] [Електронний ресурс] / В.Г. Мирончук, Д.М. Люлька, О.А. Єщенко, О.І. Свідерська; Міністерство освіти і науки України, Національний університет харчових технологій. Київ: НУХТ, 2017. 162 с.
6. Заплетніков, І.М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв: навч. посіб. / І.М. Заплетніков, В.Г. Мирончук, В.М. Кудрявцев. К.: «Кафедра», «Центр учбової літератури», 2012. 344 с.
7. О.О. Чепелюк, О.А. Єщенко, Ю.Ю. Доломакін. Гігієнічні вимоги до проектування обладнання харчових виробництв: підруч. К.: НУХТ, 2017. 311 с.

8. Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підруч. для студентів ВНЗ / К.: НУХТ, 2010. 547 с.

9. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва: навч. посібник / П.С. Берник, З.А. Стоцько, І.П. Паламарчук, В.В. Яськов. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2004. 336 с.

10. А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко, В.А. Піддубний. Інтенсифікація масообмінних процесів в харчових і мікробіологічних технологіях / Київ, "Люксар", 2008. 443 с.

11. Соколенко, А.І. Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів в харчових технологіях / А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, О.Ю. Шевченко, В.А. Піддубний, В.О. Сукманов. К.: Фенікс, 2011. 536 с.

12. І.П. Паламарчук, П.С. Берник, З.А. Стоцько, В.В. Яськов. Теплообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва: навчальний посібник / Львів: Бескид Біт, 2006. 368 с.

13. В.В. Рвачов Технологічне обладнання харчових виробництв. Механічне обладнання: навчальний посібник для студентів механічних фахів / Одеса: Астропринт, 2001. 320 с.

14. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, Л.Л. Харчові технології у прикладах і задачах: підручник / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, С.І. БУХКАЛО, П.О. КАПУСТЕНКО, О.П. АРСЕНЬЄВА, Є.І. ОРЛОВА. К.: ЦУЛ, 2008. 576 с.

15. Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги: ДСТУ 4161-2003. [Чинний від 2003-07-01.]. К.: PELTA.ORG, 2003. 13 с. (Національний стандарт України).

16. Загальні технології харчових виробництв: підручник / А.І. Українець, М.М. Калакура, Л.Ф. Романенко. К.: Університет "Україна", 2010. 814 с.

17. Машкін М.І., Париш Н. М. Технологія молока і молочних продуктів: Навчальне видання. К.: Вища освіта, 2006. 351 с.
18. Савченко, О.М. Моделювання процесів перемішування у вертикальних апаратах. *Вісник ХНТУ*. 2018. № 3. С. 110-115.
19. Коваленко, І.В. Сучасні тенденції розвитку сироваріння в Україні. *Товарознавство та інновації*. 2021. № 1. С. 55-62.
20. Міщук, Є.О. Гідродинамічні характеристики сирних ванн. *Наукові праці ОНАХТ*. 2020. Том 84, № 1. С. 67-73.
21. Поліщук, В.Ю. Техніко-економічне обґрунтування модернізації молочного обладнання. *Економіка харчової промисловості*. 2021. №2. С. 40-46.
22. Кравченко О.О. Дослідження процесу розрізання згустку в сировиготовлювачах. *Праці ТДАТУ*. 2020. Вип. 20. С. 55-61.
23. Fox P.F., Guinee T.P., Cogan T.M., McSweeney P. L. H. *Fundamentals of Cheese Science*. 2nd ed. New York: Springer, 2017. 800 p.
24. Fitzpatrick, J.J. Engineering aspects of milk processing. *Advanced Dairy Chemistry*. 2016. Vol. 1B. P. 120-145.
25. Chen J. Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation of stirring in cheese vats. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. Vol. 205. Art. 107589.
26. Mistry, V.V. Manufacture of Gouda and Cheddar cheese. *Practical Food Technologies*. 2015. P. 200-225.
27. Schulz, D. Hygienic design of food machinery. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2016. Vol. 14. P. 45-52.
28. Tetra Pak. *Dairy Processing Handbook: Online Edition*. 2023. URL: <https://dairyprocessinghandbook.com>.
29. Smithers G. W. Whey processing and sustainability. *International Journal of Dairy Technology*. 2021. Vol. 74. P. 30-45.