

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему:

**Модернізація деканторної центрифуги марки С4Е для
зневоднення казеїну**

Виконав: студент VI курсу, групи МО_М-61,

спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

Стасишин А.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Кравець О.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ворощук В.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра обладнання харчових технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОХ

_____ Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)
“ ”

2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр _____
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю _____ 133 «Галузеве машинобудування» _____
(шифр і назва спеціальності)
студенту _____ Стасишину Андрію Романовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація деканторної центрифуги марки С4Е для зневоднення казеїну

керівник роботи Кравець Олег Ігорович к.т.н, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від “___” _____ 2023 року № _____

2. Строк подання студентом проекту : “_____” грудня 2018 року

3. Вихідні дані до проекту: Технічний паспорт центрифуги марки С4Е

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Літературний огляд 1.1. Аналіз процесів відцентрового осадження. 1.2. Опис конструкції та принципу роботи центрифуги. 1.3. Огляд технології виготовлення казеїну. 1.4. Огляд способів математичного моделювання процесів 1.5. Мета та основні задачі дипломної роботи. 2. Конструкторська частина. 2.1. Кінематичний аналіз центрифуги 2.2. Кінематичний розрахунок приводів. 2.2.1. Привід для барабану. 2.2.2. Привід шнека 2.3 Структурний аналіз деканторної центрифуги/центрифуги 2.4. Аналіз структури вузла завантаження – розвантаження. 3. Дослідження відцентрового зневоднення казеїну. 3.1. Обґрунтування необхідності досліджень 2. Дослідження компресійних властивостей казеїну 3.3. Дослідження гранулометричного складу казеїну . 3.4. Влив режимів зневоднення на енергоємність процесу сушіння казеїну 3.5. Моделювання седиментації частинок казеїну у суспензії в процесі центрифугування 4. Модернізація деканторної центрифуги. Розрахунок модернізованої машини. 4.1. Модернізація. 4.2. Визначення розміру мінімальної частки казеїну, яку можна відділити на модернізованій центрифугі . 4.3. Визначення теоретичної продуктивності центрифуги. 4.4. Розрахунок потужності нагнітального шнека центрифуги для казеїну. 4.5. Визначення продуктивності центрифуги для казеїну . 5.1 Охорона праці. 5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

1. Декантер. Загальний вигляд. 2 листи Ф-А1. 2. Кінематична схема горизонтальної центрифуги для зневоднення казеїну 1 лист А1. 3 Складальні креслення вузла завантаження. 1 лист А1. 4. Деталювання. 1 лист А1. 5. Конструктивні розрахунки 1 лист А1. 6. Графік деформації шару казеїну. 1 лист Ф-А1. 7. Графіки залежності коефіцієнтів пористості та стисливості від тиску. 1 лист Ф-А1. 8. Залежність питомого опору фільтруванню казеїну від тиску. 1 лист Ф-А1.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кравець О.І. – к.т.н., доцент Стручок В.С. – ст.. викладач		
Нормоконтроль	Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітки
1.	<i>1. Літературний огляд</i>	до 01.10.2023р.	
2.	<i>2. Конструкторська частина.</i>	до 15.10.2023р.	
3.	<i>3. Дослідження відцентрового зневоднення казеїну</i>	до 25.10.2023р.	
4.	<i>4. Модернізація деканторної центрифуги. Розрахунок модернізованої машини</i>	до 01.11.2023р.	
5.	<i>5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.</i>	до 05.11.2023р.	
6.	<i>Загальні висновки. Перелік посилань</i>	до 10.11.2023р.	
7.			
8.	<i><u>1. Декантер. Загальний вигляд. 2 листи Ф-А1.</u></i>	до 15.11.2023р.	
9.	<i><u>Кінематична схема горизонтальної центрифуги для зневоднення казеїну</u> <u>1 лист А1.</u></i>	до 20.11.2023р.	
10.	<i><u>3 Складальні креслення вузла завантаження. 1 лист А1.</u></i>	до 20.11.2023р.	
11.	<i><u>Деталювання. 1 лист А1.</u></i>	до 25.11.2023р.	
12.	<i><u>Конструктивні розрахунки 1 лист А1</u></i>	до 25.11.2023р.	
13.	<i><u>Графік деформації шару казеїну. 1 лист Ф-А1.</u></i>	до 01.12.2023р.	
14.	<i><u>Графіки залежності коефіцієнтів пористості та стисливості від тиску. 1 лист Ф-А1.</u></i>	до 10.12.2023р.	
15.	<i><u>Залежність питомого опору фільтруванню казеїну від тиску. 1 лист Ф-А1</u></i>	до 10.12.2023р.	

