

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Блаженко С.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ Мирончук В.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Кваліфікаційна робота**  
**на здобуття освітнього ступеня магістра**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
освітньо-професійної програми  
Інжиніринг харчових виробництв

на тему:

**«Удосконалення конструкції вивантажувального механізму сирного згустку  
сепаратора ОСЯ на основі комп'ютерного моделювання процесу  
ущільнення»**

Виконав: здобувач 2 курсу, групи

\_\_\_\_\_ Якубова Ірина Костянтинівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник: Якобчук Роман Леонідович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень із праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2021р.

# 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. Мирончук В.Г.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

Якубової Ірини Костянтинівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення конструкції вивантажувального механізму сирного згустку сепаратора ОСЯ на основі комп'ютерного моделювання процесу ущільнення

керівник проекту (роботи) Якобчук Роман Леонідович доц., кандидат тех. наук  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 09 » листопада 2020 р. № 935-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 10.02.2021р.

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): Анотація; Зміст; Вступ; Аналітичний огляд стану питання; Методика проведення досліджень; Дослідна частина та узагальнення результатів; Обґрунтування модернізації; Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування; Розрахункова частина; Підбір конструкційних матеріалів; Технологія машинобудування; Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання; Автоматичний контроль та 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 – 1 аркуш; Деталі та вузли обладнання – 1 аркуш; Схема автоматизації – 1 аркуш; Технологічна карта збирання вузла – 1 аркуш, Наукова частина – 6 аркушів.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 14.09.2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	19.09.2020	
2	<i>Аналітичний огляд стану питання</i>	02.10.2020	
3	<i>Методика проведення досліджень</i>	16.10.2020	
4	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	23.11.2020	
5	<i>Обґрунтування модернізації. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування</i>	29.11.2020	
6	<i>Розрахункова частина</i>	07.12.2020	
7	<i>Підбір конструкційних матеріалів</i>	11.12.2020	
8	<i>Технологія машинобудування</i>	18.12.2020	
9	<i>Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання</i>	21.12.2020	
10	<i>Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування</i>	26.12.2020	
11	<i>Заходи по охороні праці</i>	03.01.2021	
12	<i>Охорона довкілля</i>	08.01.2021	
13	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	13.01.2021	
14	<i>Висновки</i>	20.01.2021	
	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	05.02.2021	
	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	10.02.2021	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Якубова І.К.  
(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Якобчук Р.Л.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Магістерська робота на тему:** «Удосконалення конструкції вивантажувального механізму сирного згустку сепаратора ОСЯ на основі комп'ютерного моделювання процесу ущільнення».

**Актуальність теми.** Процес сепарування суспензій в молочній промисловості має надзвичайно важливе значення, адже від ефективності їх розділення чи очищення значно залежить якість готової продукції. На теперішній час розроблено значну кількість сепараторів, однак вони мають певні недоліки в своїй конструкції. Тому, дослідження з метою усунення цих недоліків, та які направлені на підвищення ефективності процесу сепарування є актуальними.

**Мета дослідження.** Удосконалення конструкції вивантажувального механізму сирного згустку сепаратора ОСЯ.

**Об'єктом дослідження** є процес сепарування ферментованого молока в барабані сепаратора. На першому етапі передбачається проведення дослідження процесу розділення ферментованого молока на сироватку та сирний згусток в міжтарілковому просторі, а на другому – процес ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора.

**Предметом дослідження** є барабан сепаратора ОСЯ.

**Магістерська робота** складається з 13 розділів, основний зміст якої викладено на сторінках формату А-4. Графічна частина складається з 11 аркушів формату А-1.

**Ключові слова:** барабан, механізм вивантаження, сепаратор, сепарування, сирний згусток, ущільнення.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якубчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубцова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Анотація</b>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.						

## ABSTRACT

**Master's work on the topic:** «Improving the design of the unloading mechanism of the cheese clot of the OSYA separator based on computer simulation of the compaction process».

**Relevance of the topic.** The process of separating suspensions in the dairy industry is extremely important, because the quality of the finished product significantly depends on the efficiency of their separation or purification. Currently, a significant number of separators have been developed, however, they have certain drawbacks in their design. Therefore, studies aimed at eliminating these shortcomings and which are aimed at increasing the efficiency of the separation process are relevant.

**Purpose of the study.** Improving the design of the unloading mechanism of the cheese clot of the OSYA separator.

**The object of research is** the process of separating fermented milk in a separator drum. At the first stage, it is planned to study the process of separating fermented milk into whey and cheese curd in the inter-plate space, and at the second, the process of compaction of the cheese curd in the peripheral volume of the separator drum.

**The subject of research is** the OSYA separator drum.

The master's work consists of 13 sections, the main content of which is set out on pages of A-4 format. The graphic part consists of 11 sheets of A-1 format.

**Key words:** drum, unloading mechanism, separator, separations, cheese curd, compaction.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Abstract</b>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.						

# ЗМІСТ

стор.

Вступ

1. Аналітичний огляд стану питання
2. Методика проведення досліджень
3. Дослідна частина та узагальнення результатів
4. Обґрунтування модернізації
5. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування
6. Розрахункова частина
7. Підбір конструкційних матеріалів
8. Технологія машинобудування
9. Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання
10. Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування
11. Заходи з охорони праці
12. Охорона довкілля
13. Маркетингове обґрунтування проекту

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якобчук І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Зміст</b>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.					

## ВСТУП

Молочна промисловість – одна з провідних галузей харчової промисловості, яка забезпечує населення продуктами харчування. Перспективи її розвитку та функціонування є надзвичайно актуальними, оскільки молокопродукти є високо-цінними і незамінними продуктами харчування [1-3].

Одним з основних типів обладнання, що використовується на молокозаводах є сепаратор, який призначений для розділення суспензії на фракції під дією відцентрової сили.

В технологічних процесах молочної промисловості сепаратори використовуються для розділення і очищення молока та молокопродуктів, для отримання ущільнених до необхідної вологості напівпродуктів, зокрема сирного згустку.

Для цих цілей розроблена значна кількість їх конструкцій. За конструктивними особливостями і ступенем контакту молока та молокопродуктів з повітрям сепаратори є: відкриті, напівзакриті та закриті. За способом видалення з барабана сторонніх домішок і осаду (ущільненого продукту): з ручним вивантаженням осаду після зупинки і розбирання сепаратора; з відцентровим періодичним вивантаженням осаду при безперервній роботі сепаратора; з відцентровим безперервним вивантаженням важкої фракції через сопла.

Найбільшого використання на молокопереробних підприємствах набули закриті сепаратори з відцентровим пульсуючим або безперервним вивантаженням домішок чи ущільненого продукту. Це пояснюється значним підвищенням продуктивності сепаратора, продуктивності праці обслуговуючого персоналу, можливістю застосування в потокових лініях виробництва.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вступ</b>					
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.						

Розробка високоефективних сепараторів неможлива без детального дослідження течії суспензії в міжтарілковому просторі та процесу ущільнення і вивантаження важкої фази з периферійного об'єму барабана сепаратора. З урахуванням цього, теоретичний та експериментальний аналізи особливостей течії суспензії в даних робочих зонах являються найбільш важливим і актуальним в проблемі розділення рідинних систем.

З урахуванням того, що стандарти якості до харчової продукції молочної промисловості вимагають високого рівня розділення суспензій, є необхідність розробки нових або удосконалення старих конструкцій сепараторів. Оскільки виробництво нового обладнання вимагає значних капіталовкладень, то в даній магістерській роботі передбачається проведення модернізації існуючого сепаратора.

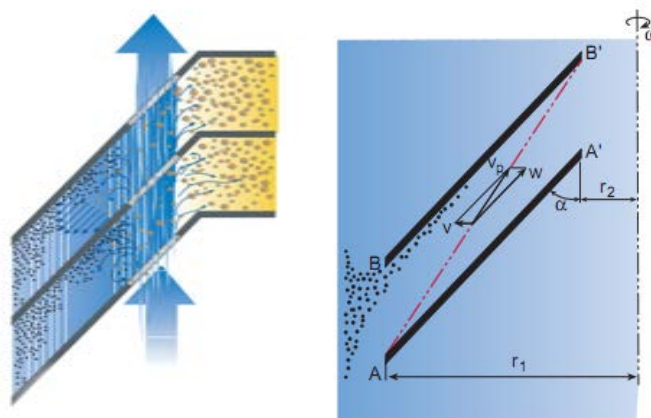
#### **Апробація результатів:**

Якубова І.К., Якобчук Р.Л. Удосконалення механізму видалення згущеної фази з барабана саморозвантажувального сепаратора. *Priority directions of science and technology development. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference.* Київ, Україна, 20-22 грудня 2020 р. С. 539-542.

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

Сепаратори в молочній промисловості призначені для розділення молока або інших продуктів молочного виробництва на фракції під дією відцентрової сили.

Принцип дії сепаратора полягає в наступному: рідина (суспензія) подається в пакет тарілок, що розташований в барабані, через центральну трубу та тарілотримач з отворами (рис.1.1). Рухаючись вгору, вона розподіляється тонким шаром в міжтарілковому просторі. Під дією відцентрової сили фракції рідини з різною швидкістю рухаються до периферії барабана. Важчі (з більшою густиною) рухаються з більшою швидкістю, притискаються до «внутрішньої» поверхні верхньої тарілки барабана і виходять за її межі. Легші (з меншою густиною) рухаються з меншою швидкістю і осаджуються на «зовнішній» поверхні нижньої тарілки та рухаються до центра барабана. Таким чином між парою тарілок утворюються два протилежно спрямовані потоки. Легка фракція піднімається вгору і виходять крізь спеціальний отвір в барабана. Важка фракція відкидається до стінок барабану де ущільнюється та видаляється з нього.



**Рис. 1.1. Схема перебігу процесу сепарування**

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Аналітичний огляд стану питання</b>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/12</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.					

Сепаратори, що застосовуються в даний час в молочній промисловості, класифікуються за виробничим призначенням, за конструктивними особливостями і ступеня контакту молока з повітрям, за способом видалення з барабана сторонніх домішок і осаду (ущільненого продукту).

За виробничим призначенням розрізняють сепаратори:

- для сепарування молока (концентратори) і отримання вершків жирністю 10 ... 45% і при повторній концентрації отримання високо-жирних вершків жирністю до 85%;

- для очищення молока від сторонніх домішок;
- для нормалізації молока за жирністю;
- для виділення мікрофлори;
- для сепарування, нормалізації або очищення молока (універсальні);
- для отримання сиру з коагульованого молока;
- для освітлення сироватки при отриманні молочного цукру;
- для знежирення сироватки і виділення білкової пилу.

За конструктивними особливостями і ступенем контакту молока з повітрям сепаратори діляться на наступні:

- відкриті - з відкритою подачею молока і відкритим виходом вершків і знежиреного молока (вершки і знежирене молоко безпосередньо стикаються з повітрям);

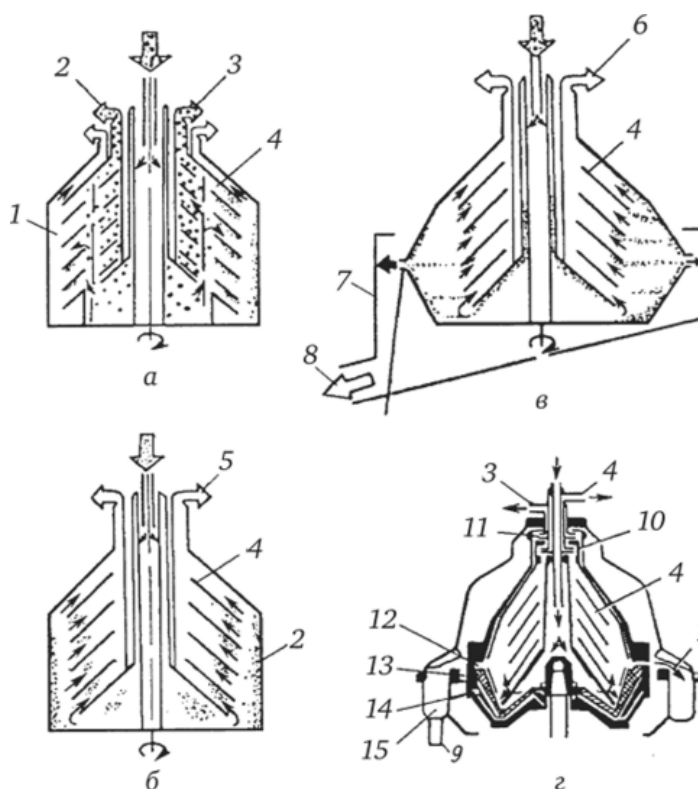
- напівзакриті, в яких подача молока може бути відкритою або закритою, але без натиску, а вихід продукту закритий, під тиском, створюваним сепаратором; в процесі сепарування продукт всередині барабана не ізольований від контакту з повітрям;

- закриті (герметичні), в яких подача молока, вихід продукту і процес обробки молока всередині барабана ізольований від доступу повітря; молоко в сепаратори подається під тиском, створюваним насосом, продукт виходить під тиском, створюваним сепаратором або насосом по закритих трубопроводах.

За способом видалення з барабана сторонніх домішок і осаду сепаратори бувають:

- з ручним вивантаженням осаду після зупинки і розбирання сепаратора;
- з відцентрової періодичної вивантаженням осаду при безперервній роботі сепаратора;
- з відцентрової безперервної вивантаженням важкої фракції через сопла.

Принципові схеми барабанів сепараторів зображено на рис. 1.2.



**Рис. 1.2. Принципові схеми барабанів сепараторів**

а - барабан сепаратора-роздільника; б - барабан сепаратора-освітлювача; в - барабан соплового сепаратора; г - барабан сепаратора з періодичної відцентрової розвантаженням осаду

1 - осад; 2 - важка фракція; 3 - легка фракція; 4 - тарілчасті вставки; 5 - освітлена рідина; 6 - сирна сироватка; 7 - приймач сиру; 8 - сирний згусток; 9 - сопло; 10 - напірний диск вершків; 11 - напірний диск знежиреного молока; 12 - розвантажувальні вікна; 13 - рухоме днище; 14 - клапан керування рухом поршня; 15 - приймач осаду

У сепараторах з ручним вивантаженням осаду сторонні домішки залишаються всередині барабана. Після їх накопичення сепаратор зупиняють, домішки видаляють. Для забезпечення безперервного очищення і сепарації продукту встановлюють два таких сепаратора, що працюють по черзі.

Сепаратори з безперервним вивантаженням важкої фракції (саморозвантажувальні) відносяться до найбільш ефективних типів сепараторів, що застосовуються для різних цілей [3,4]. Такі сепаратори поділяються на три основні групи: з безперервним, пульсуючим і безперервно-циклічним відведенням важкої фракції (осаду).

У сепараторах з безперервним відведенням важкої фракції, остання видаляється разом з частиною рідкої фази через сопла. Залежно від конструктивних особливостей відповідних вузлів важка фракція відводиться або вільно або під тиском. У першому випадку важка фракція під дією відцентрової сили викидається з барабана через сопла, надходить в концентрично розташовану ємність і далі віддаляється з сепаратора самопливом. У другому випадку концентрат з сопел надходить в порожнину ротора, в якій встановлено нерухомо обмежувальний клапан, який відводить важку фракцію з сепаратора під тиском.

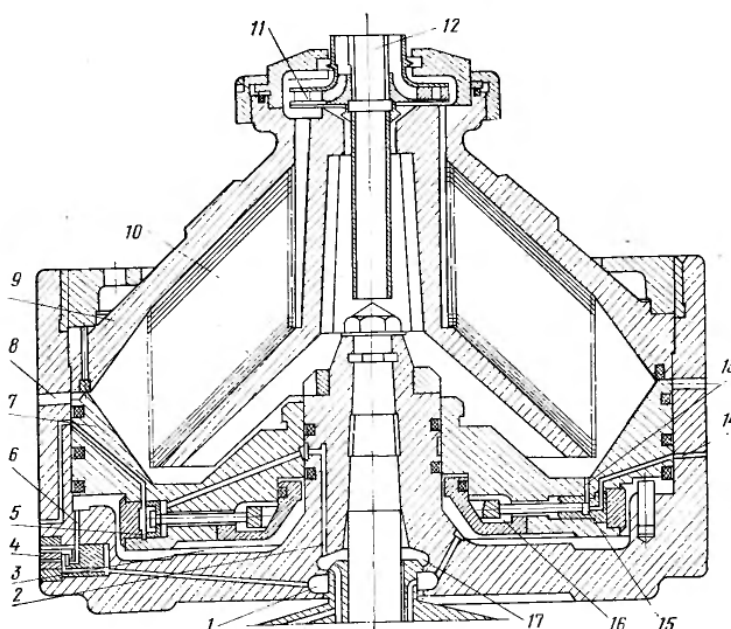
Саморозвантажувальні сепаратори значно розширили межі застосування сепараторів, що відбулось завдяки наступному: значному підвищенню продуктивності праці, так як обслуговуючий персонал звільнюється від ручного очищення та миття барабана; застосуванню їх в потокових лініях виробництва; переробка суспензії протягом робочої зміни в значно більшій кількості ніж на сепараторах такої ж продуктивності, але з ручним вивантаженням осаду [4-6].

Залежно від умов технологічного процесу і властивостей суспензії, сепаратори можуть бути налаштовані для виконання часткового або повного розвантаження.

При частковому розвантаженні, розвантажувальні канали барабана відкриваються лише на короткий час, щоб було вивантажено певну кількість осаду, а рідка фаза залишилася в барабані. При повному розвантаженні, розвантажувальні отвори повністю відкриваються і залишаються відкритими поки не буде вивантажено весь вміст барабана. В цьому випадку потік продукту в сепаратор має бути перекритий.

Розглянемо більш детально деякі конструкції барабанів саморозвантажувальних сепараторів.

На рис. 1.3 зображений барабан сепаратора з двоетапним вивантаженням осаду.



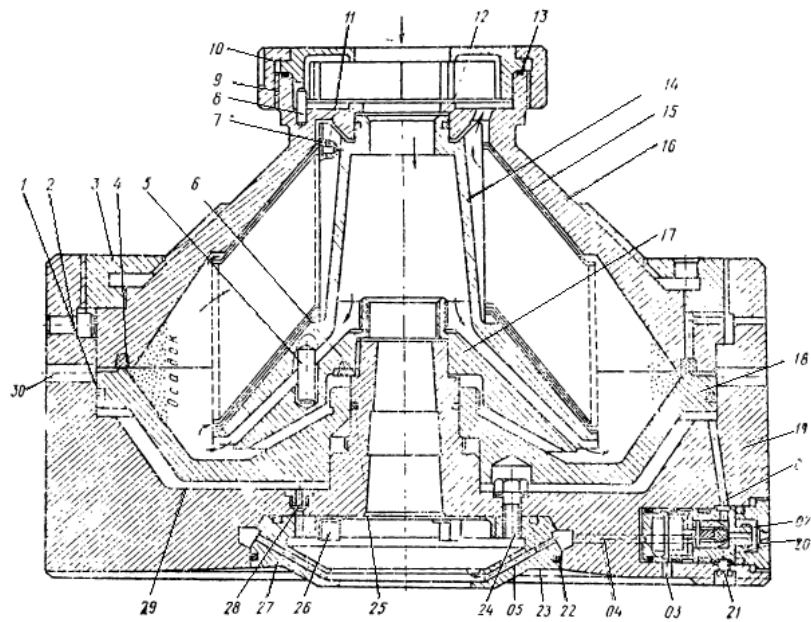
**Рис. 1.3. Барабан сепаратора з двоетапним вивантаженням осаду**  
 1,17 – камера; 2,6,8,13 – канал; 3 – порожнина; 4,5 – клапан; 7 – поршень; 9 – кришка; 10 – пакет тарілок; 11 – напірний диск; 12,14 – патрубок; 15 – пробка; 16 – кільце.

Перед початком сепарування в камеру 1 подається буферна вода, яка надходить до клапану 4 та в порожнину 3 під поршнем 7, що виконаний в вигляді рухомого днища. Під дією гідростатичного тиску рухоме днище піднімається і своєю верхньою кромкою притискається до ущільнюючого

кільця, розміщеного в кришці 9, перекриваючи при цьому розвантажувальні канали 8 в основі барабану. Після цього, подача буферної рідини зменшується і вона надходить в камеру 1 в дозованій кількості, що перевищує її витрату через дросельний канал в сидлі клапана 4. При цьому канал 6 для зливу буферної води з порожнини 3 перекривається дисковим поршнем клапана.

Підготовлену суспензію подають в барабан через патрубок 12, яка в пакеті тарілок 10 розділяється. Легка фракція видаляється з сепаратора під тиском, який створюється напірним диском 11, а важка – накопичується в шламовому (периферійному) просторі. Після заповнення цього простору, подачу суспензії в сепаратор припиняють. Буферну рідин подають в камеру 17, звідки вона по каналам 2 направляється до системи клапану 5 з ізольованим поршнем. Під дією гідростатичного тиску клапан 5 переміщується в ліве положення, захоплюючи з собою кільце 16 та пробку 15, канал 13 відкривається і рідина з міжтарілкового простору з центральної порожнини барабана по системі відвідних каналів виводиться через патрубок 14. Після цього подача буферної води в камери 1 та 17 припиняється, а її залишки видаляються через клапан 4. Під впливом різниці відцентрових сил, що діють на клапан 5 та пробку 15, система клапана з ізольованим поршнем повертається в початкове положення. Одночасно знімається тиск, який діє на клапан 4, який під дією відцентрової сили відходить до периферії відкриваючи канал 6. Буферна вода з порожнини 3 відводиться канал в клапані 4. При зниженні тиску в порожнині 3 до певної величини, рухоме днище 7 під дією гідростатичного тиску продукту, який залишився в барабані, опускається до низу і відкриває відвідні канали 8. Після вивантаження осаду, знову відкривається подача буферної води в камеру 1, відвідні канали закриваються і цикл повторюється.

Ще одну конструкцію барабана саморозвантажувального сепаратора з циклічним вивантаженням важкої фракції показано на рис. 1.4.