Здобувач _____ Стасишин А.Р.

Керівник роботи _____ Кравець О.І.

Анотація

Стасишин А. Р. Модернізація деканторної центрифуги марки С4Е для зневоднення казеїну.

Робота присвячена підвищенню ефективності зневоднення казеїну на деканторній центрифугі.

Виконано дослідження, яке охоплює вплив відцентрового зневоднення на властивості казеїну. Це включало вивчення його компресійно-фільтраційних властивостей, а також аналіз гранулометричного складу зерен до та після зневоднення. Крім того, проведено оцінку впливу режимів відцентрового зневоднення на енергоефективність процесу сушіння казеїну.

Запропоновано заходи з модернізації деканторної центрифуги марки С4Е.

Ключові слова: вологість, центрифуга, зневоднення, казеїн.

Abstract

Stasyshyn A.R. Modernization of the screw unit of the decanter centrifuge, model C4E, for dewatering casein.

The work is devoted to increasing the efficiency of casein dehydration in a decanter centrifuge.

The influence of centrifugal dewatering modes on the properties of casein has been investigated, in particular, the compression-filtration of casein have been studied, the size of casein particles before and after dehydration has been determined, and the influence of centrifugal dewatering modes on the energy intensity of the casein drying has been investigated in the process of graduate work. A mathematical model of the process of sedimentation of solid particles in the suspension during decantation was developed.

Measures to modernize the C4E decanter centrifuge are proposed.

Key words: moisture, centrifuge, dehydration, casein

Зміст

Вступ.....	9
1. Літературний огляд	11
1.1. Огляд процесів відцентрового осадження.....	11
1.2. Опис конструкції та принципу роботи декантерної центрифуги марки С4Е.....	15
1.3. Огляд технології виробництва казеїну	18
1.4. Огляд способів математичного моделювання процесів.....	21
1.5. Мета та основні задачі дипломної роботи	23
2. Конструкторська частина	25
2.1. Кінематичний аналіз центрифуги.....	25
2.2. Кінематичний розрахунок приводів.....	26
2.2.1. Привід для барабану	26
2.2.2. Привід шнека	28
2.3 Структурний аналіз деканторної центрифуги.....	31
2.4. Аналіз структури вузла завантаження - розвантаження	33
3. Дослідження відцентрового зневоднення казеїну	46
3.1. Обґрунтування необхідності досліджень	46
3.2. Дослідження компресійних властивостей казеїну	47
3.3. Дослідження гранулометричного складу казеїну.....	50
3.4. Вплив режимів зневоднення на енергоємність процесу сушіння казеїну... 52	

3.5. Моделювання седиментації частинок казеїну у суспензії в процесі центрифугування.....	54
4. Модернізація деканторної центрифуги. Розрахунок.....	58
модернізованої машини.....	58
4.1. Модернізація.....	58
4.2. Визначення розміру мінімальної частки казеїну, яку можна відділити на модернізованій центрифугі.....	58
4.3. Визначення теоретичної продуктивності центрифуги.....	60
4.4. Розрахунок потужності нагнітального шнека центрифуги для казеїну ...	61
4.5. Визначення продуктивності центрифуги для казеїну	62
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	64
5.1. Охорона праці.....	64
5.1.1. Основні причини травматизму в харчовій галузі та його динаміка	64
5.1.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів підприємств харчової промисловості.....	66
5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	68
5.2.1. Організація та проведення дослідження стійкості роботи підприємств харчової та переробної промисловості в умовах надзвичайних ситуацій	69
5.2.2. Радіоактивне забруднення місцевості та його вплив на виробничу діяльність підприємств харчової та переробної промисловості	72
Висновки	75
Перелік посилань.....	76
Специфікації	77
Додатки.....	80

Вступ

Актуальність теми

Головною статтею експорту для багатьох молочних підприємств є виробництво казеїну, яке використовується як у харчовій, так і технічній галузях. Один із найбільш енергоємних процесів у виробництві казеїну - сушіння, що значно впливає на якість готової продукції.

Енергоємність сушіння казеїну можна зменшити, знижуючи вологість казеїну-сирцю, що подається у сушарку. Для досягнення цього необхідно підвищити ступінь попереднього видалення вологи з казеїну в центрифугі. Відомо, що механічне видалення вологи є набагато ефективнішим та витратним методом, ніж його подальше сушіння.

Мета і завдання досліджень.

Мета роботи: підвищення ефективності зневоднення казеїну на декантерній центрифугі марки С4Е.

Задачі:

- обрати методики та прилади для аналізу компресійних, гранулометричних характеристик і вологості казеїну;
- вибрати методи моделювання форми казеїнових зерен;
- здійснити дослідження компресійних властивостей та гранулометричного складу;
- встановити характер залежності вологості казеїну від частоти обертання барабана;
- розробити заходи із модернізації деканторної центрифуги.

Об'єкт дослідження – процес зневоднення казеїну у барабані центрифуги

Предмет дослідження – характеристики роботи центрифуги

Наукова новизна отриманих результатів:

Отримано математичне рівняння, що дозволяє визначати тривалість осадження частинок казеїну в барабані центрифуги

Практичне значення отриманих результатів.

Результати можуть знайти застосування для підвищення ефективності зневоднення казеїну

Апробація результатів досліджень. Результати досліджень роботи апробувалися на VI Міжнародній студентській науково-технічній конференції ТНТУ імені Івана Пулюя “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання” 27-28 квітня 2023 року.

1. Літературний огляд

1.1. Огляд процесів відцентрового осадження

Центрифугування – це метод розділення змішаних систем, таких як емульсії і суспензії, шляхом застосування відцентрових сил у машинах, відомих як центрифуги або декантатори, які мають суцільні або проникні для рідини перегородки.

Базова форма центрифуги - це вертикальний циліндричний ротор зі суцільними або перфорованими боковими стінками. Ротор прикріплений до вертикального вала, який приводиться в обертання за допомогою електродвигуна. Ротор розміщений у стаціонарному циліндричному кожусі зі спільною осі обертання і закривається кришкою, яку можна відкрити за потреби. У внутрішній частині ротора з перфорованими стінками розташовані фільтрувальні тканини або тонкі металеві сітки.

Під впливом відцентрових сил суспензія розділяється на осад і рідку фазу, відому як фугат.

Центрифуги можна умовно розділити на дві групи за значенням фактора розділення: нормальні центрифуги та надцентрифуги. Нормальні центрифуги, як правило, використовуються для розділення різних суспензій, за винятком тих, де тверда фаза має дуже низьку концентрацію, а також для видалення вологи з штучних матеріалів. Надцентрифуги застосовуються для розділення емульсій і тонкодисперсних суспензій.

Нормальні центрифуги можуть бути двох типів: відстійні і фільтруючі.

Надцентрифуги представлені лише апаратами відстійного типу і поділяються на трубчасті надцентрифуги, що використовуються для розділення тонкодисперсних суспензій, і рідинні сепаратори, які використовуються для розділення емульсій.