**Рис. 1.4. Барабан сепаратора з циклічним вивантаженням важкої фракції**

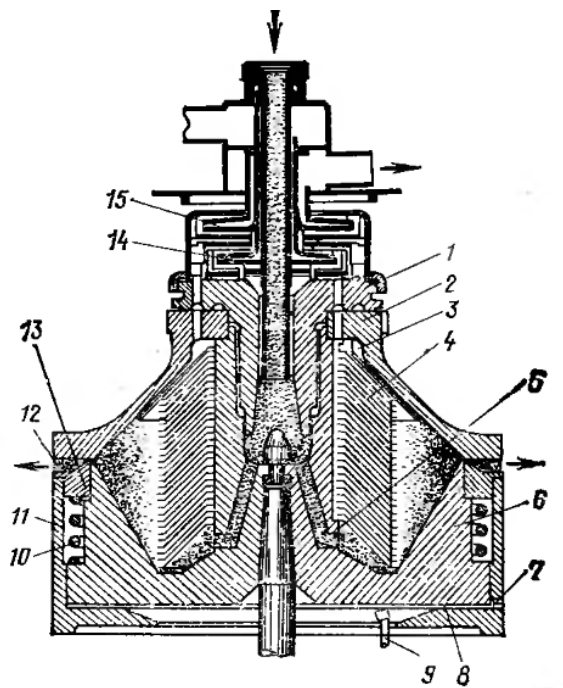
1, 4, 12, 22, 23, 25 – ущільнення 2, 5, 8 – штифт; 3,9 –затяжне кільце; 6, 7 – шпонка; 10 – кришка; 11, 21 – гвинт; 13 – прокладка; 14 – тарілотримач; 15 – тарілка; 16 – кришка барабана; 17 – конус тарілотримача; 18 – поршень; 19 – основа; 20 – клапан; 24 – болт; 26 – відбивач; 27 – лабіринт; 28 – сопло; 29 – простір під поршнем; 30 – розвантажуючі вікна; 01, 02, 03, 04, 05 – випускні отвори.

В середині основи барабана встановлений рухомий поршень 18. Над поршнем закріплений конус 17 на якому встановлений тарілотримач 14. Між конусом та тарілотримачем розміщені канали по яким суспензія з центральної частини тарілотримача, надходить до грязьового простору барабана. На тарілотримач надітий пакет тарілок, який в верхній частині накритий кришкою.

В канавку нижнього торця кришки встановлено ущільнююче кільце, до якого притискається ущільнюючий пояс рухомого поршня 18, завдяки чого створюється герметичне з'єднання. Поршень також закриває розвантажувальні вікна 30 в корпусі барабана.

До нижнього торця основи приєднаний лабіринтний пристрій 27, який призначений для подачі буферної води під рухомий поршень 18 та в клапан 20. Буферна вода надходить під поршень через отвори. Вода, що знаходиться під поршнем, за рахунок різниці гідростатичних тисків притискає поршень до ущільнюючого кільця. Клапан забезпечує відкриття зовнішнього отвору для виходу води з-під поршня при розвантаженні барабана. В цілому, принцип дії гідросистеми такого барабана подібний бо тої, яка описана для барабана зображеного на рис.4.

Барабан сепаратора з кільцевим розвантажувальним каналом представлено на рис. 1.5.



**Рис. 1.5. Барабан сепаратора з кільцевим розвантажувальним каналом**

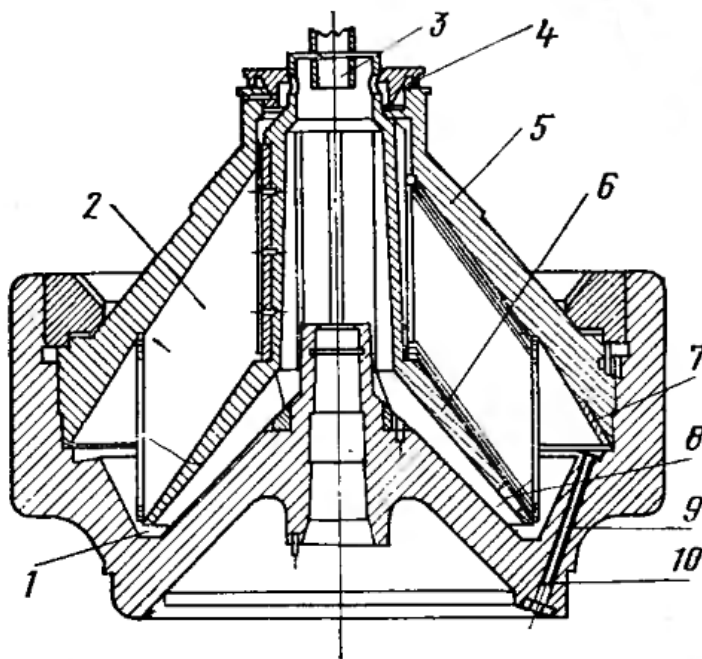
1 – втулка; 2 – кришка; 3 – розподільча тарілка; 4 – набір тарілок; 5 – опора; 6 – основа барабана; 7,12 – канали; 8 – порожнина; 9 -гідровузол; 10 – пружина; 11 – поршень; 13 – виступ; 14, 15 – напірні диски

Основа барабана 6 має маточину з різьбою на внутрішній її поверхні. Зовнішня поверхня маточини разом з опорою 5 представляє собою тарілотримач, на якому встановлений набір тарілок 4 та розподільча тарілка

3. В верхній частині маточини є поверхня, що призначена для встановлення кришки 2, яка притискається до пакету тарілок втулкою 1. При цьому між основою 6 та кришкою 2 утворюється кільцевий канал 12.

Особливою відмінністю такого барабана є конструкція розвантажувального механізму. Поршень 11 притискається до кришки під дією пружини 10, яка розміщена між уступами основи 6 та виступом 13 поршня 11. При подачі в гідровузол 9 буферної рідини, в порожнині 8 створюється гідростатичний тиск, який переміщує поршень в нижнє положення. При цьому відкривається кільцевий розвантажувальний канал 12 і осад видаляється з барабана. Коли припиняється подача буферної рідини, вона видаляється через дренажні канали 7 і поршень під дією пружини повертається в вихідне положення. Легка фракція видаляється з барабана під тиском, який створюють напірні диски 14 та 15.

Барабан соплового сепаратора представлено на рис. 1.6.

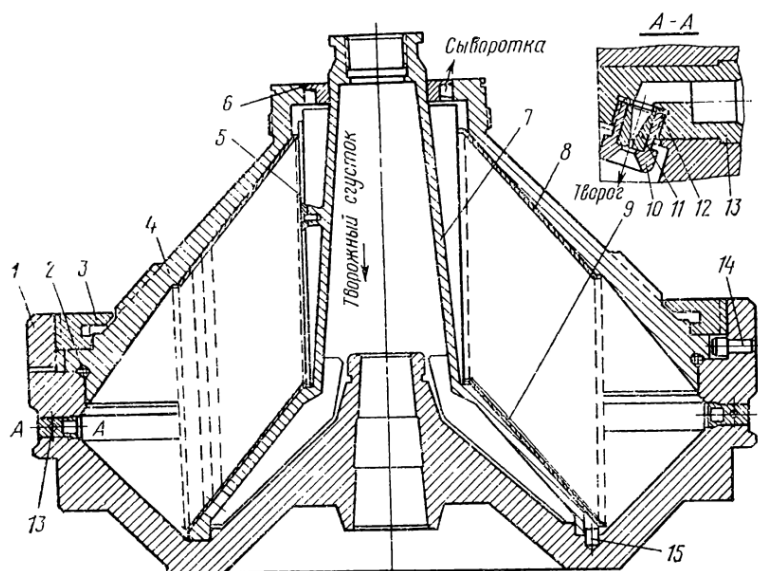


**Рис. 1.6. Барабан соплового сепаратора**

1 – кільцевий канал; 2 – пакет тарілок; 3 – підвідний патрубок; 4 – канали; 5 – кришка; 6 – тарілотримач; 7 – диски; 8 – отвори; 9 – трубки

Суспензія подається в барабан сепаратора через підвідний патрубок 3, отвори 8 в тарілотримачі 6 та кільцевий канал 1 і далі в пакет тарілок 2. Важка фракція, що виділяється в міжтарілковому просторі, відкидається в шламовий простір і по похилим каналам видаляються через сопла 10. Легка фракція по зовнішнім похилим каналам тарілотримача піднімається в верхній приймач по спіральним каналам 4 в горловині кришки 5. Для запобігання передчасного зносу корпусних деталей, в кришці барабана встановлені твердосплавні диски 7, а в похилих каналах розміщені трубки 9, які замінюють по мірі спрацювання.

На рис. 1.7 зображено ще одну конструкції соплового барабана саморозвантажувального сепаратора.



**Рис. 1.7. Барабан соплового сепаратора**

1 – основа барабану; 2 – ущільнення; 3 – затяжне кільце; 4 – кришка барабану; 5 – шпонка; 6 – випускне кільце; 7 – тарілотримач; 8 – верхня тарілка; 9 – нижня тарілка; 10 – обойма сопла; 11 – сопло; 12 – ущільнення; 13 – корпус сопла; 14,15 - штифт

Барабан сепаратора складається з основи 1, в середині якої встановлений тарілотримач 7, зафіксований штифтом 15. На шпонку 5 надіваються тарілки. Зверху тарілки накріті кришкою 4, яка встановлена в

основі барабану 1, і закріплена зтяжним кільцем 3. У верхньому торці кришки розміщене випускне кільце 6, через які з барабана викидається легка фракція. Внутрішні поверхні основи і кришки утворюють каналний простір для ущільнення важкої фракції.

У барабані, на периферії конічного простору знаходяться чотири радіальні отвори, в які встановлені сопла. Через них відбувається видалення ущільненого продукту з барабана сепаратора.

На основі проведеного аналізу конструкцій саморозвантажувальних сепараторів зробимо короткий підсумок та постановку проблеми, яку будемо вирішувати в даній магістерській роботі.

Сепаратори з пульсуючим розвантаженням барабану від важкої фракції мають істотні недоліки. Барабани цих сепараторів мають складну гідравлічну систему розвантаження. Пульсуючий пристрій володіє відносно великою інерцією, що обмежує швидкість його дії. Потік оброблюваної рідини необхідно переривати для вивантаження осаду з барабана, що зменшує продуктивність машини. По мірі накопичення в барабані осаду можливе забивання ним отворів для випуску води, що може призвести до витікання важкої фази разом з легкою або до накопичення твердого осаду в пакеті тарілок, що також веде до зменшення продуктивності сепаратора.

Істотним недоліком цього типу сепараторів є можливість забивання і виходу з ладу гідро-розподільчого клапана. Це відбувається при обробці деяких суспензій, що містять абразивну або зернисту тверду фазу. В результаті цього має місце втрата оброблюваної рідини і розведення відокремленого осаду.

Нерухомо встановлені деталі розвантажувального пристрою таких барабанів знаходяться під дією значної сили, що викликана гідростатичним тиском суспензії, тому пред'являються високі вимоги до забезпечення їх міцності.

Сепаратори з соплами забезпечують постійне вивантаження ущільненого продукту, який виділяється в барабані з суспензії. Одним з недоліків цих сепараторів є наявність застійних зон між соплами, з яких осад не вимивається, а поступово накопичуючись, доходить до зовнішньої кромки тарілок. Ще одним значним недоліком таких сепараторів є можливість забивання сопел при наявності в сепаруючому продукті відносно великих частинок. При забиванні сопел доводиться зупиняти сепаратор не тільки через необхідність його очищення, але і через виникнення недопустимої вібрації внаслідок появи дисбалансу в зоні забитого сопла.

Для усунення зазначених недоліків необхідно розробити таку конструкції розвантажувального механізму, яка дозволить підвищити час безперервної та стабільної роботи сепаратора та дозволить отримати ущільнений продукт необхідної якості.

Проаналізувавши конструкції барабанів сепараторів встановлено їх недоліки, але все ж найкращу конструкцію серед них має сепаратор з радіальним розташуванням сопел на периферії барабана. Такий сепаратор має простішу конструкцію і забезпечує безперервне видалення згущеного продукту, тому модернізацію вивантажувального пристрою будемо робити для саме цього сепаратора. Даний сепаратор моделі ОСЯ застосовується в лініях по виробництву м'яких сирів роздільним способом.

Слід зазначити, що виробництво м'яких сирів в великих об'ємах стало можливим лише завдяки використанню сепараторів [1-3]. При роботі соплового сепаратора ферментоване (сквашене) молоко подається через підвідний патрубок в центр барабана і далі в підйомні канали пакета тарілок. Тут відбувається розділення сквашеного молока на сироватку та сирний згусток. Сироватка, як легка фракція, відтісняється до осі барабана і видаляється з нього через спеціальне кільце, а сирний згусток, як важка фракція, відкидається до стінок барабану, де згущується до необхідної вологості і видаляється з нього через сопла.

## 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оскільки фізична суть процесу сепарування заснована на осадженні дисперсної фази під дією відцентрової сили, то рух дисперсних частинок найбільш повно описується законом Стокса, який має вигляд:

$$v = \frac{2}{9} r^2 \omega^2 R \frac{\rho_1 - \rho_2}{\mu} \quad (2.1)$$

де:  $r$  – радіус дисперсної частки;  
 $\omega$  – кутова швидкість обертання барабана;  
 $R$  – відстань частинки від осі обертання;  
 $\rho_1, \rho_2$  – щільність важкої і легкої фракції системи;  
 $\mu$  - в'язкість середовища.

Процес розділення суспензії в сепараторі необхідно розглядати комплексно починаючи від входу рідини в міжтарілковий простір і завершуючи виходом отриманих фаз з барабана сепаратора.

Зважаючи на те, що розділення суспензії на фази відбувається в міжтарілковому просторі, то більшість досліджень проводяться саме для цієї робочої зони. При цьому розрахунки якості сепарації здійснюються шляхом оцінки діаметра частинки в залежності від механічних, фізичних і геометричних параметрів [6-13].

Однак, існуючі методики розрахунку ефективності процесу сепарування в повній мірі не враховують особливості міжтарілкового простору, зумовлені конструктивним виконанням тарілок [7, 8]. Зазвичай тарілки мають виступи на своїй поверхні, за рахунок яких забезпечується постійний зазор між тарілками, різного роду напрямні планки, живильні канали та ін. Наявність таких конструкційних елементів значно впливає на гідродинаміку в міжтарілковому просторі, а значить і на процес розділення.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Методика проведення досліджень</b>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/7</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.						

Проблему розрахунку ефективності процесу відцентрового розділення дисперсних рідинних систем в міжтарілковому просторі барабана сепаратора зазвичай формулюють як задачу кількісного моделювання явища масопереносу твердої і рідкої фаз суспензії. При цьому припускають, що процес є ізотермічним, щільність і в'язкість середовища не залежать від концентрації [6-8].

При аналізі руху таких суспензій виходять з моделі руху ізольованої твердої сферичної частинки, що робить можливим умовно аналізувати «внутрішнє» і «зовнішнє» завдання гідродинаміки незалежно один від одного. Відповідно до цього, спочатку визначають поле швидкостей і тиск незбуреного потоку, вирішуючи «внутрішнє» завдання гідродинаміки, а потім, аналізуючи «зовнішнє» завдання, рух власне ізольованої твердої частинки в потоці, де силу міжфазової взаємодії «рідина-тверде» враховують згідно з формулою Стокса.

При розрахунку поля швидкостей і тиску потоку в міжтарілковому просторі барабана сепаратора в якості вихідних даних приймають закон збереження імпульсу для виділеного об'єму рідини в формі векторного рівняння Нав'є-Стокса.

Незважаючи на значну кількість робіт по дослідженню гідродинаміки потоку в міжтарілковому просторі дане питання залишається відкритим.

Слід також зазначити, що практично не розкрито питання про ущільнення важкої фази в периферійному об'ємі барабана сепаратора [7, 9, 12]. Це, зокрема, обумовлено складною його формою, а також постійною зміною його об'єму, що зумовлене накопиченням осаду на стінках барабану в процесі поділу суспензії. Отримання ущільненої фази заданої вологості є необхідним при виробництві певних продуктів, для яких їх вологість в процесі подальшої переробки має важливе значення.

З урахуванням значного впливу процесу ущільнення на якісні показники продуктів харчування, проведемо дослідження механізму ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора.

На основі літературного пошуку було встановлено умови, які описують процес відцентрового ущільнення:

$$\varepsilon = f(\tau, \varepsilon_0, P, A, k), \quad (2.2)$$

де:  $\varepsilon$  - вологість фази після ущільнення;

$\tau$  – час ущільнення;

$\varepsilon_0$  – вологість фази на початку ущільнення;

$P$  – ущільнюючий тиск, що діє на важку фазу;

$A, k$  – коефіцієнти, що визначають ступінь стискання важкої фази.

Зв'язок між ущільнюючим тиском, що діє на ущільнений продукт та його вологість визначаються з рівняння:

$$\frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^4} = A \cdot P^k \quad (2.3)$$

Для визначення вологості ущільненого продукту можна використати систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^4} = A \cdot P^k \\ P = \frac{760(R - r_0)(1 - \varepsilon)(\gamma_t - \gamma_{ж})\omega^2 R_{cp}}{1000 \cdot g} \end{array} \right. \quad (2.4)$$

де:  $R$  – максимальний радіус шару ущільненого продукту;

$r_0$  – внутрішній радіус шару ущільненого продукту;

$\gamma_t$  – питома вага твердої фракції ущільненого продукту;

$\gamma_{ж}$  – питома вага рідкої фракції ущільненого продукту;

$\omega$  – кутова швидкість обертання барабана;

$R_{cp}$  – середній радіус шару ущільненого продукту;

$g$  – прискорення сили тяжіння.

Також, щоб визначити вологість ущільненої фази, яка утворюється в периферійному об'ємі барабані сепаратора, можна використати рівняння:

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot \tan \alpha (2eR^3 - aR^4 - 6eRr_0^2 + 4r_0(aR + e) - 3ar_0^4)}{3V_{\phi}} \quad (2.5)$$

де:  $\alpha$  – кут між поверхнями основи та кришки барабана;

$e, a$  – розрахункові коефіцієнти;

$V_{\phi}$  – об'єм ущільнюючого простору.

Коефіцієнт стискання:

$$e = A - \frac{\varepsilon_0}{F}, \quad (2.6)$$

де:  $A$  – відносний об'єм;

$\varepsilon_0$  – вологість перед початком стискання;

$F$  – тиск ущільненої фази на периферії барабана.

Коефіцієнт опору:

$$a = \frac{1}{\varphi^2} - 1 \quad (2.7)$$

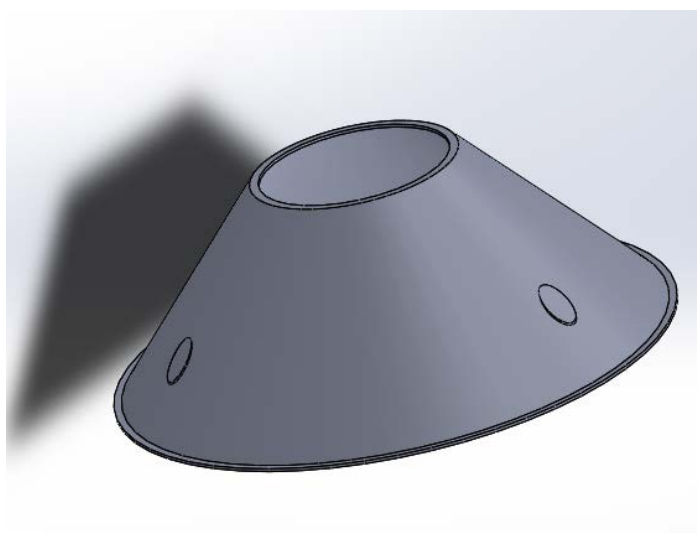
де:  $\varphi$  – коефіцієнт швидкості.

Знаючи тиск  $F$ , можна визначити коефіцієнт стискання, і підставивши значення коефіцієнтів  $e$  та  $a$  в формулу (2.5) можна визначити вологість ущільненого продукту, зокрема сирного згустку. Однак визначення тиску ущільнення продукту в барабані сепаратора є доволі складним завданням, що пояснюється перерахованими вище причинами.

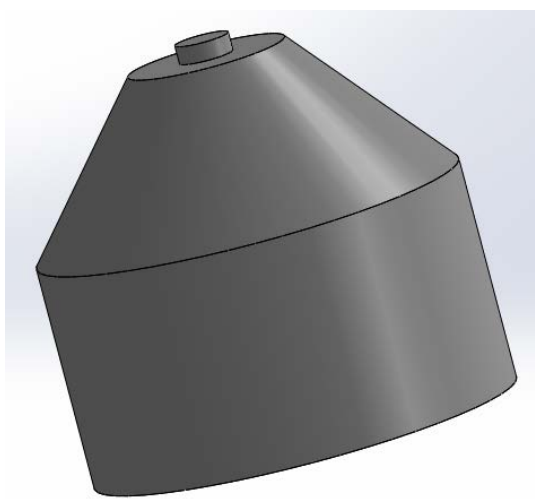
Оскільки гідродинаміка потоку в периферійному об'ємі сепаратора є доволі складною, то аналітично описати реальний профіль швидкостей та тиск продукту в даній порожнині є надзвичайно складною задачею [7]. Тому, для дослідження процесу сепарації сквашеного молока використаємо програмний комплекс FlowVision. FlowVision – це пакет прикладних програм, який призначений для дослідження гідродинаміки потоків шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь в частинних похідних чисельними методами.

Оскільки процес сепарації не може бути ефективно розрахованим без дослідження руху рідини в міжтарілковому просторі, то першим завданням в зазначеному напрямку є дослідження гідродинаміки міжтарілкових потоків.