Центрифуги поділяються на вертикальні, похилі і горизонтальні за розташуванням осі обертання. У вертикальних центрифуг вал ротора може мати опір внизу або бути підвішеним зверху.

Періодичні та безперервно діючі центрифуги відрізняються за організацією процесу.

Зазвичай, розділення суспензій у відстійних центрифугах складається з двох етапів: осадження твердих частинок на стінках ротора та стиснення утвореного осаду. Перший етап відбувається згідно з гідродинамічними законами, а другий - за принципами механіки пористих середовищ.

У процесах розділення суспензій у відстійниках та на відстійних центрифугах виявляються значні відмінності. У відстійниках, гравітаційне поле є рівномірним, тоді як інтенсивність поля відцентрових сил у центрифугах зростає по мірі наближення частинки до периферії ротора. Ця динаміка призводить до зростання впливу відцентрової сили на частинку під час обертання ротора. У відстійниках, частинки рухаються через постійні за площею поперечні перерізи плоского шару рідини, у відстійних центрифугах - через збільшуються за площею поперечні перерізи кільцевого шару.

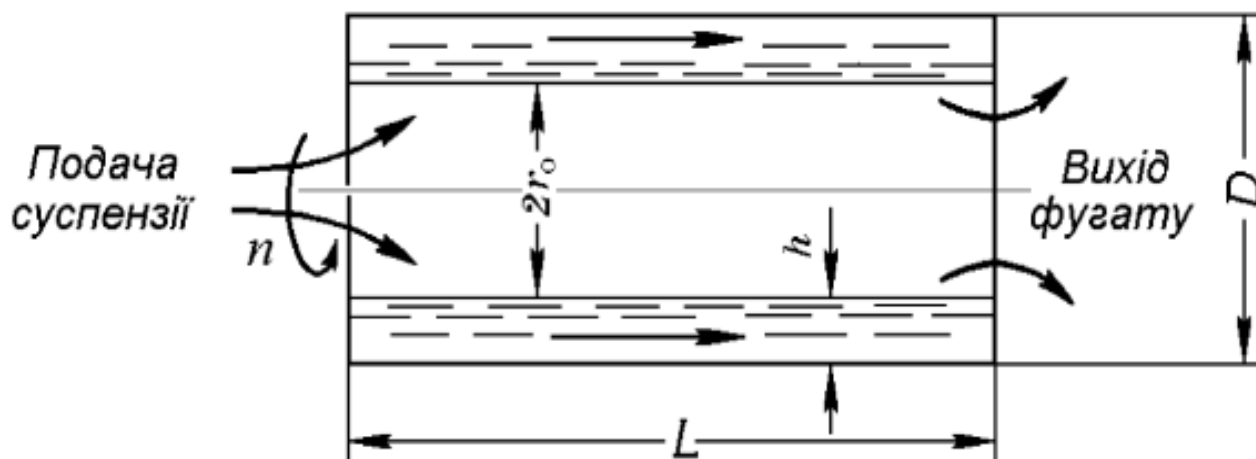


Рисунок 1.1. Схема роботи відстійної центрифуги

Отже, ті закономірності, які спостерігаються у відстійниках, не можна застосовувати до процесів, що відбуваються у відстійних центрифугах.

Розподільна здатність відстійних центрифуг визначається за допомогою індексу продуктивності ξ , який отримується як результат множення площі осаджувальної циліндричної поверхні F на коефіцієнт розділення K_p :

$$\xi = F \cdot K_p.$$

У фільтруючих центрифугах розділення суспензій проходить через кілька етапів, включаючи утворення, ущільнення та механічне видалення вологи з осаду. Такі центрифуги також можуть мати можливість промивки осаду.

Важливо зауважити, що процеси розділення суспензій на фільтрах та фільтруючих центрифугах суттєво відрізняються. Під впливом відцентрової сили та збільшення площі поперечного перерізу кільцевого шару, які зростають з радіусом ротора, стає неможливим застосування законів фільтрування до процесів у фільтруючих центрифугах.

Під час аналізу процесу утворення осаду слід враховувати значний стискаючий тиск, що діє на осад під впливом відцентрових сил. У промислових центрифугах тиск у рідині може досягати 15 атмосфер, порівняно з меншим тиском, який становить менше 1 атмосфери у вакуум-фільтрах та зазвичай не перевищує 5 атмосфер у фільтрах, які працюють під тиском. Це призводить до значного зменшення пористості осаду, який сильно стискається при центрифугуванні, та відповідно збільшує гідравлічний опір. У результаті значного зниження швидкості центрифугування може статися так, що використання фільтруючої центрифуги виявиться неефективним порівняно з використанням фільтра.

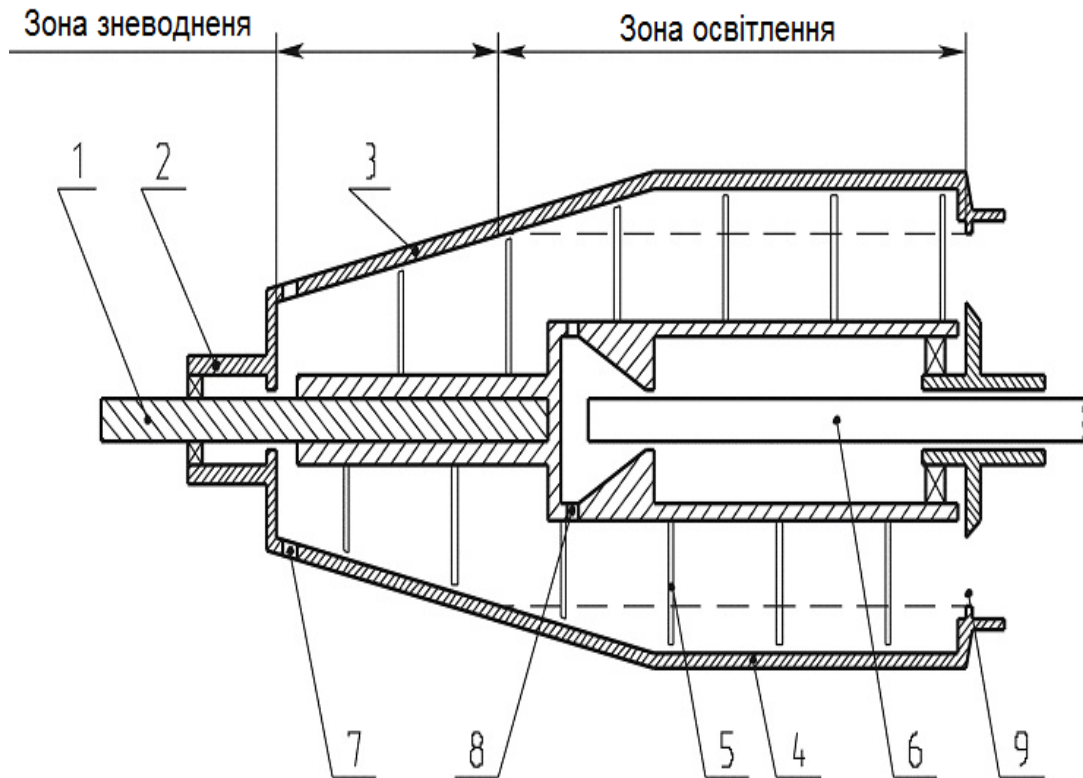


Рисунок 1.2. Схема декантерної центрифуги

1-привід шнека; 2-привід барабана; 3-конічна частина барабана;
 4-циліндрична частина барабана; 5-шнек; 6-патрубок подачі суспензії;
 7-вивантаження згустку; 8-подача суспензії; 9-злив освітленої рідини.