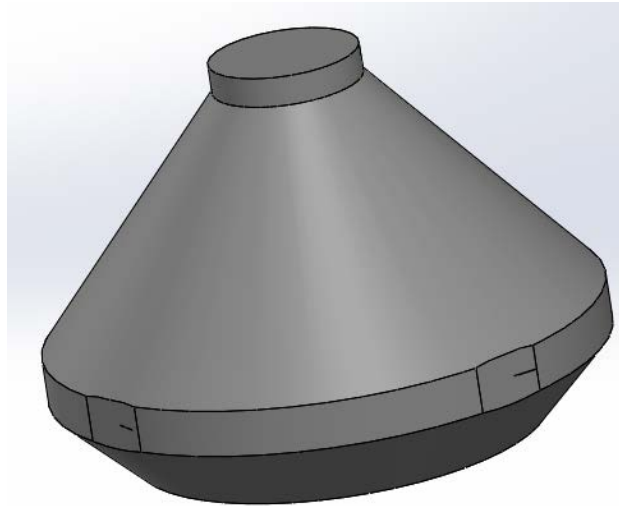
Відповідно з зазначеним вище та з урахуванням технічних можливостей обчислювальної машини, для дослідження гідродинаміки потоків будуємо модель міжтарілкового простору (рис. 2.1.), об'єднану модель тарілок і міжтарілкового простору (рис. 2.2.) та модель об'єму барабана сепаратора (рис. 2.3.). Необхідно зазначити, що об'єднана модель тарілок і міжтарілкового простору умовно виражає зону всього пакету тарілок з 55-ти одиниць в барабані сепаратора.



**Рис. 2.1. Модель міжтарілкового простору**

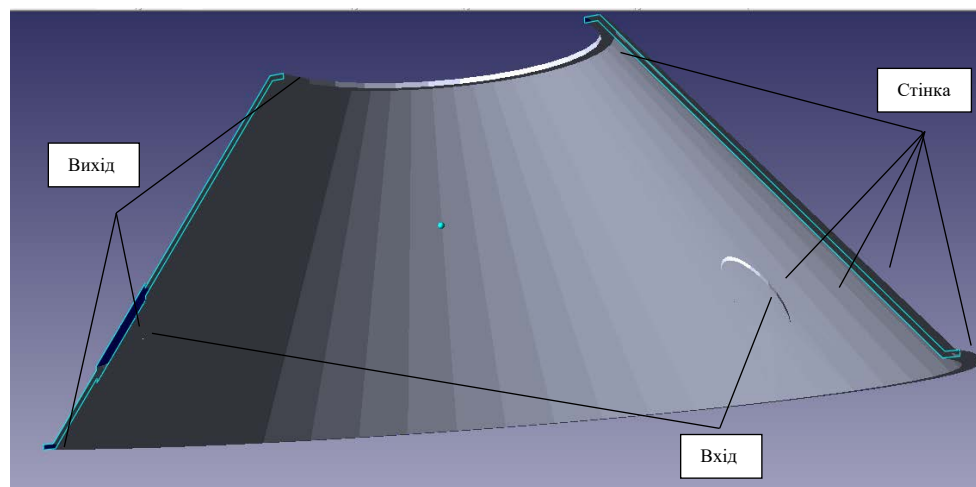


**Рис. 2.2. Об'єднана модель тарілок та міжтарілкового простору**



**Рис. 2.3. Модель об'єму барабана сепаратора**

На першому етапі проводимо дослідження гідродинаміки двофазного потоку в міжтарілковому просторі. Для цього в моделі міжтарілкового простору створюємо зони, для яких будуть задані краєві умови. Такими зонами є (рис. 2.4.): стінка, вхід та вихід. Потім, розбиваємо модель на окремі елементи, які утворюють розрахункову сітку.



**Рис. 2.4 Розрахункові зони для моделі міжтарілкового простору**

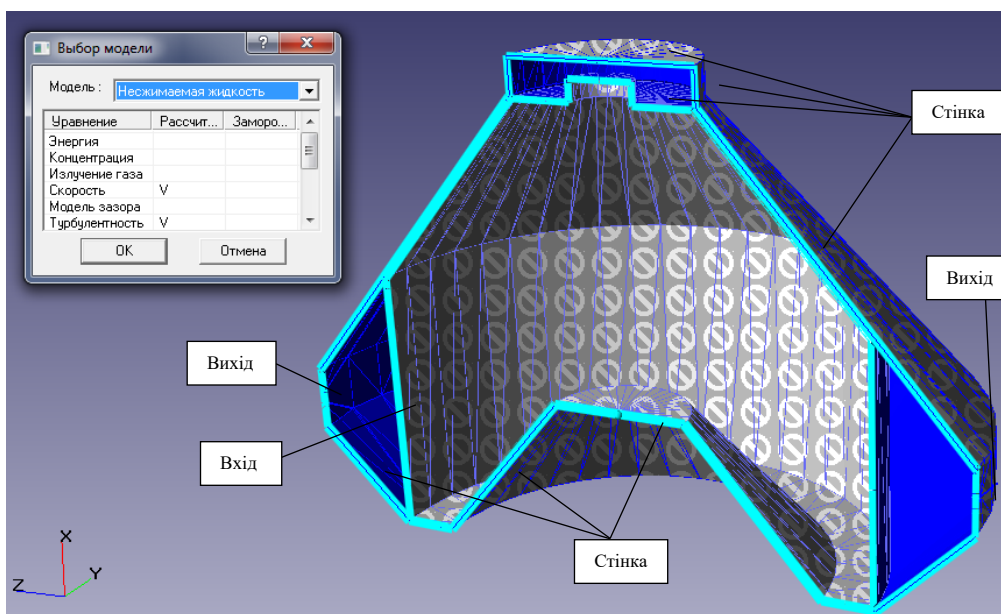
Для даної моделі в розрахунок прийнято тип рідини «Рідина, що не стискається». У вікні «Фізичні параметри» встановлено значення температури, молекулярної ваги, густини та в'язкості ферментованого молока. Задано модель двофазного потоку та стандартну k-ε модель

турбулентності. Задано обертовий рух відносно вертикальної осі з частотою 5000 об/хв. Тиск на вході становить 145000 Па.

Після введення всіх необхідних параметрів можна переходити до розрахунку. Отримані результати будуть вихідними даними для моделі об'єму барабана сепаратора.

На наступному етапі проводимо дослідження гідродинаміки в периферійному об'ємі барабана сепаратора. Для цього спочатку в модель (рис. 2.3.) імпортуємо модель (рис. 2.2.). Це є необхідним для врахування руху сирного згустку з умовно всіх міжтарілкових просторів.

Далі створюємо розрахункові зони: вхід, вихід та стінка (рис. 2.5.). Розбиваємо модель на розрахункову сітку з кінцевих елементів.



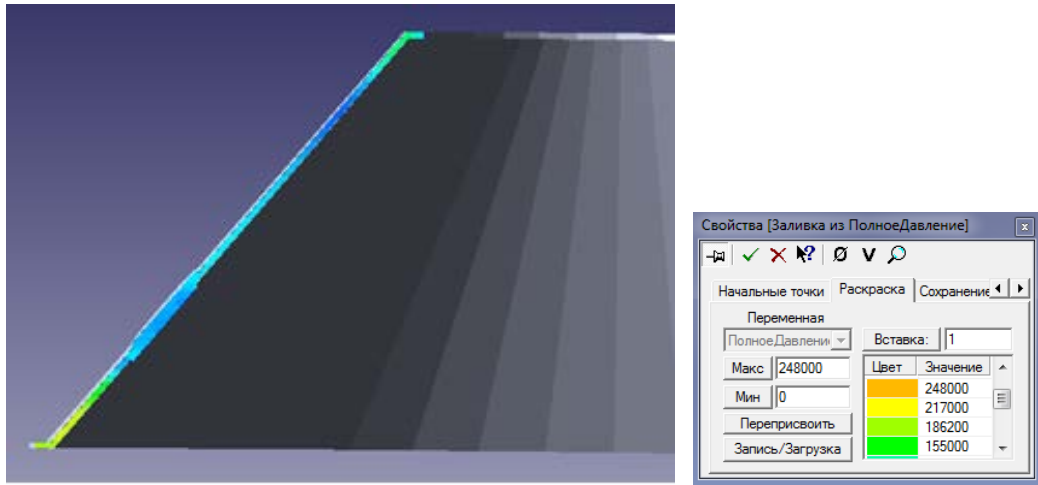
**Рис. 2.5 Модель об'єму барабана сепаратора з урахуванням об'єднаної моделі тарілок та міжтарілкового простору**

Задаємо обертовий рух відносно вертикальної осі з частотою 5000 об/хв. Значення тиску на вході в розрахункову область необхідно буде прийняти виходячи з результатів попереднього розрахунку.

Після встановлення всіх необхідних граничних умов можна переходити до проведення розрахунку та дослідження процесу ущільнення.

### 3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

В результаті проведеного імітаційного моделювання процесу сепарування в міжтарілковому просторі встановлено тиск, під яким сирний згусток з його виходить (рис. 3.1).



**Рис. 3.1. Розподіл тиску в міжтарілковому просторі**

З рис. 3.1 спостерігається підвищення тиску (в нижній частині міжтарілкового простору) в порівнянні з початковим значенням, що пояснюється дією відцентрової сили на продукт.

Підставляючи середнє значення тиску  $P_1 = 190000 \text{ Па}$  до зони «Вхід» в моделі (рис. 2.5) можна переходити до дослідження процесу ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора.

Слід зазначити, що для сепаратора ОСЯ при штатному виконанні механізму розвантаження барабана, можна отримати сирний згусток вологістю 82%, при цьому максимальний тиск ущільнення становить 300 кПа. Вологість продукту, відповідно і тиск ущільнення, можна змінювати лише встановивши сопло з іншим діаметром вихідного отвору. Однак, вивантаження ущільненого продукту через сопла має свої недоліки, які перераховані в розділі 1 даної магістерської роботи.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Дослідна частина та узагальнення результатів</b>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/12</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.						

Тому, запропоновано здійснити вивантаження ущільненого продукту через турнікетний вивантажувальний механізм до складу якого входить механізм регулювання вологості продукту. Останній представляє собою фіксатор, що утримує стінку вивантажувального механізму, тобто створює певний протитиск виходу сирного згустку з барабана. Притискання фіксатора до стінки вивантажувального механізму здійснюється за рахунок пружини. Зусилля притискання можна регулювати шляхом зміни сили, необхідної для стиску пружини, що досягається за рахунок зміни її довжини.

Для врахування опору, який чинить фіксатор, необхідно до зони «Вихід» в моделі (рис. 2.5) задати певний тиск (протитиск виходу). Його значення можна отримати розв'язавши трикутник сил, що діють на фіксатор.

Сила, яка діє на фіксатор, визначається з рівняння:

$$P = F \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3.1)$$

де:  $P$  – сила (тиск) необхідна для стиску пружини фіксатора;

$F$  – відцентрова сила (тиск) яка діє на фіксатор (стінку вивантажувального механізму);

$\alpha$  – кут зрізу фіксатора.

Згідно проведеного літературного пошуку встановлено, що максимальний тиск, який діє в периферійному об'ємі барабана сепаратора в середньому становить 300 кПа. Також встановлено, що оптимальне значення кута зрізу фіксатора  $\alpha$  становить  $30^\circ$ , яке пояснюється відносно малими розмірами пружини, яка встановлюється в механізм регулювання вологості. Використаємо ці дані для підбору пружини, яка буде упиратися в фіксатор і тим самим чинити опір виходу ущільненого продукту з барабана сепаратора.

Зусилля необхідне для стиску пружини:

$$P = 300 \cdot \operatorname{tg} 30 = 173,2 \text{ кПа}$$

За отриманим значенням  $P$  за ГОСТ 18793-80 приймемо пружину, яка працює на стиск. Основні параметри прийнятої пружини: початкова довжина

– 20 мм, зовнішній діаметр – 10мм, діаметр дроту з якого вона виготовлена – 1,5 мм, кількість витків – 6, жорсткість 20,2 Н/мм.

За довідниками встановлено, що для стиску даної пружини на 2 мм (під 2 мм прийнято хід фіксатора), до довжини 18мм, необхідно прикласти зусилля 179 кПа. При цьому тиск який необхідний для спрацювання фіксатора (спрацювання фіксатора відбувається при натисканні на нього стінок вивантажувального механізму) буде становити:

$$F = \frac{179}{\text{tg}30} \approx 310\text{кПа.}$$

Очевидно, що при зміні сили стискання пружини можна досягти різного тиску в периферійному об'ємі барабані сепаратора, яке в свою чергу вплине на процес ущільнення продукту.

Для стиску пружини на 4 мм (2 мм хід фіксатора та 2 мм додаткове стискання), тобто до довжини 16 мм, необхідно прикласти зусилля  $P = 187$  кПа, для стиску на 6 мм до довжини 14 мм –  $P = 199,2$  кПа, для стиску на 8 мм до довжини 12 мм –  $P = 208,5$  кПа, для стиску на 10мм до 10 мм –  $P = 216,5$  кПа.

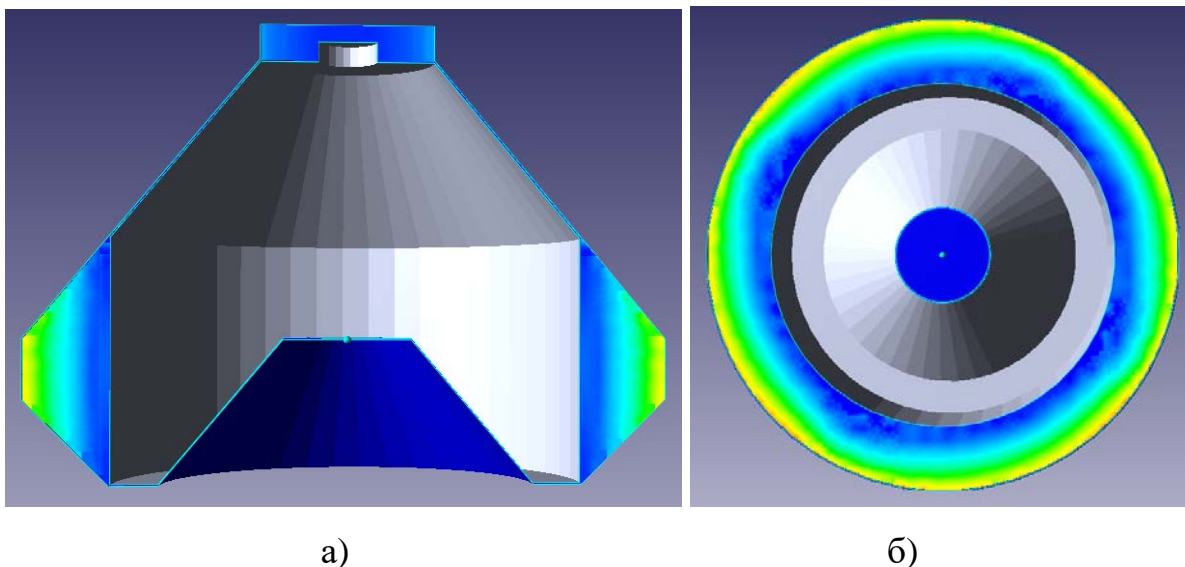
Для даних значень  $P$  за формулою (3.1) визначено тиск  $F$ , який необхідний для спрацювання фіксатора, результати розрахунку представлено в таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1. Результати розрахунків**

Стиск пружини, мм	Довжина пружини після стискання, мм	Зусилля необхідне для стиску пружини, $P$ , кПа	Тиск, який необхідний для спрацювання фіксатора, $F$ , кПа
2	18	179	310
4	16	187	324
6	14	199,2	345
8	12	208,5	361,1
10	10	216,5	375

Підставляючи отримане значення тиску  $F$  до граничної умови «Вихід» в моделі (рис.2.5.) можна переходити до дослідження процесу ущільнення сирного згустку чисельними методами.

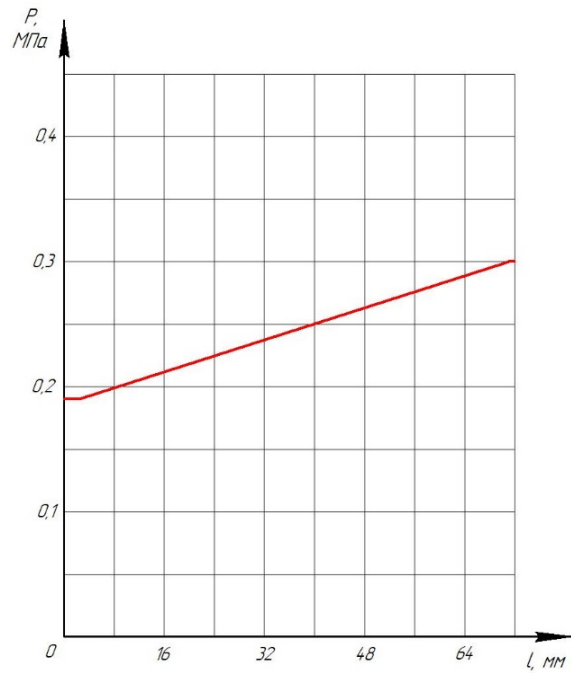
Результати імітаційного моделювання процесу ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора представлені на рис. 3.2-3.11.



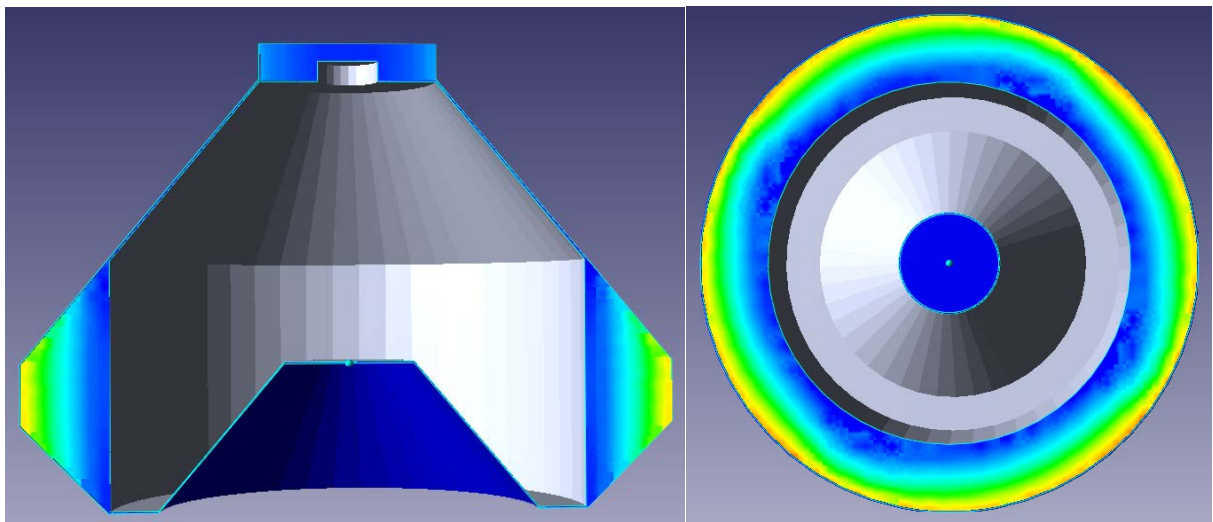
**Рис. 3.2. Розподіл тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора при силі стиску пружини 179 кПа**

а – вертикальна прощина; б – горизонтальна площина

Для чіткого відображення значення тиску, при якому відбувається ущільнення сирного згустку по довжині периферійного об'єму (під довжиною периферійного об'єму прийнято відстань між тарілками та стінкою барабана), результати моделювання представлено у формі графіка (рис. 3.3).



**Рис. 3.3. Графік розподілу тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана при силі стиску пружини 179 кПа**

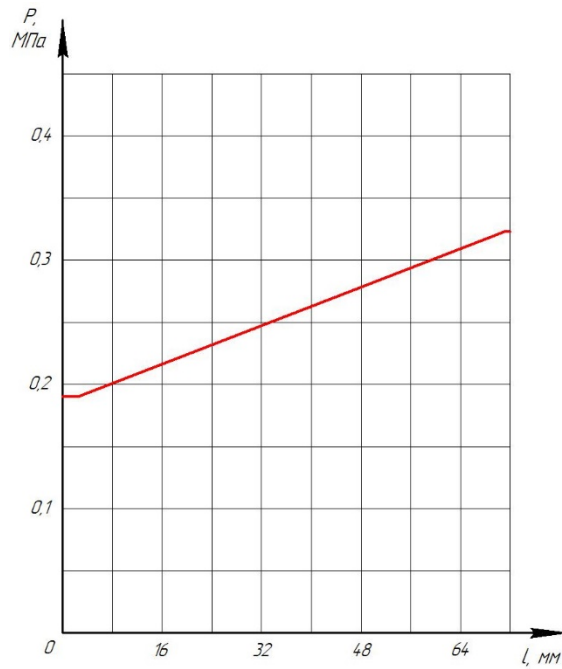


а)

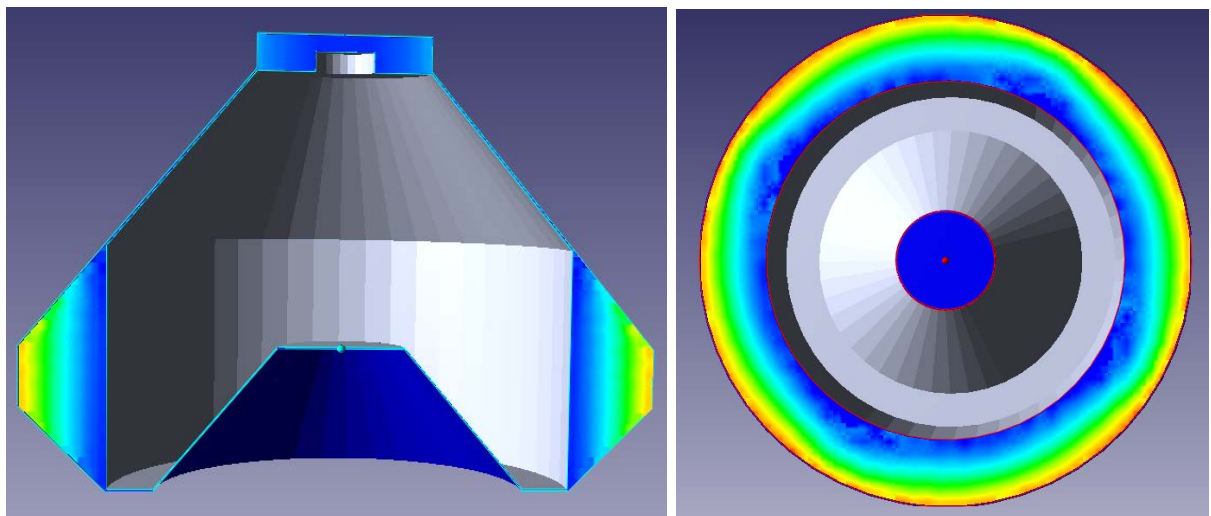
б)

**Рис. 3.4. Розподіл тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора при силі стиску пружини 187 кПа**

а – вертикальна прощина; б – горизонтальна площина



**Рис. 3.5. Графік розподілу тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана при силі стиску пружини 187 кПа**

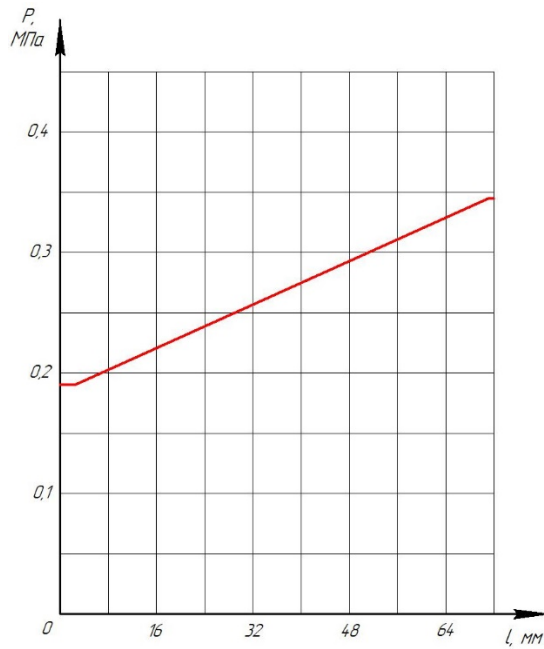


а)

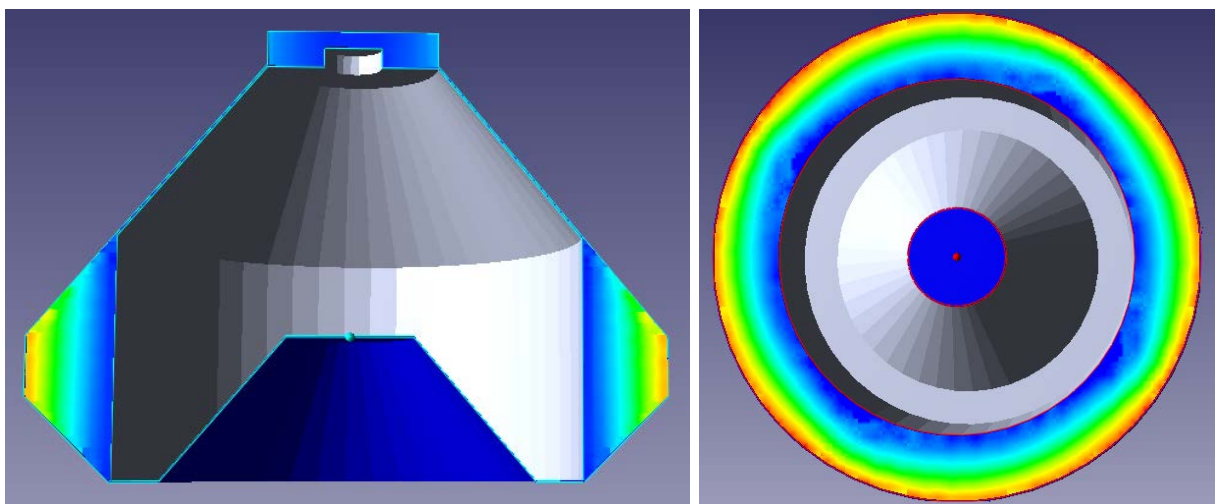
б)

**Рис. 3.6. Розподіл тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора при силі стиску пружини 199,2 кПа**

а – вертикальна прощина; б – горизонтальна площина



**Рис. 3.7. Графік розподілу тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана при силі стиску пружини 199,2 кПа**

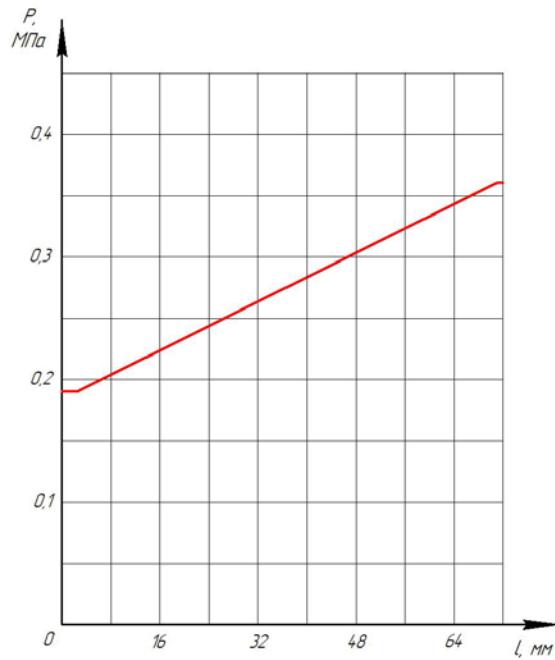


а)

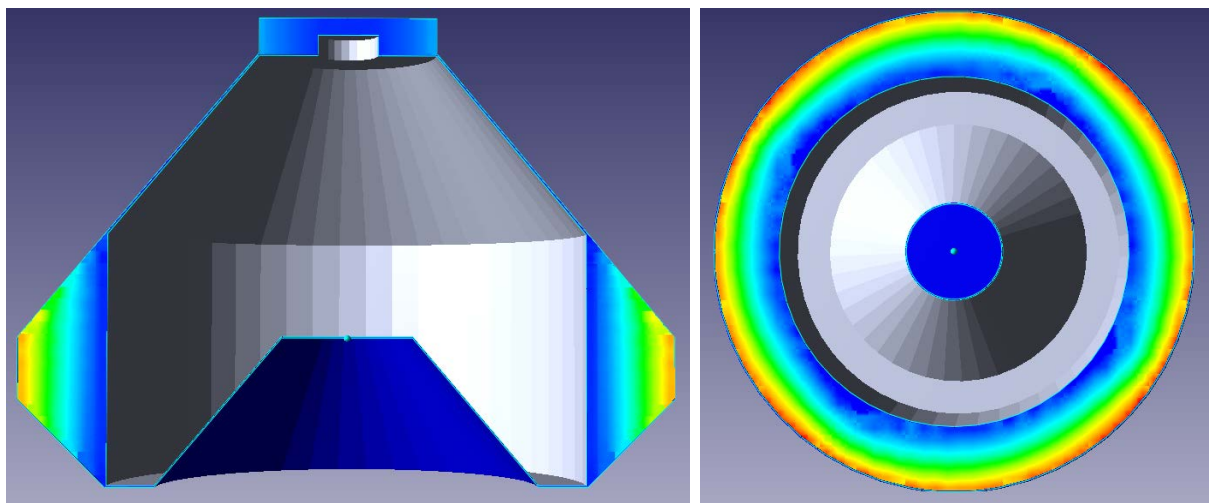
б)

**Рис. 3.8. Розподіл тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора при силі стиску пружини 208,5 кПа**

а – вертикальна прощина; б – горизонтальна площина



**Рис. 3.9. Графік розподілу тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана при силі стиску пружини 208,5 кПа**

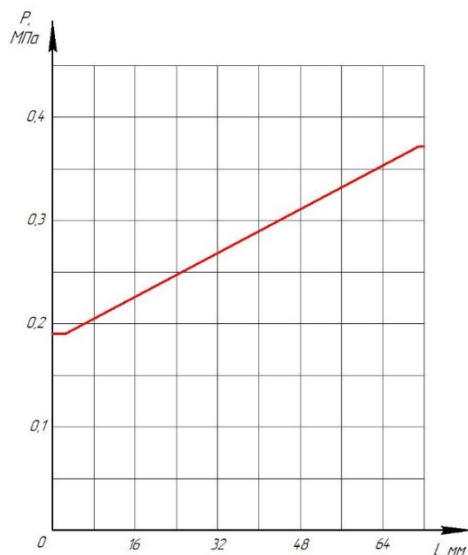


а)

б)

**Рис. 3.10. Розподіл тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора при силі стиску пружини 216,5 кПа**

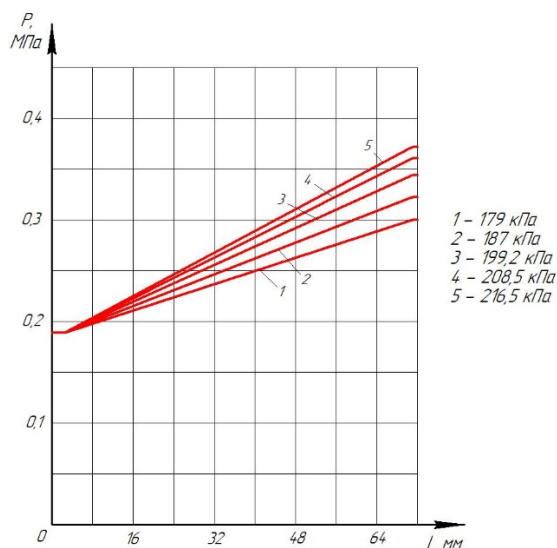
а – вертикальна прощина; б – горизонтальна площина



**Рис. 3.11. Графік розподілу тиску ущільнення сирного згустку в периферійному об'ємі барабана при силі стиску пружини 216,5 кПа**

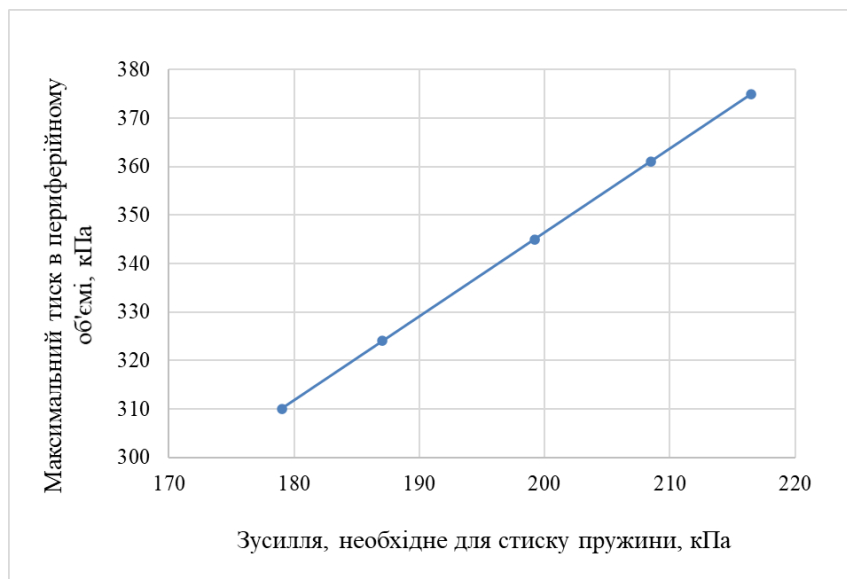
З результатів моделювання видно, що збільшення зусилля притискання пружини до фіксатора приводить до збільшення тиску під яким відбувається ущільнення сирного згустку в барабані сепаратора.

На рис. 3.12 представлено зведений графік залежності розподілення тиску по довжині периферійного об'єму барабана при різних значеннях сили, необхідної для стискання пружини.



**Рис. 3.12. Зведений графік залежності розподілення тиску по довжині периферійного об'єму барабана від зусилля, необхідного для стиску пружини**

На рис. 3.13. представлено графік залежності максимального тиску сирного згустку в периферійному об'ємі барабана сепаратора від зусилля необхідного для стиску пружини.



**Рис. 3.13. Залежність максимального тиску в периферійному об'ємі барабана сепаратора від зусилля, необхідного для стиску пружини**

Отримавши в результаті імітаційного моделювання значення максимального тиску під яким відбувається ущільнення сирного згустку, за формулою (2.5) визначимо його вологість при видаленні з барабана.

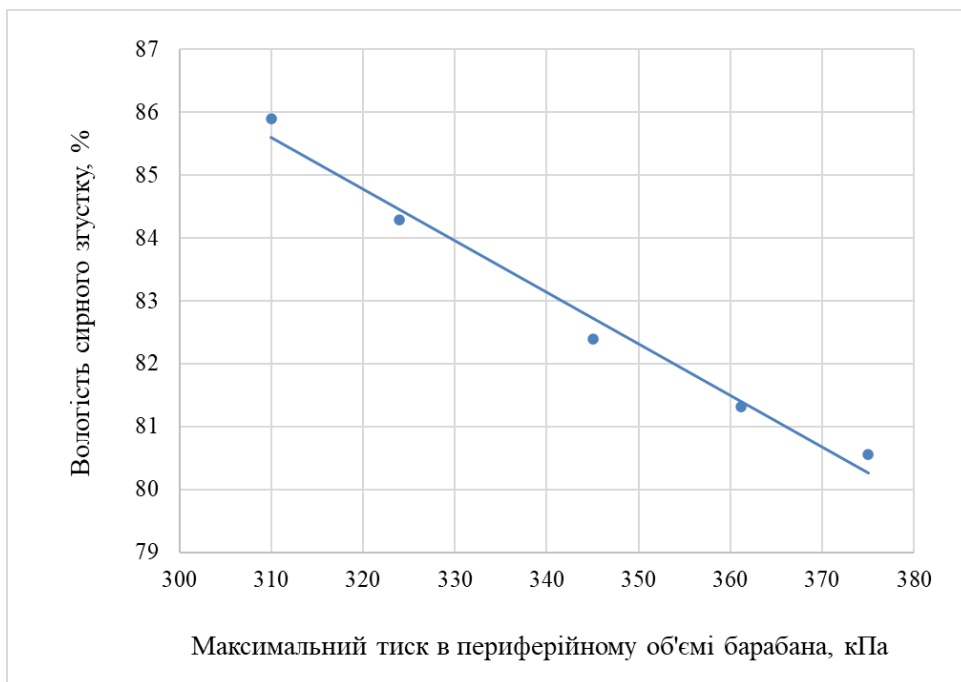
$$\varepsilon = \frac{3,14 \cdot \tan 50 (2 \cdot 0,328 \cdot 0,286^3 - 0,73 \cdot 0,286^4 - 6 \cdot 0,328 \cdot 0,286 \cdot 0,18^2 + 4 \cdot 0,18(0,73 \cdot 0,286 + 0,328) - 3 \cdot 0,73 \cdot 0,18^4)}{3 \cdot 0,015} = 85,9 \%$$

Аналогічні розрахунки проведено при інших значення максимального тиску на стінці барабана сепаратора. Їх результати представлено в таблиці 3.2.

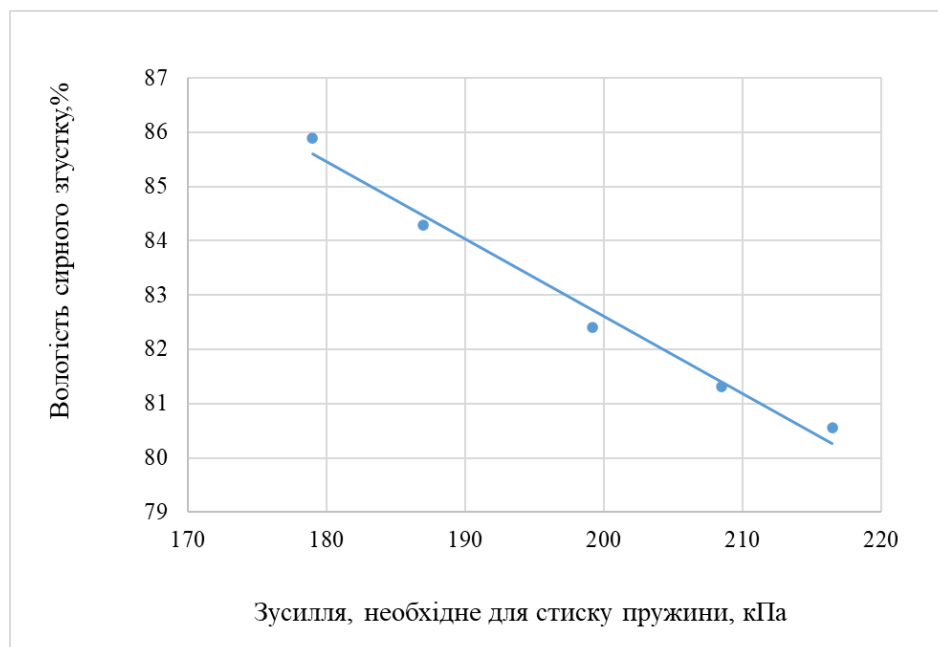
**Таблиця 3.2. Результати розрахунку**

Максимальний тиск в барабані, кПа	Вологість, %
310	85,9
324	84,29
345	82,4
361,1	81,31
375	80,55

На основі отриманих даних побудовано графіки залежності вологості сирного згустку від максимального тиску в барабані сепаратора та від зусилля, необхідного для стиску пружини (рис. 3.14 та рис. 3.15)



**Рис. 3.14. Залежність вологості сирного згустку від максимального тиску в барабані сепаратора**



**Рис. 3.15. Залежність вологості сирного згустку від зусилля, необхідного для стиску пружини**

## Узагальнення результатів

Збільшення зусилля, необхідного для стиску пружини механізму регулювання вологості, приводить до збільшення тиску в периферійному об'ємі барабана сепаратора. В свою чергу збільшення тиску під яким відбувається ущільнення сирного згустку, приводить до зменшення його вологості і навпаки, при зменшенні зусилля стиску пружини тиск в барабані зменшується, а вологість сирного згустку зростає.

Зменшення вологості сирного згустку пояснюється тим, що при збільшенні тиску ущільнення, з його видаляється більше вологи ніж при меншому значенні тиску, коли надлишкова рідка фаза з меншою інтенсивністю видаляється, тобто відбувається менше ущільнення, і його вологість є більшою.

Проведені дослідження дозволили встановити залежність вологості сирного згустку від сили стискання пружини. Аналізуючи графік (рис. 3.15) можна вибрати потрібне зусилля стискання пружини (зусилля притискання пружини до фіксатора) щоб отримати сирний згусток необхідної вологості. Як приклад, для отримання сирного згустку вологістю 84% необхідно щоб зусилля стискання пружини було 190 кПа.

Результати імітаційного моделювання доволі точно відповідають наведеним в літературі значенням тиску ущільненого продукту на стінку барабана, тому можна стверджувати про можливість застосування пакету програм FlowVision для дослідження процесу сепарування.

#### 4. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Проведений в розділі 1 аналіз конструкцій барабанів сепараторів дозволив встановити їх конструктивні недоліки. Було виявлено найкращу серед них конструкцію барабану, в якому вивантаження ущільненого продукту відбувається через радіально розміщені сопла на його периферії, але і вона має свої недоліки.

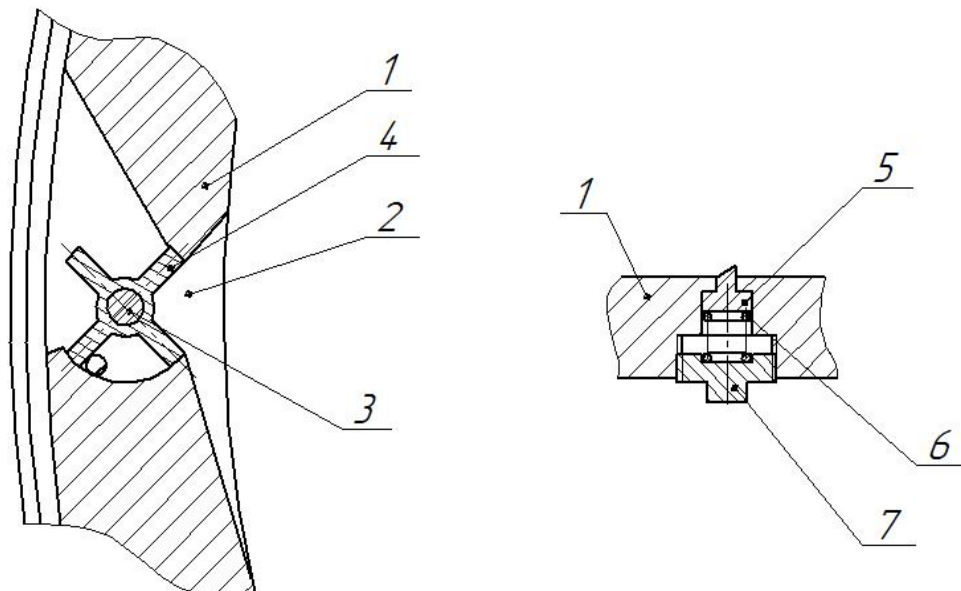
В таких сепараторах для отримання ущільненого продукту необхідної вологості використовуються змінні сопла діаметром 0,4...0,8мм. Недоліком цього є можливість їх забивання, що зумовлено наявністю в сепаруючому продукті відносно великих частинок. Забивання сопел призводить до дисбалансу барабану, і відповідно, руйнування елементів обладнання під дією вібрації, яка при цьому виникає. Для очищення сопел необхідно здійснити зупинку та розбирання сепаратора, що в свою чергу вплине на роботу всієї технологічної лінії виробництва м'якого сиру.

На основі проведено дослідження процесу ущільнення для усунення цих недоліків запропоновано виконати механізм вивантаження ущільненого сирного згустку з барабана сепаратора ОСЯ у вигляді турнікету з механізмом регулювання вологості (рис. 4.1).

Модернізація здійснюється шляхом виконання на периферії основи барабана 1 4-х рівномірно розміщених відвідних каналів 2, через які відбувається вивантаження ущільненого сирного згустку, та перпендикулярних до них 4-ри отвори. У відвідний канал 2 встановлюється турнікет 4, а в отвір в основі барабана та в ньому вісь 3, на якій він обертається. Фіксація положення турнікету 4 здійснюється фіксатором 5.