Декантери є класом машин для розділення суспензій, зазвичай з горизонтально розташованим валом. На цьому валу розміщені обертовий барабан і шнек. Для вивантаження твердої фракції суспензії через порожнистий вал шнека, швидкість його обертання незначно, на близько 3%, відрізняється від швидкості обертання барабана. Барабан центрифуги складається з двох частин: циліндричної і конічної. У циліндричній частині барабана завдяки відцентровим силам відбувається освітлення суспензії, а частинки білка зберігаються на стінках барабана.

Різниця в швидкості обертання дозволяє шнеку подавати згусток у конічну частину барабана, що є зоною зневоднення, перед його вивантаженням.

Декантери виводять освітлену рідину з протилежного боку самопливом або за допомогою доцентрового диска, при цьому в останньому випадку рідина виводиться під певним тиском. Роботу декантера визначає частота обертання барабана, його діаметр та співвідношення довжини циліндричної і конічної частин. Зазвичай, чим більше довжина барабана і частота обертання, тим ефективніше процес освітлення. Стандартна частота обертання барабана зазвичай коливається від 3000 до 3400 обертів на хвилину, при цьому відцентрове прискорення може сягати 2000-2500 g. В сучасний час, для покращення продуктивності, часто використовують приводи з частотним регулюванням обертання барабана.

В декантерах, які призначені для освітлення, співвідношення довжини циліндричної частини до діаметра зазвичай коливається в межах від 2,5 до 3. В той час як у пристроях для зневоднення це співвідношення зазвичай наближається до одиниці. Деякі конструкції декантерів мають можливість регулювання довжини циліндричної і конічної частин.

1.2. Опис конструкції та принципу роботи декантерної центрифуги марки С4Е

Через центральний вхідний трубопровід 1 (див. рис. 1.3), продукт направляється в прийомну камеру шнека 2. Звідти, після попереднього прискорення, він потрапляє через розподільні отвори в барабан.

Барабан, що має форму циліндра з конусоподібною частиною 3, обертається з певною швидкістю обертання, адаптованою під конкретне завдання. У барабані продукт досягає максимальної швидкості і утворює циліндричний шар, який прилягає до його поверхні. Тверді частки в основному осідають на внутрішній поверхні барабана 4 через вплив відцентрової сили. Довжину циліндричної частини барабана і кут нахилу конусоподібною частини можна змінювати при виробництві центрифуги відповідно до конкретних завдань розділення.

Шнек обертається з невеликою кількістю обертів порівняно з барабаном і переносить тверді частки в напрямку конічної задньої частини барабана 5. Різниця у кількості обертів визначає час, протягом якого тверді речовини перебувають у барабані. Цей час має ключове значення для необхідної концентрації сухої речовини і може оптимізуватися шляхом регулювання різниці в обертах шнека з урахуванням конкретних вимог розділення.

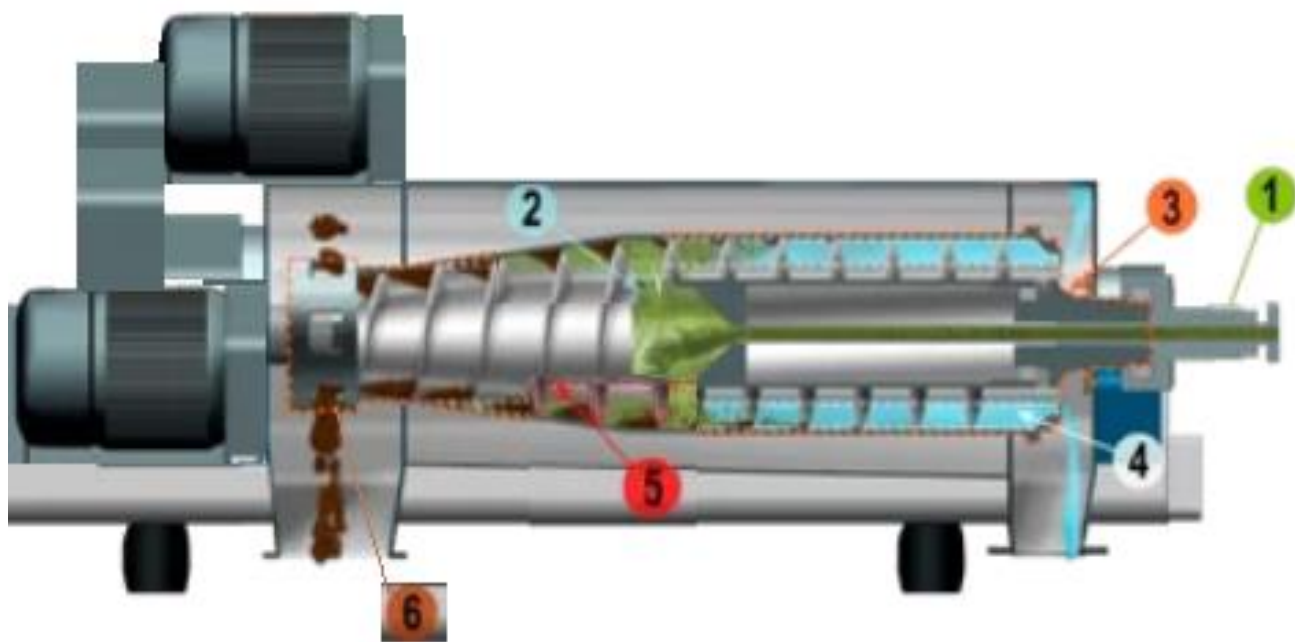


Рисунок 1.3. Конструкція центрифуги

Замінивши шнек або змінивши конфігурацію, декантер може бути налаштований для нових вимог, що стосуються продукту. Це дозволяє вибирати між шнеками з різними параметрами переміщення.

Тверді частки із вмістом сухої речовини видаляються через вихідні отвори на конічній частині барабана в камеру для твердих матеріалів і вивантажуються вниз 6.

Освітлена рідина потрапляє в циліндричну задню частину барабана, де виходить через отвори у кришці барабана 7 (рис. 1.4). В цих отворах розташовані регульовані переливні перегородки 8, що дозволяють контролювати рівень освітленої рідини в барабані. Рідина збирається в корпусі системи спуску і відводиться у випадку відсутності надлишкового тиску.

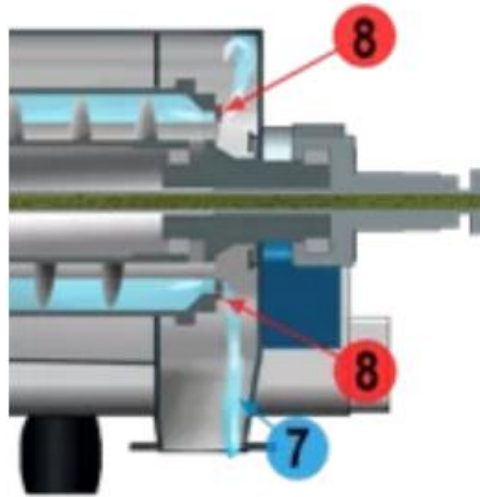


Рисунок 1.4. Відведення освітленої рідини

Освітлена рідина також може бути відокремлена за допомогою диска поділу фаз 9 (рис. 1.5) і виведена з барабана в закритій системі під тиском 10.

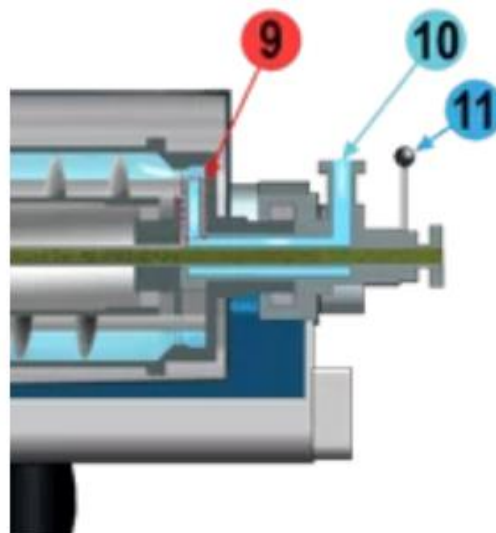


Рисунок 1.5. Робота диску розділення

Вдосконалений варіант, що включає регульований диск поділу фаз, дозволяє плавно налаштовувати рівень освітленої рідини під час роботи 11. Це забезпечує швидке та точне адаптування до нових умов, не вимагаючи виходу декантера з експлуатації.