Принцип роботи механізму. Попередньо ущільнений сирний згусток в просторі між внутрішніми поверхнями кришки та основи барабану потрапляє по відвідних каналах 2 в комірку турнікету 4.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Обґрунтування модернізації</b>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.					



**Рис. 4.1. Механізм розвантаження барабана**

1 – основа барабана; 2 – відповідний канал; 3 – вісь; 4 – турнікет; 5 – фіксатор; 6 – пружина; 7 – гвинт

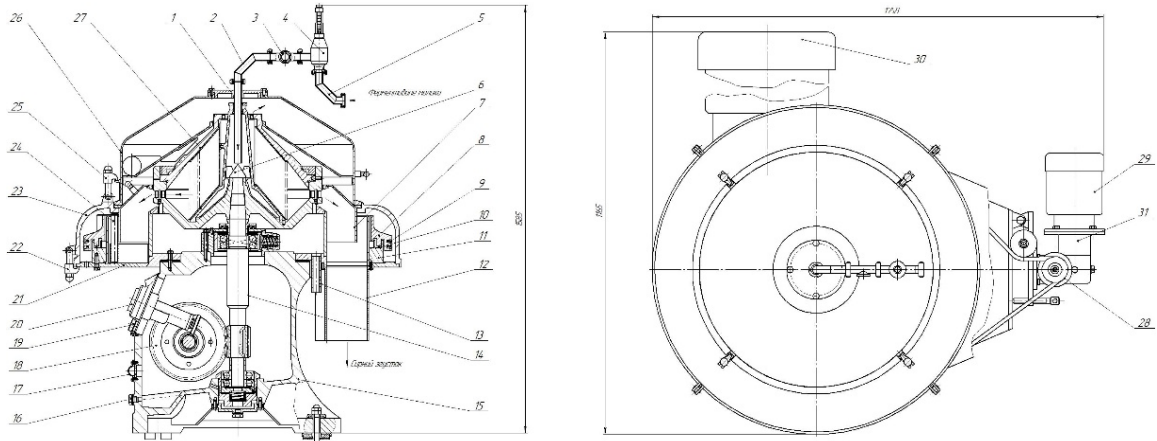
Тут він згущується до необхідної (заданої) вологості доки не спрацює механізм регулювання ступеня вологості (його спрацювання відбувається при натисканні стінки турнікету з продуктом на фіксатор 5), тоді турнікет виконує поворот на одне положення комірки і ущільнений сирний згусток видаляється з барабана сепаратора.

Для отримання ущільненого продукту заданої вологості потрібно змінити зусилля, яке необхідно подолати стінці турнікету з сирним згустком, для того, щоб механізм регулювання вологості спрацював (опустився донизу). Дане зусилля змінюється за рахунок зміни сили притискання пружини 6 до фіксатора 5 шляхом обертання гвинта 7.

Технічний результат від використання такої конструкції механізму вивантаження полягає в тому, що в результаті збільшення площі поперечного перерізу, через який ущільнений продукт викидається з барабана, зникають вібрації, збільшується надійність роботи сепаратора, обладнання працює в штатному режимі з необхідною продуктивністю і вологістю сирного згустку.

## 5. УСТРІЙ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

Сепаратор ОСЯ (рис.5.1) призначений для безперервного розділення ферментованого (сквашеного) молока на сироватку та сирний згусток.



**Рис. 5.1. Сепаратор ОСЯ**

1,12,13 – патрубок; 2,5 – коліно; 3 – оглядове вікно; 4 – ротаметр; 6 – гайка; 7 – приймач сирного згустку; 8, 28 – шків; 9 – пас; 10 – підшипник; 11 – опорне кільце; 14, 18 – вал; 15 – станина; 16, 19 – пробка; 17 – маслопоказчик; 20 – тахометр; 21 – чаша; 22, 25 – прижим; 23 – ковпак; 24 – скребок; 26 – кришка; 27 – барабан; 29, 30 – двигун; 31 – редуктор.

Основними частинами сепаратора є: станина 15, в якій розміщений приводний механізм, що складається з зубчатої пари (мультиплікатор), двигуна та гальма; скребковий механізм; барабан та приймально-відвідний пристрій.

Крутний момент від валу електродвигуна 30 передається на горизонтальний вал 18 сепаратора, а від нього, через зубчасту передачу на вертикальний вал 14.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якубчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Устрій та принцип роботи сепаратора</b>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/3</b>
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.					

Вертикальний вал обертається в двох опорах – верхньою та нижньою. Верхня опора являє собою підшипник, що встановлюється у обоймі, до зовнішньої циліндричної поверхні якої прилягають компенсатори динамічних навантажень, встановлені в гніздах корпусу. Компенсатор динамічних навантажень являє собою втулку в середині якої встановлена пружина. Один торець втулки опирається на обойму, а інший – закритий пробкою. Такий пристрій забезпечує пружність верхньої опори, що дозволяє барабану разом з вертикальним валом плавно переходити критичну частоту обертання та зберігати стійкий і спокійний хід у процесі розділення сквашеного молока.

Нижня опора складається з зведеного радіально-упорного підшипника, встановленого в стакані. Навантаження від сили тяжіння та ваги барабану з сепаруючою в ньому суспензією передається через підшипник на упор, пружину, регульовальну шайбу і на дно стакану. Стакан встановлений в станині та закритий кришкою з ущільнюючим кільцем.

Скребок механізм змонтований на основі чаші станини та призначений для видалення ущільненого сирного згустку з сепаратора. Даний механізм складається з шківів 8 до якого приєднані чотири скребки. Шків встановлений в опорному кільці та опирається на спеціальний підшипник. Приведення в рух шківів відбувається за рахунок отримання крутного моменту від електродвигуна 29 та через механічні передачі (пасова передача та черв'ячний редуктор). Редуктор 31 та електродвигун 29 з'єднані між собою фланцевим з'єднанням та встановлені на кронштейні. Для збільшення кута обхвату пасом ведучого шківів та натягу пасу передбачено ролик, що встановлений на поворотному кронштейні. Натяг пасів виконується поворотом кронштейна навколо його осі за допомогою спеціального натяжного болта.

Барабан 27 є основним робочим органом сепаратора. В ньому

відбувається розділення сквашеного молока на сироватку та сирний згусток.

Барабан кріпиться до вертикального валу спеціальною гайкою 6 і складається з підставки, на яку встановлюється тарілотримач, положення якого фіксується штифтом. На тарілотримач в порядку номерів надіваються тарілки. Зверху тарілки накриваються кришкою, яка встановлюється в посадочне місце основи барабану та затягується затяжним кільцем. У верхній частині кришки знаходиться випускне кільце, через які з барабана видаляється сироватка, яка в подальшому потрапляє в приймач сироватки і виходить з нього в відповідний патрубок.

Внутрішні конічні поверхні основи та кришки утворюють каналний простір для ущільнення сирного згустку. В основі барабану, на периферії конічного простору, знаходяться чотири механізми видалення ущільненого сирного згустку. Ущільнений до необхідної вологості сирний згусток видаляється з барабану і потрапляє в приймач 7 в якому він захоплюється скребками і переміщується до вивантажувального лотка.

Принцип дії сепаратора наступний. Коли барабан сепаратора набере робочу частоту обертання, в нього подають гарячу воду для промивки та перевірки герметичності з'єднань. Після промивки барабана, в нього подають ферментоване молоко. Проходячи через отвори в тарілотримачі та тарілках, молоко розподіляється тонким шаром в міжтарілковому просторі. За рахунок дії відцентрової сили, воно розділяється на дві фракції – легку (сироватку) та важку (сирний згусток). Важка фракція відкидається до стінок барабану, ущільнюється і викидається з нього через вивантажувальний механізм. Далі сирний згусток потрапляє в приймач, з якого він видаляється скребковим механізмом. Легка фракція відтісняється до осі барабана та виходить з нього через випускне кільце в кришці і рухається далі в приймач сироватки з якого видаляється з сепаратора через патрубок.

## 6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### Технологічний розрахунок

1. Об'єм ущільненого сирного згустку, який видаляється з барабана при штатному виконанні вивантажувального механізму, м<sup>3</sup>/с:

$$Q = \mu z f \omega R \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2}, \quad (6.1)$$

де:  $\mu$  - коефіцієнт опору;

$z$  - кількість сопел, шт;

$f$  - площа вихідного отвору сопла, м<sup>2</sup>;

$\omega$  - кутова швидкість барабана, с<sup>-1</sup>;

$R$  - відстань від осі барабана до внутрішньої поверхні вихідного отвору сопла, м;

$r$  - відстань від осі барабана до внутрішньої циліндричної поверхні тарілок, м.

$$Q = 0,75 \cdot 4 \cdot 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot 523 \cdot 0,286 \sqrt{1 - \left(\frac{0,066}{0,286}\right)^2} = 0,00012 \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Маса сирного згустку, що видаляється з барабана сепаратора, кг/год:

$$M = Q \cdot \rho, \quad (6.2)$$

де:  $\rho$  - густина сирного згустку, кг/м<sup>3</sup>.

$$M = 0,00012 \cdot 1060 = 0,1272 \text{ кг/с} \approx 460 \text{ кг/год}$$

Таку ж продуктивність повинен забезпечити новий механізм вивантаження ущільненого сирного згустку. При цьому необхідно визначити частоту обертання комірок турнікету.

3. Частота обертання комірок турнікету, об/хв:

$$n = \frac{Q_T}{v}, \quad (6.3)$$

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якубчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубдова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Розрахункова частина</b>				
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.					

де:  $v$  – об’єм комірки турнікету, м<sup>3</sup>;

$Q_T$  – продуктивність однієї комірки вивантажувального механізму, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_T = \frac{Q}{z_T \cdot z_K}, \quad (6.4)$$

де:  $z_T$  – кількість вивантажувальних механізмів в барабані, шт;

$z_K$  – кількість комірок у вивантажувальному механізмі, шт.

$$Q_T = \frac{0,00012}{4 \cdot 4} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді,

$$n = \frac{7,5 \cdot 10^{-6}}{2,806 \cdot 10^{-6}} = 2,6 \text{ с}^{-1} = 24,85 \text{ об/хв}$$

За значенням частоти обертання комірок вивантажувального механізму підбирається необхідна сила притискання пружини  $P$  до фіксатора механізму регулювання вологості. Змінюючи значення сили  $P$ , можна змінювати частоту обертання комірок і тим самим змінювати продуктивність сепаратора та вологість ущільненого сирного згустку.

### Енергетичний розрахунок

1. Загальні витрати потужності, кВт:

$$N = N_1 + N_2 + N_3. \quad (6.5)$$

2. Потужність, що витрачається на надання барабану кінетичної енергії при розгоні, кВт:

$$N_1 = \frac{A}{\tau \cdot 100}, \quad (6.6)$$

де:  $\tau$  – час розгону барабана, с;

$A$  – кінетична енергія барабана, Дж:

$$A = \frac{G \cdot R_i^2 \cdot \omega^2}{2g}, \quad (6.7)$$

де:  $G$  – вага барабана, Н;

$R_i$  – радіус інерції барабана, м:

$$R_i = \frac{D}{4}, \quad (6.8)$$

де:  $D$  – діаметр барабана, м.

$$R_i = \frac{D}{4} = \frac{0,62}{4} = 0,155 \text{ м}$$
$$A = \frac{686 \cdot 0,155^2 \cdot 523^2}{2 \cdot 9,81} = 229770 \text{ Дж}$$

Тоді,

$$N_1 = \frac{A}{\tau \cdot 100} = \frac{229770}{300 \cdot 100} = 7,6 \text{ кВт}$$

3. Потужність, яка необхідна для подолання опору тертя барабана об повітря, кВт:

$$N_2 = 1,5 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \omega^3 \cdot R^5 \left( \frac{1}{\cos \alpha} + 5 \frac{H}{R} + 1 \right), \quad (6.9)$$

де:  $\beta$  – емпіричний коефіцієнт;

$\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$R$  – зовнішній радіус барабана, м;

$\alpha$  – кут підйому твірної кришки, град.

$H$  – висота циліндричної частини барабана, м;

$$N_2 = 1,5 \cdot 17 \cdot 10^{-5} \cdot 1,2 \cdot 523^3 \cdot 0,31^5 \cdot \left( \frac{1}{\cos 50^\circ} + 5 \frac{0,215}{0,31} + 1 \right) = 0,72 \text{ кВт}$$

4. Потужність, яка витрачається на подолання тертя в приводному механізмі, кВт:

$$N_3 = \frac{\mu_0 \cdot m \cdot \pi \cdot d_B \cdot n \cdot g}{60 \cdot 1000}, \quad (6.10)$$

де:  $\mu_0$  – коефіцієнт тертя;

$m$  – маса обертових частин сепаратора, кг;

$d_B$  – діаметр шийки вертикального валу, м.

$$N_3 = \frac{0,3 \cdot 150 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \cdot 5000 \cdot 9,81}{60 \cdot 1000} = 6,7 \text{ кВт}$$

Тоді,

$$N = 7,6 + 0,72 + 6,7 = 15,02 \text{ кВт}$$

5. Потужність електродвигуна сепаратора, кВт:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N \cdot 1,1}{\eta_{\text{дв}}}, \quad (6.11)$$

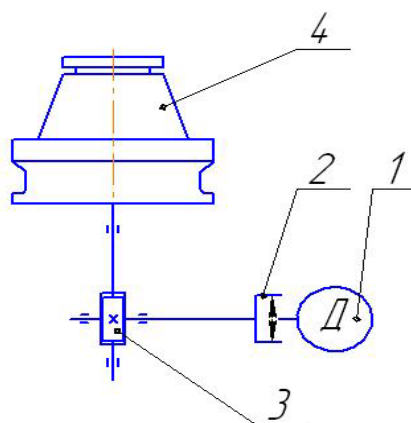
де:  $\eta_{\text{дв}}$  – ККД двигуна

$$N_{\text{дв}} = \frac{15,02 \cdot 1,1}{0,9} = 18,35 \text{ кВт}$$

За стандартом приймаємо двигун потужністю 18,5 кВт.

## Механічні розрахунки

*Кінематичний та силовий розрахунок привода сепаратора*



**Рис. 6.1. Кінематична схема привода сепаратора**

1 – двигун; 2 – муфта; 3 – зубчаста передача; 4 - барабан

1. Загальний ККД привода сепаратора:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{зп}} \cdot \eta_{\text{пк}}^2 \quad (6.12)$$

де:  $\eta_{\text{м}}$  – ККД муфти;

$\eta_{\text{зп}}$  – зубчатої передачі;

$\eta_{\text{пк}}$  – ККД однієї пари підшипників кочення.

$$\eta_{\text{заг}} = 0,98 \cdot 0,8 \cdot 0,99^2 = 0,76$$

2. Передаточне відношення зубчатої передачі:

$$i_{\text{зп}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n}, \quad (6.13)$$

де:  $n_{дв}$  – частота обертання валу електродвигуна, об/хв.

$$i_{зп} = \frac{1450}{5000} = 0,29$$

3. Частота обертання валів, об/хв:

- горизонтального:

$$n_1 = n_2 = n_{дв} = 1450 \text{ об/хв}$$

- вертикального:

$$n_3 = \frac{n_2}{i_{зп}} = \frac{1450}{0,29} = 5000 \text{ об/хв}$$

4. Кутова швидкість валів, рад/с:

- горизонтального:

$$\omega_1 = \omega_2 = \frac{\pi \cdot n_{дв}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} = 152 \text{ рад/с}$$

- вертикального:

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{i_{зп}} = \frac{152}{0,29} = 523 \text{ рад/с}$$

5. Потужність на валах, кВт:

- на валу двигуна:

$$P_1 = P_{дв} = 18,5 \text{ кВт}$$

- на горизонтальному валу:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{муфт} \cdot \eta_{пк} \quad (6.14)$$

$$P_2 = 18,5 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 17,9 \text{ кВт}$$

- на вертикальному валу:

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_{зп} \cdot \eta_{пк} \quad (6.15)$$

$$P_3 = 17,9 \cdot 0,8 \cdot 0,99 = 14,1 \text{ кВт}$$

6. Крутний момент на валах, Н·м:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (6.16)$$

- на валу двигуна:

$$T_1 = \frac{18,5 \cdot 10^3}{152} = 121,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- на горизонтальному валу:

$$T_2 = \frac{17,9 \cdot 10^3}{152} = 117,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- на вертикальному валу:

$$T_3 = \frac{14,1 \cdot 10^3}{523} = 26,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

### *Розрахунок зубчатої (гвинтової) передачі*

Вихідні дані:  $P_2 = 17,9$  кВт;  $\omega_3 = 523$  рад/с;  $T_2 = 117,7$  Н·м;  $i = 0,29$ ;

Оскільки дана передача призначена для збільшення кількості обертів вихідного валу, то необхідно зберегти пару тертя. Для вінця веденого колеса призначаємо бронзу Бр010Н1Ф1, для якої  $\sigma_T = 165$  МПа,  $\sigma_B = 285$  МПа. Для ведучого валу-шестерні (черв'яка, гвинта) призначаємо сталь 40Х з термообробкою поліпшення до твердості 280...300 НВ і гартуванням витків струмами високої частоти до твердості 45...50 НРС. Після термообробки здійснюється шліфування витків.

1. Швидкість ковзання в передачі, м/с:

$$V_S^I = \frac{4,3 \cdot \omega_3 \cdot i}{10^3} \cdot \sqrt[3]{T_2} . \quad (6.17)$$

$$V_S^I = \frac{4,3 \cdot 523 \cdot 0,29}{10^3} \cdot \sqrt[3]{117,7} = 3,2 \text{ м/с}$$

2. Допустиме контактне напруження для матеріалу вінця веденого колеса, МПа:

$$[\sigma]_H = 300 - 25 \cdot V_S^I . \quad (6.18)$$

$$[\sigma]_H = 300 - 25 \cdot 3,2 = 220 \text{ МПа}$$

3. Кількість циклів навантаження зубів черв'яка:

$$N = 573 \cdot \omega_3 \cdot L_h . \quad (6.19)$$

$$N = 573 \cdot 523 \cdot 15 \cdot 10^3 = 4,5 \cdot 10^8$$

4. Коефіцієнт довговічності:

$$K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{N}}. \quad (6.20)$$

$$K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{4,5 \cdot 10^8}} = 0,48$$

5. Допустиме напруження на згин, МПа:

$$[\sigma]_F = 0,16 \cdot \sigma_B \cdot K_{FL}. \quad (6.21)$$

$$[\sigma]_F = 0,16 \cdot 285 \cdot 0,48 = 22 \text{ МПа}$$

6. Міжосьова відстань передачі, мм:

$$a_w = 61 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2}{[\sigma]^2_H}}. \quad (6.22)$$

$$a_w = 61 \cdot \sqrt[3]{\frac{117,7 \cdot 10^3}{220^2}} = 84 \text{ мм}$$

По стандарту приймаємо:  $a_w = 100$  мм.

7. Конструктивно призначаємо кількість витків черв'яка:

$$z_1 = 10$$

8. Кількість зубів веденого колеса:

$$z_2 = \frac{z_1}{i}. \quad (6.23)$$

$$z_2 = \frac{10}{0,29} = 35$$

9. Модуль зачеплення, мм:

$$m = (1,5 \dots 1,7) \frac{a_w}{z_2}. \quad (6.24)$$

$$m = (1,5 \dots 1,7) \frac{100}{35} = 4,3 \dots 4,7 \text{ мм}$$

За стандартом приймаємо  $m = 5$  мм.

10. Мінімальне значення коефіцієнта діаметра черв'яка:

$$q_{min} = 0,212 \cdot z_2. \quad (6.25)$$

$$q_{min} = 0,212 \cdot 35 = 7,42$$

За стандартом приймаємо  $q = 10$ .

11. Дійсне передаточне число передачі:

$$u^I = \frac{z_1}{z_2}. \quad (6.26)$$

$$u^I = \frac{10}{35} = 0,29$$

12. Геометричні розміри зубчатого гвинтового колеса ведучого валу:

- ділительний діаметр, мм:

$$d_1 = q \cdot m. \quad (6.27)$$

$$d_1 = 10 \cdot 5 = 50 \text{ мм}$$

- діаметр вершин, мм:

$$d_{a1} = d_1 + 2m. \quad (6.28)$$

$$d_{a1} = 50 + 2 \cdot 5 = 60 \text{ мм}$$

- діаметр впадин, мм:

$$d_{f1} = d_1 - 2.4m. \quad (6.29)$$

$$d_{f1} = 50 - 2.4 \cdot 5 = 38 \text{ мм}$$

- довжина нарізаної частини черв'яка (гвинта), мм:

$$b_1 = m(11 + 0.06z_2). \quad (6.30)$$

$$b_1 = 5(11 + 0.06 \cdot 35) = 65 \text{ мм}$$

Для шліфованого черв'яка довжину нарізаної частини необхідно збільшити на 3 модулі.

Тоді,

$$b^I_1 = b_1 + 3m. \quad (6.31)$$

$$b^I_1 = 65 + 3 \cdot 5 = 80 \text{ мм}$$

- ділительний кут підйому лінії витка, градус:

$$t_{tg\psi} = \frac{z_1}{q}. \quad (6.32)$$

$$t_{tg\psi} = \frac{10}{10} = 1; \psi = 45^\circ$$

13. Геометричні розміри веденого колеса:

- ділительний діаметр, мм:

$$d_2 = m \cdot z_2. \quad (6.33)$$

$$d_2 = 5 \cdot 35 = 175 \text{ мм}$$

- діаметр вершин зубів, мм:

$$d_{a2} = d_2 + 2m. \quad (6.34)$$

$$d_{a2} = 175 + 2 \cdot 5 = 185 \text{ мм}$$

- діаметр впадин зубів, мм:

$$d_{f2} = d_2 - 2.4m. \quad (6.35)$$

$$d_{f2} = 175 - 2.4 \cdot 5 = 163 \text{ мм}$$

- ширина вінця колеса, мм:

$$b_2 = 0,335 \cdot a_w. \quad (6.36)$$

$$b_2 = 0,335 \cdot 100 = 33,5 \text{ мм}$$

14. Дійсна швидкість ковзання в передачі, м/с:

$$V_s = \frac{u^I \cdot \omega_2 \cdot d_1}{2 \cdot \cos \psi}. \quad (6.37)$$

$$V_s = \frac{0,29 \cdot 523 \cdot 0,05}{2 \cdot \cos 45^\circ} = 3,7 \text{ м/с}$$

В залежності від швидкості ковзання приймаємо кут тертя:  $\varphi^I = 2,1$ .

15. ККД передачі:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi)}. \quad (6.38)$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} 45}{\operatorname{tg}(45 + 2,1)} = 0,93$$

16. Сили, що діють у зачепленні:

- колова сила на веденому колесі і осьова на валу-шестірні, Н:

$$F_{t2} = F_{a1} = \frac{2T_2}{d_2}. \quad (6.39)$$

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot 117,7 \cdot 10^3}{175} = 1345 \text{ Н}$$

- колова сила на валу-шестерні і осьова на веденому колесі, Н:

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{F_{t2} \cdot z_1}{q \cdot \eta}. \quad (6.40)$$

$$F_{t1} = \frac{1345 \cdot 10}{10 \cdot 0,92} = 1462 \text{ Н}$$

- радіальна сила на обох зубчатих колесах, Н:

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (6.41)$$

$$F_{r1} = 1345 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 1345 \text{ Н}$$

17. Дійсне допустиме контактне напруження, МПа:

$$[\sigma]_H = 300 - 25 \cdot V_S. \quad (6.42)$$

$$[\sigma]_H = 300 - 25 \cdot 3,7 = 208 \text{ МПа}$$

18. Розрахункове контактне напруження, МПа:

$$\sigma_H = 340 \cdot \sqrt{\frac{F_{t2} \cdot K}{d_1 \cdot d_2}}, \quad (6.43)$$

де:  $K$  - коефіцієнт навантаження.

$$\sigma_H = 340 \cdot \sqrt{\frac{1345 \cdot 2}{50 \cdot 175}} = 188 \text{ МПа} < [\sigma]_H = 208 \text{ МПа}$$

Контактна міцність зубів забезпечена.

19. Еквівалентна кількість зубів веденого колеса:

$$z_{V2} = \frac{z_2}{\cos^3 \psi}. \quad (6.44)$$

$$z_{V2} = \frac{35}{\cos^3 45} = 49,5$$

20. Прийmemo коефіцієнт форми зуба:  $Y_{F2} = 1,45$

21. Розрахункове напруження на згин, МПа:

$$\sigma_F = \frac{0,7 \cdot Y_{F2} \cdot F_{t2} \cdot K}{b_2 \cdot m}, \quad (6.45)$$

$$\sigma_F = \frac{0,7 \cdot 1,45 \cdot 1345 \cdot 2}{33,5 \cdot 5} = 16,3 \text{ МПа} < [\sigma]_F = 22 \text{ МПа}$$

Міцність зубів на згин забезпечена.

*Розрахунок вертикального вала*

1. Діаметр вихідного кінця вала, мм:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_2}{\pi \cdot [\tau]}}, \quad (6.46)$$

де:  $[\tau]$  – допустиме напруження на кручення, МПа.

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 26 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 25}} = 22,4 \text{ мм}$$

Приймаємо  $d_B = 25 \text{ мм}$

Інші розміри вала призначаємо конструктивно. Для виготовлення валу призначаємо сталь 40Х.

2. Межа витривалості матеріалу, МПа:

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot \sigma_B. \quad (6.47)$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot 930 = 400 \text{ МПа}$$

3. Допустиме напруження на згин при симетричному циклі навантажень, МПа:

$$[\sigma_3]_{-1}^{II} = (\sigma_{-1} / ([n] \cdot k_G)) \cdot r_{\text{ри}}, \quad (6.48)$$

де:  $[n]$  – коефіцієнт запасу міцності;

$k_G, r_{\text{ри}}$  – розрахункові коефіцієнти.

$$[\sigma_3]_{-1}^{II} = (400 / (2,5 \cdot 2)) \cdot 1 = 80 \text{ МПа}$$

4. Будуємо схему навантаження вала та визначаємо реакції опор:

- реакції опор в вертикальній площині Y-X:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$F_r \cdot a - F_a \frac{d_1}{2} - Y_B (a + b) = 0$$

$$Y_B = \frac{F_r \cdot a - F_a \frac{d_1}{2}}{a + b} = \frac{1345 \cdot 135 - 1462 \frac{50}{2}}{135 + 365} = 290,05 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$1345 \cdot 135 - 1462 \frac{50}{2} - 290,05(135 + 365) = 0$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$Y_A \cdot (a + b) - F_a \frac{d_1}{2} - F_r \cdot b = 0$$

$$Y_A = \frac{F_a \cdot \frac{d_1}{2} + F_r \cdot b}{a + b} = \frac{1462 \cdot \frac{50}{2} + 1345 \cdot 365}{135 + 365} = 1054,95 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$1054,95 \cdot (135 + 365) - 1462 \frac{50}{2} - 1345 \cdot 365 = 0$$

- реакції опор у горизонтальній площині X-Z:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$F_t \cdot a - X_B(a + b) = 0$$

$$X_B = \frac{F_t \cdot a}{a + b} = \frac{1345 \cdot 135}{135 + 365} = 363,15 \text{ H}$$

Перевірка:

$$1345 \cdot 135 - 363,15 \cdot (135 + 365) = 0$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$X_A(a + b) - F_t \cdot b = 0$$

$$X_A = \frac{F_t \cdot b}{(a + b)} = \frac{1345 \cdot 365}{(135 + 365)} = 981,85 \text{ H}$$

Перевірка:

$$981,85 \cdot (135 + 365) - 1345 \cdot 365 = 0$$

Крутний момент:  $M_k = T_2 = 26 \text{ H}$

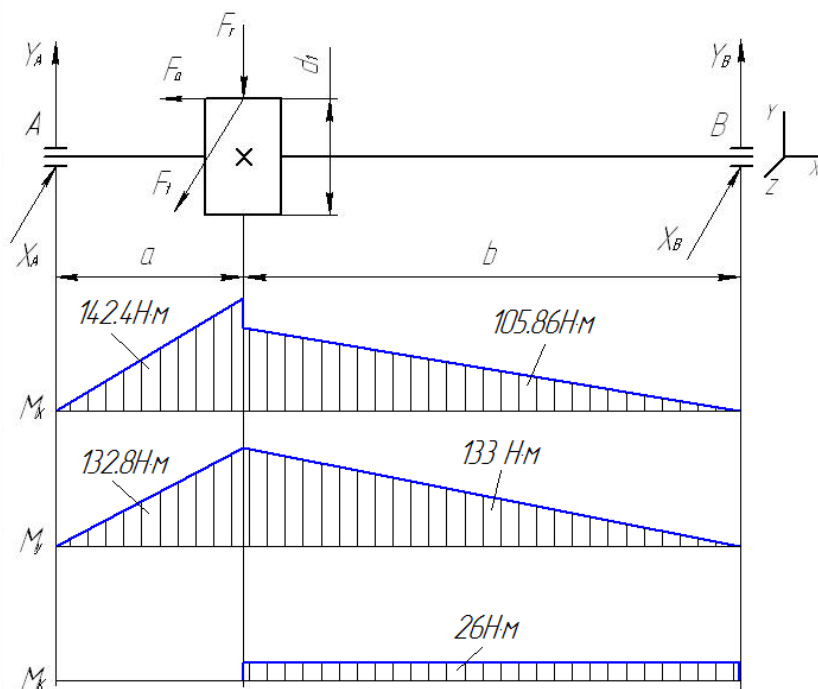


Рис. 6.2. Схема навантаження валу

5. Сумарні згинальні моменти, Н·м:

$$M_{\text{сум}} = M_3 = \sqrt{(Y_B \cdot b)^2 + (X_A \cdot a)^2}. \quad (6.49)$$

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{(290,05 \cdot 0,365)^2 + (981,85 \cdot 0,135)^2} = 170 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

6. Згинальне напруження, МПа:

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W_x} = \frac{32 \cdot M_3}{\pi \cdot d^3}. \quad (6.50)$$

$$\sigma_3 = \frac{32 \cdot 170}{3,14 \cdot 0,03^3} = 64166077 \text{ Па} \approx 64,1 \text{ МПа}$$

7. Максимальне напруження при крученні, МПа:

$$\tau_k = \frac{T}{W_p} = \frac{16 \cdot T_2}{\pi \cdot d^3}. \quad (6.51)$$

$$\tau_k = \frac{16 \cdot 26}{3,14 \cdot 0,03^3} = 4906820 \text{ Па} \approx 4,9 \text{ МПа}$$

8. Еквівалентне напруження, МПа:

$$\sigma_{III} = \sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau_k^2}. \quad (6.52)$$

$$\sigma_{III} = \sqrt{64,1^2 + 4 \cdot 4,9^2} = 64,8 \text{ МПа} < [\sigma_3]_{-1}^{II} = 80 \text{ МПа}$$

Міцність валу забезпечена.

9. Критична кутова швидкість валу, рад/с:

$$\omega_{кр} = \frac{l}{L} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (6.53)$$

де:  $l$  – відстань між підшипниками, м;

$L$  – відстань від центра ваги барабану до нижнього підшипника, м;

$m$  – вага барабану, кг;

$K$  – масштаб системи верхнього підшипника:

$$K = 1,5 \cdot K_1 \quad (6.54)$$

$K_1$  – навантаження, що викликає деформацію пружини на одиницю

довжини:

$$K_1 = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot n \cdot D^3} \quad (6.55)$$

де:  $G$  – модуль зсуву;

$d$  – діаметр дроту, з якого виготовлена пружина, мм;

$n$  – число робочих витків пружини.

$$K_1 = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 0.0075^4}{8 \cdot 4 \cdot 0.07^3} = 23 \text{ кН / м}$$

$$K = 1.5 \cdot 23 = 34,5 \text{ кН / м}$$

Тоді,

$$\omega_{кр} = \frac{0,5}{0,71} \cdot \sqrt{\frac{34,5 \cdot 10^3}{70}} = 894 \text{ рад / с}$$

10. Критична частота обертання валу, об/хв:

$$n_{кр} = \frac{30 \cdot \omega_{кр}}{\pi} = \frac{30 \cdot 894}{3,14} = 8537 \text{ об / хв}$$

*Розрахунок основи барабана*

1. Найбільше сумарне напруження, що виникає в матеріалі барабану, МПа:

$$\sigma_t = \frac{\rho \cdot V^2}{4 \cdot a^2} (3.3 + 0.7 \cdot a^2) + \frac{\rho_p \cdot V^2}{2} \frac{1 + a^2}{1 - a^2}, \quad (6.56)$$

де:  $V$  – колова швидкість на внутрішньому радіусі стінки основи барабана, м/с:

$$V = \omega r_0, \quad (6.57)$$

$$V = 523 \cdot 0,267 = 139,6 \text{ м/с}$$

$\rho$  – густина матеріалу, з якого виготовлена основа барабана, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_c$  – густина продукту, що сепарується, кг/м<sup>3</sup>;

$a$  – відношення внутрішнього радіуса стінки основи до зовнішнього:

$$a = \frac{r_0}{R} \quad (6.68)$$

$$a = \frac{0,267}{0,31} = 0,861$$

Тоді,

$$\sigma_t = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 139,6^2}{4 \cdot 0,861^2} \cdot (3,3 + 0,7 \cdot 0,861^2) + \frac{1060 \cdot 139,6^2}{2} \cdot \frac{1 + 0,861^2}{1 - 0,861^2} = 269,3 \text{ МПа}$$

2. Товщина стінки основи барабана, м:

$$h = \frac{r_0 \cdot \lambda \cdot \psi \cdot \sigma_0}{2 (\sigma - \sigma_0)}, \quad (6.59)$$

де:  $\lambda$  – відношення густини сирного згустку до густини матеріалу барабана:

$$\lambda = \frac{\rho_c}{\rho} = \frac{1060}{8000} = 0,132$$

$\psi$  – коефіцієнт заповнення барабана продуктом;

$\sigma$  – допустиме напруження, МПа;

$\sigma_0$  – напруження в стінці, що виникає в наслідок дії відцентрової сили:

$$\sigma_0 = \frac{\rho \cdot V^2}{2} = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 139,6^2}{2} = 78 \text{ МПа.}$$

Тоді,

$$h = \frac{0,267}{2} \cdot \frac{0,132 \cdot 1 \cdot 78 \cdot 10^6}{(170 \cdot 10^6 - 78 \cdot 10^6)} = 0,029 \text{ м}$$

Приймаємо  $h = 30 \text{ мм}$ .

*Розрахунок кришки барабана*

1. Товщина стінки кришки на різній відстані від осі обертання, м:

$$h = \frac{\lambda \cdot R_x}{2 \cdot \cos \alpha \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} - 1 \right)}, \quad (6.60)$$

де:  $R_x$  – відстань від осі обертання, на якій визначається товщина, м

$\alpha$  – кут нахилу стінки кришки до вертикалі, град.

$$h = \frac{0,132 \cdot 0,143}{2 \cdot \cos 50^\circ \cdot \left( \frac{170 \cdot 10^6}{78 \cdot 10^6} - 1 \right)} = 0,018 \text{ м}$$

Приймаємо  $h = 18 \text{ мм}$ .

## 7. ПІДБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

При виготовленні обладнання для харчової промисловості використовують різні матеріали, серед яких метали (чавун, вуглецеві і корозійностійкі сталі, титан, мідь і алюміній або сплави на їх основі) та неметали (бакеліт, текстоліт, вініпласт, фторопласт і ін.) [15].

До всіх металів і сплавів, що мають контакт з харчовими продуктами, пред'являються особливі вимоги, пов'язані з процесами корозії металів. Корозійна стійкість залежить від ряду факторів:

- метали і сплави, стійкі в одних середовищах, можуть бути абсолютно нестійкими в інших.
- швидкість корозії в одних і тих же корозійних умовах (середовище, концентрація, температура) може бути різною в залежності наприклад, від стану поверхні металу.

Змішуючись з харчовими продуктами, продукти корозії знижують їх якість, а іноді роблять їх абсолютно непридатними для харчування, тому деталі машин і апаратів харчових виробництв не повинні піддаватися корозії від контакту з харчовими продуктами. Крім того, деталі обладнання повинні легко очищатися від залишків продуктів і не руйнуватися під впливом мийних середовищ.

Для забезпечення високої якості харчових продуктів і належних програм санітарії, обладнання має бути спроектовано та виготовлено відповідно до принципів гігієнічного проектування. Це гарантує, що обладнання може бути належним чином очищене та продезінфіковане і що поверхні стійкі до щоденного впливу агресивних речовин харчових продуктів і до дезінфікуючих розчинів.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Підбір конструкційних матеріалів</b>				
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

Оскільки основний робочий орган та приймально-відвідний пристрій сепаратора мають прямий контакт з харчовим продуктом, то їх необхідно виготовляти з корозійностійких сталей. Серед них найпоширенішими є такі марки як 08X18H10 та 12X18H10T. Тому доцільно дані деталі виготовляти саме з таких сталей.

Вали, для забезпечення міцності, надійності та довговічності роботи необхідно виготовляти з якісних конструкційних сталей, зокрема з легованої сталі марки 40X.

Станину сепаратора можна виготовляти з чавуну або алюмінію. Вибір матеріалу для даного елемента визначається конструктивними особливостями сепаратора. З економічної точки погляду найдешевшим матеріалом для виготовлення станини є ливарний чавун марки СЧ 15.

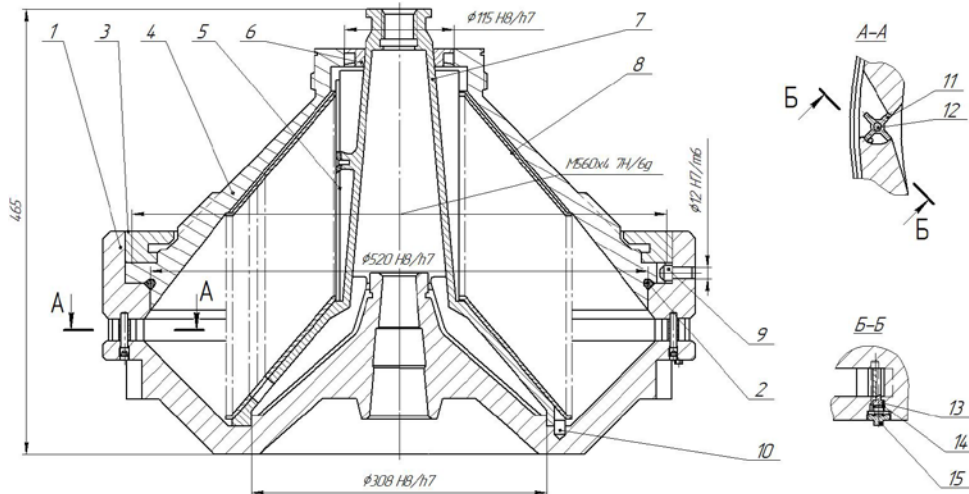
Деталі, які не контактують з харчовими продуктами, необхідно виготовляти з конструкційних сталей або чавуну (сталь 10, сталь 20, сталь 45, СЧ 15, СЧ 20 тощо).

Зубчасту передачу необхідно виготовляти з урахуванням того, що вона збільшує кількість обертів від вхідного валу до вихідного, тому необхідно зберегти пару тертя. Для вхідного валу-шестерні найкращим матеріалом є сталь 40X, а для вихідного колеса – маточина сталь 45, а вінець бронза Бр.О10Н1Ф1.

## 8. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

### Розроблення технологічного процесу складання барабана сепаратора

Для розробки схеми та технологічного маршруту складання обрано барабан сепаратора ОСЯ (рис.8.1). Барабан – основний елемент сепаратора, в якому відбувається розділення суспензій на фракції під дією відцентрової сили.



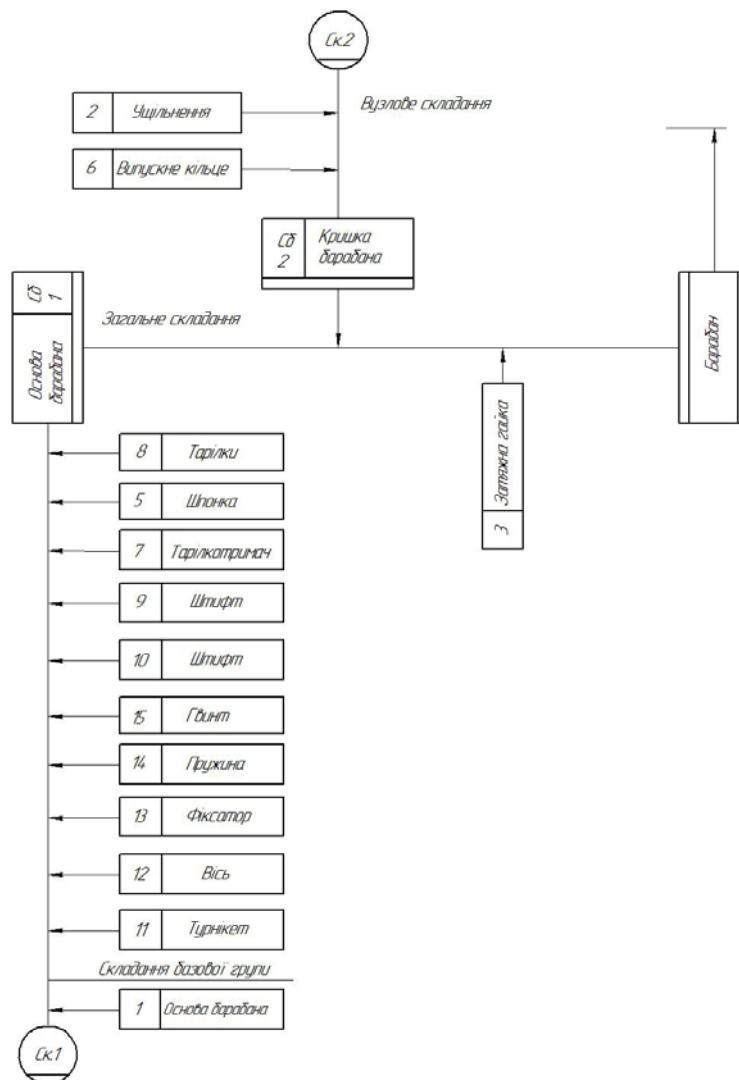
**Рис. 8.1 Барабан сепаратора**

№ Позиції	Назва	Кількість
1	Основа	1
2	Ущільнення	1
3	Затяжне кільце	1
4	Кришка	1
5	Шпонка	1
6	Випускне кільце	1
7	Тарілотримач	1
8	Тарілки	55
9	Штифт	1
10	Штифт	1
11	Турнікет	4
12	Вісь	4
13	Фіксатор	4
14	Пружина	4
15	Гвинт	4

**Таблиця 8.1.** Подетальний склад барабана.

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Якобчук Р. Л.	Вид документа <b>Пояснювальна записка</b>	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Якубова І.К.	Назва, додаткова назва <b>Технологія машинобудування</b>	Інд. змін.	Дата видання	Мова <b>UA</b>	Аркуш <b>1/7</b>
	Документ затверджено Мирончук В. Г.					

З аналізу конструкції барабана можна виділити складальні одиниці 1-го порядку, а саме: Ск.1 – основа барабан, Ск.2 – кришка барабана, а також окрему деталь – затяжне кільце 3.



**Рис. 8.2. Технологічна схема складання барабана**

Вертикальні лінії зі стрілками показують послідовність складання окремих складальних одиниць, а горизонтальна лінія в центрі схеми – послідовність з'єднання складальних одиниць 1-го порядку за допомогою стандартних виробів. У прямокутниках розміщені найменування деталей і номери їхніх позицій на кресленні, а в прямокутниках з двома потовщеними лініями подано найменування складальних одиниць 1-го порядку.

Технологічний маршрут складання барабана представлено в таблиці 8.2

№ Операції	№ Переходу, зміст переходу
10. Збирання основи барабана (Ск.1)	10.1 Встановити основу барабана. 10.2 Встановити турнікет. 10.3 Вставити вісь. 10.4 Вставити фіксатор. 10.5 Встановити пружину. 10.6 Встановити гвинт. 10.7 Встановити штифт. 10.8 Встановити штифт. 10.9 Встановити тарілотримач. 10.10 Встановити шпонку в тарілотримач . 10.11 Встановити тарілки на шпонку.
20. Збирання кришки барабана (Ск.2)	20.1 Встановити кришку. 20.2 Встановити ущільнення. 20.3 Встановити випускне кільце. 20.4 Встановити складальний вузол «кришка барабана Ск.2» в «основу барабана Ск.1» 20.5 З'єднати складальний вузол «кришка барабана Ск.2» з «основа барабана Ск.1» затяжним кільцем.

**Таблиця 8.2** Технологічний маршрут складання барабана

### Розрахунок надійності основи барабана при експлуатації

За довідниками визначаємо необхідні характеристики матеріалу, з якого виготовлено основа барабана. Матеріал основи барабана – сталь 12Х18Н10Т, густина сталі  $\rho=7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, межа текучості  $\sigma_m=9 \cdot 10^8$  Па. Середнє квадратичне відхилення квадрату швидкості  $S_v^2=4,09 \cdot 10^3$ , середнє квадратичне відхилення межі руйнування  $S_{cp}=92 \cdot 10^7$  Па.

За кресленням барабана сепаратора знаходимо необхідні геометричні розміри: внутрішній радіус  $r_0 = 0,267$ м, діаметр основи  $d = 0,62$ м.

Колова швидкість барабана:

$$v = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{d}{2} = \frac{3,14 \cdot 5000}{30} \cdot \frac{0,62}{2} = 162,1 \text{ м/с}$$

Критерій міцності:

$$\overline{Ne_p} = \frac{\overline{\sigma_T}}{v^2 \cdot \rho} = \frac{9 \cdot 10^8}{162,1^2 \cdot 7,8 \cdot 10^3} = 4,39$$

Критерій міцності, який відповідає руйнуванню матеріалу в найбільш навантажених точках:

$$Ne_p = \frac{\overline{Ne_p}}{2} = \frac{4,39}{2} = 2,21$$

Оскільки отримане значення критерію міцності менше ніж 2,5, тому товщину стінки основи барабана  $S$ , визначаємо як для товстостінного циліндра. Користуючись відповідною діаграмою, визначаємо значення величини  $\beta$ ,  $\beta=0,112$

$$\beta = \frac{S}{r_0} = 0,112$$

де:  $S$  – товщина стінки основи барабана, м.

Товщина стінки основи барабана:

$$S = \beta \cdot r_0 = 0,112 \cdot 0,267 = 0,0297\text{м} = 29,7\text{мм}$$

Прийmemo  $S = 30\text{мм}$ .

Коефіцієнт варіації квадрату швидкості барабана:

$$V_{v^2} = \frac{S_{v^2}}{v^2} = \frac{4090}{162,1^2} = 0,157$$

Відношення:

$$\frac{S_{\sigma_p}}{\rho \cdot v^2 \cdot Ne_p} = \frac{92 \cdot 10^6}{7,8 \cdot 10^3 \cdot 162,1^2 \cdot 2,21} = 0,158$$

Інтеграл:

$$z_1 = - \frac{\frac{\overline{Ne_p}}{Ne_p} - 1}{\sqrt{\left(\frac{S_{\sigma_p}}{\rho \cdot v^2 \cdot Ne_p}\right)^2 + V_{v^2}}} = \frac{\frac{4,39}{2,21} - 1}{\sqrt{\left(\frac{92 \cdot 10^6}{7,8 \cdot 10^3 \cdot 162,1^2 \cdot 2,21}\right)^2 + 0,175}} \approx -5,11$$

За таблицею, знаходимо ймовірність того, що основа барабана не зруйнується:  $R \approx 0,9998$ . Отриманий показник свідчить, що основа барабана має високу експлуатаційну надійність.

Спираючись на аналіз конструкції виробу та умови його роботи, визначаємо шифр виробу як 2211, що означає, що виріб відноситься до відновлювальних виробів, які експлуатуються до відмови або до досягнення граничного стану у безперервному режимі роботи та з наявністю відмови в якості домінуючого чинника наслідків відмови.

### **Сертифікація елементів технологічного обладнання**

Відповідно до ДСТУ 3413-96 (Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції.) Порядок проведення сертифікації продукції в загальному випадку містить такі пункти:

- подання та розгляд заявки на сертифікацію продукції;
- аналіз наданої документації;
- прийняття рішення за заявкою із зазначенням схеми (моделі) сертифікації;
- обстеження виробництва;
- атестацію виробництва продукції, що сертифікується, або сертифікацію системи якості, якщо це передбачено схемою сертифікації;
- відбирання, ідентифікацію зразків продукції та їх випробування;
- аналіз одержаних результатів та прийняття рішення про можливість видачі сертифіката відповідності;
- видачу сертифіката відповідності, укладання ліцензійної угоди та занесення сертифікованої продукції до Реєстру Системи;
- визнання сертифіката відповідності, що виданий закордонним органом;
- технічний нагляд за сертифікованою продукцією;
- інформацію про результати робіт з сертифікації.

Для проведення сертифікації обрано барабан сепаратора ОСЯ:

- серійність виробів, що сертифікуються - одиничний виріб;
- обстеження виробництва - не проводиться;
- атестація виробництва - не проводиться;
- сертифікація системи якості виробництва - не проводиться;

- випробування з метою сертифікації - проводяться по кожному виробу;
- технічний нагляд за виробництвом - не проводиться;
- документи, що видаються органом з сертифікації продукції - сертифікат відповідності на кожний виріб.

### Розрахунок розмірного ланцюга складальної одиниці

При складанні вузлів машин, як правило, має місце похибка розміру замикаючої ланки відповідної складальної одиниці. Це обумовлено похибками у розмірах складових деталей та їх розташуванням у складальній одиниці. Дійсні значення складових ланок розмірних ланцюгів утворюються лише в процесі складання машини.

При великій кількості ланок розмірного ланцюга і малого допуску замикаючої ланки (зазору чи натягу), точність виготовлення деталей може в значній мірі ускладнити виробництво. У таких випадках доводиться або відмовитися від повної взаємозамінності, допускаючи підгонку деталей по місцю, або вводити в конструкцію складальної одиниці компенсатори, які дозволяють регулювати допуск замикаючої ланки.

Компенсатор – це набір регулювальних шайб заданої товщини. За їх допомогою витримуються встановлені межі точності в розмірному ланцюзі.

Розрахуємо розмірний ланцюг для барабана сепаратора.

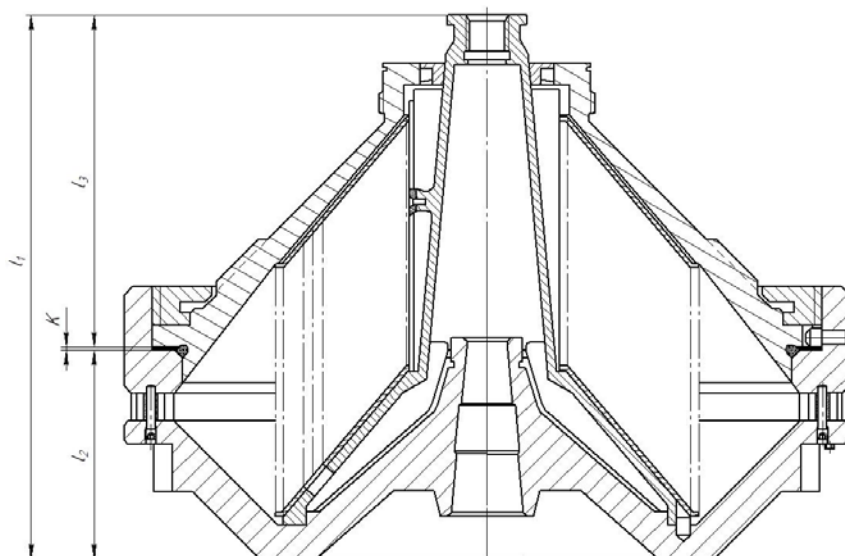


Рис. 8.3. Складальна одиниця

З врахуванням допусків на розміри деталей, що входять в розмірний ланцюг:  $\delta_{l_1} = +0,38$ ;  $\delta_{l_2} = -0,24$ ;  $\delta_{l_3} = -0,28$ , визначимо розміри всіх деталей (рис.8.3):  $l_1 = 423^{+0,38}$ ;  $l_2 = 178_{-0,24}$ ;  $l_3 = 245_{-0,28}$ .

Розмір компенсатора визначається за формулою:

$$\delta_k = [\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i],$$

де:  $\delta_i$ - величина допуску  $i$ -тої складової ланки;

$m$  - кількість ланок розмірного ланцюга;

$$\delta_k = (\delta_{l_1} + \delta_{l_2} + \delta_{l_3}) = (0,38 + 0,24 + 0,28) = 0,9 \text{ мм}$$

У межах визначеної величини  $\delta_k = 0,9 \text{ мм}$ , для забезпечення нормальної експлуатації вузла, приймаємо один компенсатор товщиною  $K=0,9 \text{ мм}$ .

## 9. ПРАВИЛА МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ

**Монтаж.** По своїм динамічним властивостям сепаратор є швидкохідної машиною, у якого частота обертання вертикального валу складає 5000 об/хв, тому до його монтажу пред'являють високі вимоги [4, 14]. При неправильно виконаному монтажі пуск і експлуатація сепаратора стають небезпечними як для монтажників, так і для обслуговуючого персоналу. Монтаж сепараторів необхідно виконувати з особливою ретельністю та дотриманням всіх вимог, наведених в інструкції заводу-виготовлювача.

Транспортні і монтажні роботи необхідно проводити з дотриманням вимог безпеки, не допускаючи забоїв, вм'ятин, подряпин на поверхнях деталей і вузлів.

Сепаратор необхідно встановлювати на фундамент за допомогою фундаментних болтів, на які надягають гумові накладки (амортизатори), що призначені для гасіння вібрації.

Встановлення сепаратора на фундамент необхідно виконувати так, щоб вертикальний вал знаходився чітко в вертикальному положенні. Положення сепаратора вивіряють рівнем та лінійкою, що укладають на верхню оброблену частину чаші станини в двох взаємно перпендикулярних напрямках. В першу чергу рівень укладають по горизонтальній осі сепаратора, що збігається з віссю електродвигуна, а потім по другій – перпендикулярній до неї. Відхилення від горизонтальності в обох напрямках має бути не більше 0,02-0,05 мм на 1000 мм діаметра чаші сепаратора. Положення сепаратора регулюють металевими кільцями, що укладаються під лапи станини між фундаментом і амортизатором.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Правила монтажу, експлуатації та ремонту</b>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/3</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.						

Після вивірки сепаратора за рівнем, на фундаментні болти поверх лап надягають гумові прокладки з ковпачками і нагвинчують гайки. Гайки на фундаментних болтах слід затягувати рівномірно і плавно. Після затягування гайок і установки контргайок сепаратор повинен бути щільно притиснутий до фундаменту, але стояти на ньому «м'яко», щоб гумові амортизатори не втратили еластичність.

Електропроводку та заземлення необхідно виконати згідно з правилами технічної експлуатації і безпеки обслуговування електроустановок промислових підприємств.

Після завершення монтажу необхідно здійснити ревізію, зняти з деталей та вузлів сепаратора консервант та здійснити випробування на холостому ході та під навантаженням. Якщо в результаті випробування вхолосту не буде виявлено ніяких дефектів, то можна приступати до випробування сепаратора під навантаженням, яке здійснюється на воді. Воду починають подавати після досягнення повних обертів барабана.

Крім того, необхідно здійснити принаймні 2-3 рази заміну мастила після попереднього промивання масляної ванни з приводним механізмом, а також обкатки сепаратора.

**Експлуатація сепаратора.** Для безпечної роботи з сепаратором необхідно перед пуском його в роботу перевірити: кількість та якість мастила у масляній ванні станини; справність гальма; кріплення деталей приймально-відвідного пристрою та трубопроводів.

Під час пуску сепаратора необхідно контролювати тривалість набору робочої частоти обертання барабан. Тривалість набору барабаном номінальної частоти обертання знаходиться в межах 3-6 хв. При пуску сепаратора фрикційна муфта може нагріватися та навіть диміти – це явище нормальне. Під час розгону барабана може дещо збільшуватися вібрація сепаратора, яка в міру збільшення частоти обертання зникає. При появі

сторонніх шумів необхідно негайно вимкнути двигун, встановити та усунути причину цього.

При досягненні номінальної частоти обертання барабана здійснюється подача спочатку води, для промивки барабана, а потім – сквашеного молока.

При роботі сепаратора необхідно контролювати тиск перед фільтром. Якщо тиск піднімається вище  $10 \cdot 10^4 \dots 15 \cdot 10^4$  Па, то включають в роботу другий фільтр. Перший фільтр розбирають і очищають.

Після завершення розділення сквашеного молока, в сепаратор подають воду на протязі 4-6 хв для охолодження і очищення внутрішніх поверхонь барабану, тарілок та механізму вивантаження ущільненого сирного згустку. Після цього сепаратор зупиняють вимикаючи електродвигун, а через 2-3 хв. для прискорення зупинки включають гальмо.

**Ремонт.** Ремонт деталей та вузлів сепаратора необхідно виконувати на спеціально відведеному для цього місці. При ремонті необхідно користуватися не тільки підручними інструментами, а і спеціальними, які надаються заводом–виробником. При цьому необхідним є розробка схеми розбирання вузлів сепаратора, яка в подальшому дозволить прискорити їх складання.

## 10. АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ

Автоматизація молокопереробного підприємства є найважливішим показником рівня його технічного розвитку. Забезпечуючи технологічні та економічні переваги, яких неможливо досягти при традиційній організації виробництва, вона є основою перспективного розвитку сучасної молочної індустрії [16].

Поглиблення рівня автоматизації в молочної промисловості має величезне значення, що проявляється у підвищення ефективності праці, поліпшенні якості молочних продуктів, оптимального використання виробничих ресурсів і ін.

Традиційно автоматизацію в молочної промисловості поділяють на часткову та комплексну.

Перша полягає в автоматизації окремих виробничих і управлінських операцій та здійснюється у випадках, коли якісне управління процесами і ведення операцій недоступно людині через їх складність або швидкоплинності. Найяскравішим прикладом вкрай неефективного використання людської праці в умовах масового виробництва є виконання нею операції розливу молока та молокопродуктів.

При комплексній автоматизації все підприємство, включаючи підрозділи (ділянки, цехи, служби), функціонує як єдиний взаємозалежний комплекс. Така автоматизація охоплює всі основні виробничі і управлінські функції на підприємстві. При цьому роль людини зводиться до спільного контролю і управління роботою виробничого комплексу.

Вибір ступеня автоматизації багато в чому залежить від специфіки виробництва, економічної доцільності, стратегії виробництва та його

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування</b>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/5</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.					

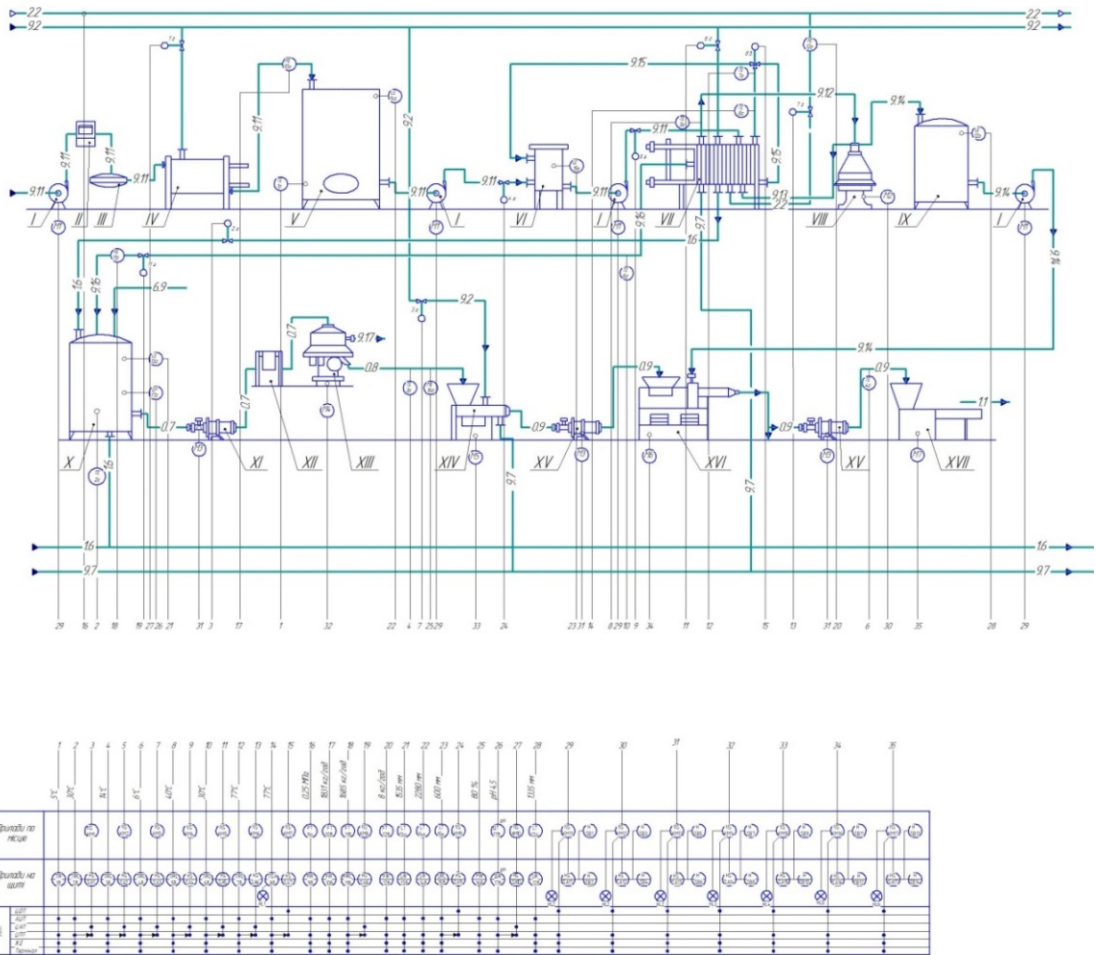
фінансових можливостей. Однак, доцільність впровадження саме комплексної автоматизації доведена досвідом ряду успішних українських, і не тільки, молокопереробних підприємств, що використовують передові комплексно-інтегровані системи автоматизації.

Таким чином, кінцевою метою автоматизації виробничих процесів на молочних підприємствах є створення повністю автоматизованого виробничого сектора, в якому функції працівників зводяться до налаштування виробничого циклу на певний режим роботи, спостереження за ним, налагодження контрольних приладів, механізмів і пристроїв, профілактичному ремонту і усунення поломок обладнання. Результатом же стає впроваджена автоматизована система управління виробничими процесами, яка дозволяє:

- підтримувати заданий технологічний режим, забезпечувати високу точність дотримання параметрів технологій, рецептур, дозування компонентів;
- контролювати якість продукції на основних етапах;
- мінімізувати втрати сировини і матеріалів;
- отримувати в оперативному режимі комплексну інформацію про виробництво для подальшого техніко-економічного аналізу.

Оскільки автоматизація технологічних процесів у молочній індустрії має на увазі використання спеціальних схем, пристроїв, систем і обладнання, то це досить тривалий і дорогий процес, який реалізується через наступні етапи: вивчення специфіки виробництва; вибір комплексу необхідних технічних засобів; розробку проектної документації; створення програм, що містять алгоритми управління технологічним обладнанням та алгоритми збору та обробки інформації; монтаж системи і проведення попередніх випробувань [17].

Перейдемо до розгляду запропонованої схеми автоматизації процесу виробництва м'якого сиру (рис. 10.1).



**Рис. 10.1** Схема автоматизації лінії виробництва м'якого сиру

Система управління операціями для отримання м'якого сиру виконує наступні функції:

- контроль витрати, рівня, кількості закваски, температури та рН продукту в резервуарах;
- контроль витрати згустку, що подається в апарат для його теплової обробки;
- сигналізацію граничних рівнів та управління процесом заповнення і спорожнення резервуарів;
- управління процесом перемішування згустку в резеруарі;
- керування процесом дозування закваски;
- температуру сиру на виході з охолоджувача, розсолу на вході і виході з нього;

- кислотність сирного згустку;
- витрату згустку;
- управління процесом пастеризації;
- управління насосами.

Молоко насосом I подається через витратомір II і фільтр III до охолоджувача IV. За допомогою клапана 1г відбувається регулювання подачі розсолу в охолоджувач. З охолоджувача IV молоко подається в резервуар V. Контроль кількості молока, яке подається в резервуар V, виконується витратоміром 10а. Необхідна кількість молока в резервуарі встановлюється задавачем 10б. Контроль температури та рівня молока в резервуарі V здійснюється термометром 1а та рівнеміром 14а.

З резервуара V молоко насосом I подається до урівноважуючого бачка VI, рівень молока в якому контролюється рівнеміром 15а. З баку VI, молоко насосом I подається до секції рекуперації пастеризаційного апарату VII. Клапаном 5г відбувається регулювання кількості молока, яке подається в пастеризаційний апарат. Контроль витрати та регулювання кількості пари, необхідної для пастеризації, виконується витратоміром 12 та клапаном 7г. Встановлення потрібної кількості пари виконується задавачем 18б. Температура підігрітого молока, яке виходить з секції рекуперації, контролюється термометром 5а. Клапан 6г виконує регулювання кількості розсолу, що подається в секцію рекуперації.

Якщо у процесі пастеризації молоко не нагрілося до потрібної температури, то спрацьовують датчики 7а та 8а, які подають сигнал на пульт керування. При цьому відбувається спрацювання клапана 8б, молоко повертається в урівноважуючий бак VI.

В сепараторі VIII відбувається розділення молока на вершки на знежирене молоко. Вершки подаються до резервуара IX, рівень який контролюється рівнеміром 18а. Знежирене молоко, що виходить з

сепаратора, подається в пастеризатор де спочатку пастеризується, а потім охолоджується.

Охолоджене молоко подається до резервуару X. Кількість теплої води, яка надходить до цього резервуару з секції рекуперації пастеризаційного апарату, регулюється клапаном 2г. Регулювання та визначення кількості охолодженого молока в резервуарі відбувається клапаном 11г та витратоміром 11а. Необхідна кількість молока в резервуарі X встановлюється задатчиком 11б.

Для сквашування молока в резервуар X додають закваску відповідно до технологічного регламенту. Рівень, температура та кислотність в ньому визначаються рівнеміром 13а, термометром 2а та рН-метром 17а, а значення необхідної кислотності встановлюється задатчиком 17б.

З резервуару X отримане ферментоване молоко насосом XI подається через фільтр XII до сепаратора XIII. В сепараторі відбувається розділення сквашеного молока на сироватку та сирний згусток, температура і вологість якого контролюється термометром 3а та вологоміром 16а. Потім ущільнений сирний згусток з сепаратора XIII подається до охолоджувача XIV. Регулювання температури охолодження сирного згустку здійснюється клапаном 3г, який встановлений на лінії подачі розсолу.

Охолоджений сирний згусток насосом XV подається до змішувача XVI, в якому він змішується з вершками, відповідно до рецептури, що надходять з резервуара IX. Готовий м'який сир насосом XV подається до фасувального автомату XVII. Контроль температури фасування здійснюється термометром 4а.

Для контролю тиску в магістралі насиченої пари передбачено датчик 9а. Контроль положення регулювальних клапанів, розташованих на трубопроводах, здійснюється дистанційними покажчиками положення.

## 11. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Відділ охорони праці на підприємстві створюється з метою виконання правових, організаційно-технічних, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на запобігання професійним захворюванням, нещасним випадкам і аваріям в процесі праці.

Для безпечної роботи працівників, зайнятих на молокозаводах, необхідним є своєчасне проведення інструктажів з питань охорони праці: вступного, повторного (планового), позапланового та цільового.

Не менш важливим питання є дотримання вимог з електро- та пожежної безпеки. Оскільки обладнання працює від електромережі, то існує можливість ураження електричним струмом, який може викликати термічну, механічну чи біологічну дію. До обслуговування електромереж та електроустаткування повинні допускатися лише електрики, які мають відповідну кваліфікаційну групу (розряд). Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом, а також виконання цих заходів та їх складових частин в електроустановках будівель і споруд, наведені в державному стандарті ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом».

Для запобігання виникненню пожеж, приміщення повинні бути обладнані автоматичною пожежною сигналізацією. Крім того, необхідно щоб в кожному відділенні (цеху, ділянці) були спеціально відведені місця з первинними засобами пожежогасіння: вогнегасник, ящик з піском, відра, сокира, лом та ін. Виробничі приміщення підприємств повинні відповідати певним нормативним документам, серед яких: ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», ДБН В.2.2-56:2014 «Системи протипожежного захисту» та ін.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Заходи з охорони праці</b>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/5</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.						

Однією з важливих умов безпечної та ефективної роботи працівників є сприятливі параметри мікроклімату. Мікроклімат визначається такими основними параметрами: температура, вологість та швидкість руху повітря в приміщенні. Параметри мікроклімату повинні відповідати діючим стандартам та вимогам, зокрема ДСТУ Б EN 15251:2011 «Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики».

Не менш важливою умовою ефективної роботи працівників є якісне освітлення. Освітлення виробничих приміщень є загальне та місцеве. Загальне освітлення здійснюється через вікна (природне) і/або за допомогою ламп (штучне), розташованих на стелі чи стінах. Місьцеве освітлення слугує як додаткова точка світла яка застосовується в тих випадках, коли загального освітлення не вистачає, і здійснюється за допомогою переносних ламп. Нормативним документом, який регламентує норми освітлення є ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Перейдемо до розгляду основних вимог безпечної експлуатації сепаратора ОСЯ.

Небезпечними і шкідливими виробничими факторами при роботі на сепараторі є: підвищений шум, вібрація, можливість ураження електричним струмом, мокра підлога, миючі засоби. Для безпечної роботи обслуговуючий персонал повинен мати засоби індивідуального захисту (навушники, спецодяг, спецвзуття).

Обслуговувати сепаратор може тільки той фахівець, який вивчив принцип його роботи та інструкцію по експлуатації, а також здав технічний мінімум.

У цеху, де експлуатується сепаратор, повинні бути вивішені на видних і доступних місцях інструкції з безпечного технічного обслуговування і

догляду за ним, а також інструкції з надання першої допомоги при нещасних випадках.

*Вимоги безпеки перед початком роботи.*

Перед початком роботи працівник повинен оглянути і перевірити робоче місце, прибрати всі непотрібні предмети, надіти спецодяг і засоби індивідуального захисту.

Перевірити:

- правильність складання барабана, механізму приводу, кріплення приймально-відвідного пристрою;
- чи відведені гальма;
- наявність і справність захисного заземлення;
- чи достатньо масла в масляній ванні корпусу сепаратора.

Пробним пуском сепаратора перевірити правильність установки барабана і приймально-відвідного пристрою.

забороняється:

- пускати сепаратор в хід, не переконавшись у тому, що звільнені гальма і стопорні гвинти барабана, а також не перевіривши наявність масла по рівню;
- робота на сепараторі з незадовільно відбалансованим барабаном.

При виявленні недоліків і неполадок необхідно негайно повідомити начальника цеху (майстру).

*Вимоги безпеки під час роботи*

Переконавшись в правильності складання, включити електродвигун приводу сепаратора. Перед початком сепарування пропустити спочатку воду з температурою 85-90 °С на повну продуктивність, а потім пустити сквашене молоко.

стежити:

- за рівномірним надходженням сквашеного молока в сепаратор;

- за швидкістю обертання барабана по тахометрі, не допускаючи перевищення зазначеної в паспорті частоти його обертання. Якщо під час розгону або в процесі роботи з'явився шум, тремтіння, ривки, барабан почав зачіпати за деталі приймально-відвідного пристрою, негайно припинити подачу сквашеного молока, зупинити сепаратор, доповісти про це майстру і до повного усунення всіх неполадок до роботи не приступати.

Забороняється працювати на сепараторі, коли:

- барабан погано відбалансований;
- пружина (пружины) горлового підшипника надмірно ослаблена, зламана або відсутня;
- недостатньо масла в картері;
- сепаратор має підвищену вібрацію;
- в пакеті барабана зменшено кількість тарілок в порівнянні з кількістю, вказаною в паспорті або використані тарілки від іншого барабана.

До повної зупинки сепаратора забороняється:

- знімати, поправляти або встановлювати приймально-відвідний пристрій;
- проводити огляд механізмів;
- примусово зупиняти барабан руками або яким іншим способом, окрім гальма. Гальма необхідно включати поступово, плавно, без ривків і тільки після того, як швидкість обертання барабана дещо зменшиться;
- категорично забороняється відлучатися від машини до її зупинки або доручати обслуговування іншій особі.

#### *Вимоги безпеки після закінчення роботи*

Після закінчення роботи, не зупиняючи сепаратор, пропустити через барабан невелику кількість води для його очищення та охолодження.

Після повної зупинки розібрати приймально-відвідний пристрій і барабан, ретельно очистити і вимити всі деталі, а потім просушити.

Станину і інші деталі сепаратора необхідно ретельно протерти спочатку вологою, а потім сухою тканиною.

Забороняється обливати водою електродвигун.

#### *Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях*

При виникненні аварійної ситуації, яка може призвести до нещасного випадку, необхідно:

- вимкнути сепаратор (при необхідності використати аварійне відключення);
- викликати чергового електрика, слюсаря-наладчика, майстра відділення;
- в разі травми надати долікарську допомогу потерпілому (вивести або допомогти вийти з аварійної зони, доставити в медпункт);
- доповісти майстру цеху про всі несправності на робочому місці.

## 12. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Робота молокопереробних підприємств супроводжується певними негативними наслідками для навколишнього середовища. До них відносяться: стічні води, тверді відходи, викиди забруднюючих речовин в атмосферу та значне споживання енергоресурсів.

Основною екологічною проблемою підприємств з переробки молока є великий обсяг рідких стоків [20]. Неочищені води молочного виробництва, як правило, мають високий вміст органічних речовин, можуть містити солі, кислоти, луги, миючі та дезінфікуючі засоби, а також патогенні віруси і бактерії. Наявність цих речовин в стічних водах може призвести до забруднення водойм, завдати шкоди людині та дикій природі.

Для збору і видалення виробничих і побутових стічних вод підприємства повинні бути каналізовані. Каналізація може приєднуватися до каналізаційних мереж населених пунктів або мати власну систему очисних споруд. Умови скидання стічних вод в обов'язковому порядку слід узгоджувати з органами і установами держсанепіднагляду в кожному конкретному випадку. Стічні води підприємств перед скиданням в систему каналізації населеного пункту повинні бути піддані локальній очистці. У разі, якщо стічні води підприємств є потенційно небезпечними в епідеміологічному відношенні, вони можуть скидатися у водні об'єкти тільки після відповідного очищення і знезараження до колі-індексу не більше 1000 і індексу-фага не більше 1000 БОЮ дм<sup>3</sup>.

Твердими підходами молокозаводів є: продукти, які не відповідають вимогам якості і втратили товарний вигляд; шлам від очищення стічних вод; осад з фільтрів; відходи упаковки. Тверді відходи слід зберігати в спеціальних контейнерах і сортувати для подальшої переробки або утилізації.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i>  <b>Охорона довкілля</b>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.						

Також на молокопереробних підприємствах повинні бути передбачені заходи щодо очищення повітря від шкідливих (забруднюючих) речовин перед викиданням його в атмосферу. Основними такими речовинами є пил, утворений при сушінні молока і розфасовці сухих молочних продуктів, гази і пари при копченні сиру та гази з котлів.

Молочні заводи споживають велику кількість енергії для пуску електродвигунів, для нагріву, випаровування і сушіння технологічних середовищ, охолодження і заморозки продукції та систем виробництва стисненого повітря. Приблизно 80% енергоспоживання направлено на генерацію гарячої води і пари для технологічних цілей, яке здійснюється за рахунок спалювання газу чи твердого палива. Для мінімізації використання енергоресурсів необхідно впроваджувати новітні енергоефективні технології та використовувати альтернативні джерела енергії.

Відповідні посадові особи від підприємства повинні здійснювати систематичний відомчий контроль за станом навколишнього середовища і технічний контроль за ефективністю роботи споруд з очищення стічних вод і фільтрів вентиляційних установок.

Заходи з охорони навколишнього середовища повинні розроблятися адміністрацією підприємств спільно з територіальними центрами держсанепіднагляду на основі інвентаризації виробничих процесів і обладнання, що є джерелами виділення шкідливих речовин. При цьому обов'язковим є виконання вимог нормативних документів щодо захисту навколишнього середовища, зокрема: ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів», ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування», ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація», ДБН В. 1.2-8-2008 «Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека життя і здоров'я людини та захист навколишнього природного середовища».

### 13. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Управління маркетинговою діяльністю є надзвичайно актуальним напрямом в економічній науці, адже воно вирішує питання розвитку підприємства [21]. Важливим завданнями при цьому є правильний вибір і розміщення пріоритетів створення нових виробів, які будуть основою виробничої діяльності підприємства в майбутньому. У процесі управління підготовкою виробництва нової продукції необхідно приймати до уваги мінливість технології виробництва, структуру управління, організаційну культуру й традиції, наявність виробничої й збутової інфраструктур, кадровий потенціал та ін. Політика підготовки нового продукту повинна розглядатися як один з найважливіших напрямків реалізації маркетингової стратегії підприємства.

Зміст процесу формування маркетингового потенціалу підприємства при виведенні на ринок нового продукту перебуває в перетинанні множини маркетингових і науково-технічних рішень. Процес управління підготовкою виробництва нової продукції являє собою складну, спрямовану на зміцнення конкурентних позицій та підвищення ефективності використання маркетингового потенціалу підприємства, діяльність системи управління, результатом якої повинне стати введення в існуючу номенклатуру нових перспективних товарних позицій, виробництво яких забезпечить покриття витрат і дозволить дістати прибуток, що необхідний для розвитку підприємства.

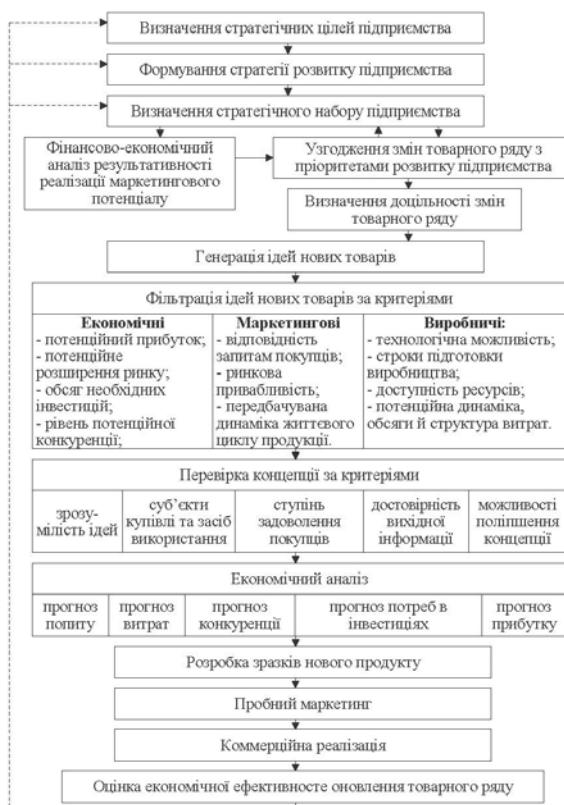
У числі основних факторів, що визначають раціональність вибору нового товару у виробництві й на ринку, виділяють наступні: ступінь переваги товару над конкурентами; можливості й ефективність реалізації маркетингових інновацій підприємства, тобто практичне використання

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Маркетингове</b> <b>обґрунтування проекту</b>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/3</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.					

кращого розуміння закономірностей розвитку ринку, зміни в поведінці покупців, темпів прийняття новинки, тривалості життєвого циклу товару і розмірів потенційного ринку; можливості й ефективності реалізації інновацій.

Маркетингове обґрунтування виконує провідну роль у визначенні політики зміни асортиментів продукції й при обґрунтуванні пріоритетів створення нової продукції. Процес управління створенням нової продукції в цілому складається з восьми основних етапів: генерація ідей нових товарів, відбір проектів, розробка й перевірка концепції товару, розробка стратегії маркетингу, аналіз можливостей виробництва й збуту, розробка нового товару, випробування в ринкових умовах і розгортання комерційного виробництва.

Узагальнення маркетингових підходів до визначення послідовності розробки й виводу продукту на ринок представлено на рис. 13.1.



**Рис. 13. 1. Маркетинговий підхід до визначення послідовності розробки та виводу продукції на ринок**

Управління підготовкою виробництва нової продукції, як видно з рис. 13.1, являє собою складний комплексний процес з інформаційно насиченими етапами прийняття різноманітних рішень. Послідовна реалізація маркетингового обґрунтування прийняття рішень у сфері створення нових продуктів дозволяє знизити ймовірність помилкових дій і скоротити потенційні витрати в процесі управління підготовкою виробництва нової продукції.

Перейдемо до розгляду виробництва модернізованого сепаратора з точки зору маркетингового підходу.

Як інновації пропонується ввести в виробництво модернізований сепаратор моделі ОСЯ, який призначений для розділення ферментованого молока на сироватку та сирний згусток, і використовується в лініях по виробництву м'якого роздільним способом.

Споживачами даного виду продукції будуть молокопереробні підприємства. З огляду на те, що на більшості підприємств обладнання є застарілим як в моральному так і фізичному плані, то можна очікувати попит на даний вид продукції.

На даний момент науковці та виробники працюють над розробкою нових та вдосконаленням існуючих технологій виробництва кисломолочних сирів. Особливої актуальності набуває створення обладнання яке можна швидко налаштувати на різний тип продукції. Так, використовуючи модернізований сепаратор ОСЯ в технологічній лінії з виробництва сиру, можна швидко змінювати вологість сирного згустку, що дозволить виробляти сир за різними рецептурами.

## ВИСНОВКИ

Процес сепарування до теперішнього часу є неповністю дослідженим, особливо це стосується периферійного об'єму барабана сепаратора, де відбувається ущільнення важкої фази. Складність дослідження процесу ущільнення обумовлена складною формою периферійного простору барабана, а також постійною зміною його об'єму, що пояснюється накопиченням продукту на стінках барабана в процесі сепарування.

Зважаючи на складність аналітичного опису процесу ущільнення сирного згустку в барабані сепаратора, в даній магістерській роботі дослідження гідродинаміки потоків здійснено шляхом проведення імітаційного моделювання в програмі FlowVision.

В результаті проведених досліджень процесу ущільнення сирного згустку запропоновано турнікетний механізм його вивантаження з барабана сепаратора.

Встановлено, що вологість ущільненого продукту залежить від тиску в периферійному об'ємі барабана, який в свою чергу залежить від зусилля, необхідного для стиску пружини механізму регулювання вологості.

Проведені дослідження дозволили встановити залежність вологості сирного згустку від сили стискання пружини.

Запропонований вивантажувальний механізм дозволяє змінювати вологість отриманого сирного згустку в межах 80,55...85,9%, що є необхідним при виробництві м'яких сирів за різною рецептурою.

За результатами роботи опубліковано тези: Якубова І.К., Якобчук Р.Л. Удосконалення механізму видалення згущеної фази з барабана саморозвантажувального сепаратора. *Priority directions of science and technology development. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference*. Київ, Україна, 20-22 грудня 2020 р. С. 539-542.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Висновки</b>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.						

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворощук В.Я. Технологічне обладнання молочних виробництв. Київ : Центр навчальної літератури, 2007. 344 с.
2. Технологія молочних продуктів : підруч. / Г.Є. Поліщук та ін. Київ : НУХТ, 2013. 502 с.
3. Самойлов В.А., Нестеренко П.Г., Толмачев О.Ю. Справочник технолога молочного производства : справочник-каталог. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2004. 832 с.
4. Сухенко Ю.Г., Сарана В.В. Методичні вказівки до вивчення теми «Технологічне обладнання для сепарації молока та молокопродуктів» для студентів з напрямків підготовки: 6.100202 - процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва, 6.050503 машинобудування, 6.051701 – харчові технології та інженерія. Київ : Аграр Медіа Груп, 2011. 24 с.
5. Волчков И.И. Сепараторы для молока и молочных продуктов. Москва : Пищевая промышленность, 1975. 224 с.
6. Липатов Н.Н., Новиков О.П. Саморазгружающиеся сепараторы. Москва : Машиностроение, 1975. 248 с.
7. Карамзин А.В. Научно-техническое обоснование процесса классификации частиц растительного происхождения в отстойниках и жидкостных центробежных машинах. Москва : Спутник+, 2012. 202 с.
8. Семенов Е.В., Карамзин В.А., Новикова Г.Д. Методы расчетов гидромеханических процессов в пищевой промышленности. Москва : МГУПП, 2002. 492 с.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Якубова І.К.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Список використаних джерел</b>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/3</b>
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.					

9. Павлов Н.Г. К вопросу расчета и конструирования тарельчатых сепараторов с механической выгрузкой сгущенного осадка: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ленинград, 1961. 14 с.
10. Соколов В.И. Центрифугирование. Москва : Химия, 1976. 408с.
11. Соколов В.И. Основы конструирования машин и аппаратов пищевых производств. Москва : Машиностроение 1983, 447 с.
12. Шкоропад Д.Е. Новиков О.П. Центрифуги и сепараторы для химических производств. Москва : Химия, 1987. 256 с.
13. Терещенко О.А., Нудьга М.М., Федоров С.Ф. Вивчення будови і роботи сепараторів молочної промисловості : методичні вказівки до виконання лабораторної роботи. Київ. : КІХП, 1993. 52 с.
14. Будова і принцип дії сепаратора для молока : методичні рекомендації та завдання щодо виконання практичної роботи студентам денної та заочної форми навчання / П.В. Гурський та ін. Харків : ХНТУСГ, 2018. 32 с.
15. Матеріалознавство та матеріали у харчовій промисловості : підручник / В.А. Косенко та ін. Київ : Університет «Україна», 2017. 298 с.
16. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості : підручник / А.П. Ладанюк та ін. Київ : Аграрна освіта, 2001. 224 с.
17. Курочки А.А. Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств. Москва : Колос, 2007. 591 с.
18. Купчик М.П., Степанець І.В. Основы охорони праці: підручник. Київ : Освіта, 2000. 416 с.
19. Ярошевська В.М., Чабан В.Й. Охорона праці в галузі : навчальний посібник. Київ : Професіонал, 2004. 288 с.
20. Основы екології: підручник / за ред. К.М. Ситника. Київ : Вища школа, 2001. 358 с.
21. Воронько Т.В. Передумови формування та розвитку маркетингового потенціалу аграрних підприємств. *Агросвіт*. 2012. №6. С. 11-14.

22. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості : навч. посібнич / В.Г. Мирончук та ін. ; Нова книга. Вінниця, 2004. 288 с.
23. Федоткин И.М., Бурляй И.Ю., Рюмшин Н.А. Математическое моделирование технологических процессов. Київ : Техніка, 2002. 407 с.
24. Гліненко Л.К., Сухонос О.Г. Основи моделювання технічних систем. Львів : Бескид Біт, 2003. 176 с.
25. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва: навч. посібник / П. С. Берник та ін. ; Національний університет Львівська політехніка. Львів, 2004. 336 с.
26. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підручник / В.Г. Мирончук та ін. ; Нова книга. Вінниця, 2007. 648 с.
27. Кавецкий Г.Д., Васильев В.В. Процессы и аппараты пищевых производств. Москва : Колос, 2000. 551 с.
28. Будрик В.Г. Технологическое оборудование для переработки творога. *Молочное дело*. 2010. № 1 (82). С. 28-29.
29. Терехова О.Н. Интенсификация центробежной сепарации мелкодисперсных частиц. *Техника в сельском хозяйстве*. 2007. № 6. С. 10-14.
30. Мирончук В.Г., Лементар С.Ю., Єщенко О.А. Методичні рекомендації до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Обладнання переробних і харчових виробництв» ден. та заоч. форм навчання. Київ : НУХТ, 2018. 41 с.