Технічні характеристики центрифуги наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Технічні характеристики центрифуги

Параметр	Величина
Макс. частота обертів ротора	4200 хв ⁻¹
Макс. густина(щільність) осаду (відстою)	1,4 г/см ³
Максимальна температура експлуатації	100 °C
Швидкість обертання барабана	4000 хв ⁻¹
Швидкість обертання балансу шнека(диференційована швидкість)	1,5.....29.6 хв ⁻¹
Потужність приводу	15кВт
Напруга/частота	400 вольт/50 герц
Маса	3000 кг
Ширина	1,0 м
Довжина	3,5 м
Висота	1,3 м

1.3. Огляд технології виробництва казеїну

Процес технологічного виробництва може різнитися залежно від застосованого коагулянту та наявного обладнання. У наш час у країні основним коагулянтом є сквашена молочна сироватка. Найбільш розповсюдженим обладнанням для виробництва технічного казеїну є поточно-механізована лінія типу Я9-ОКЛ.

У змішувачі комбінують сквашену сироватку з кислотністю від 200 до 250°Т і знежирене молоко. Суміш підтримують на рівні рН 4,5 до 4,6. Після цього суміш нагрівають у паровому інжекторі до температури, необхідної для коагуляції, і подають у витримувач. Витримувач представляє собою закручену у циліндричну спіраль трубу.

Суспензію казеїнових зерен подають у барабанний відділювач сироватки, де відбувається їх розділення. Сироватка потрапляє через приймальний резервуар у ємність для подальшого зберігання.

Казеїнове зерно промивається двічі, причому чиста вода використовується лише під час другого промивання. У першій ємності водою, використаною під час наступного промивання, очищується казеїнове зерно. Час промивання залежить від об'єму промивних ємностей. Витрата маси води для промивання становить $(80 \pm 10)\%$ від маси знежиреного молока, що обробляється. З першої ємності згусток казеїну направляється через лотковий відділювач промивної води до другої ємності для подальшого промивання. Промивну воду, перед її виливанням, проходять через фільтр для збору білкового пилу. Зібраний білковий пил використовується разом з казеїн-сирцем після самостійного віджимання. У другій ємності казеїн промивається чистою водою при певній температурі і рН, після чого продукт пройде відділювач згустку барабанного типу. Відпрацьована промивна вода повертається до першої ємності за допомогою насосу. Казеїнове зерно після виділення води пройде стрічковий прес для подальшого видалення вологи, доки вміст вологи у казеїні-серці не досягне $(62 \pm 3)\%$.

Казеїн-сирець подається на сушарку з використанням норії з бункера-накопичувача. Перед процесом сушіння казеїн подрібнюють на грануляторі, який є частиною устаткування сушарки. Процес сушіння казеїну відбувається на безперервній сушарці. Великі зерна казеїну транспортують пневматичним транспортом до бункера для подальшого фасування. Дрібна фракція сухого казеїну, разом з відходящим повітрям, потрапляє в пристрій для збору пилу прямотного типу і збирається в окремий мішок. Для отримання казеїну кислотного меленого типу використовується відповідне обладнання дробильного процесу.

Виробництво казеїну з використанням неорганічних мінеральних кислот (наприклад, соляної, сірчаної, фосфорної) або чистих органічних кислот (таких

як молочна, оцтова, лимонна) може включати в себе процес з використанням декантера та рекуперативних теплообмінників (рис. 1.6).

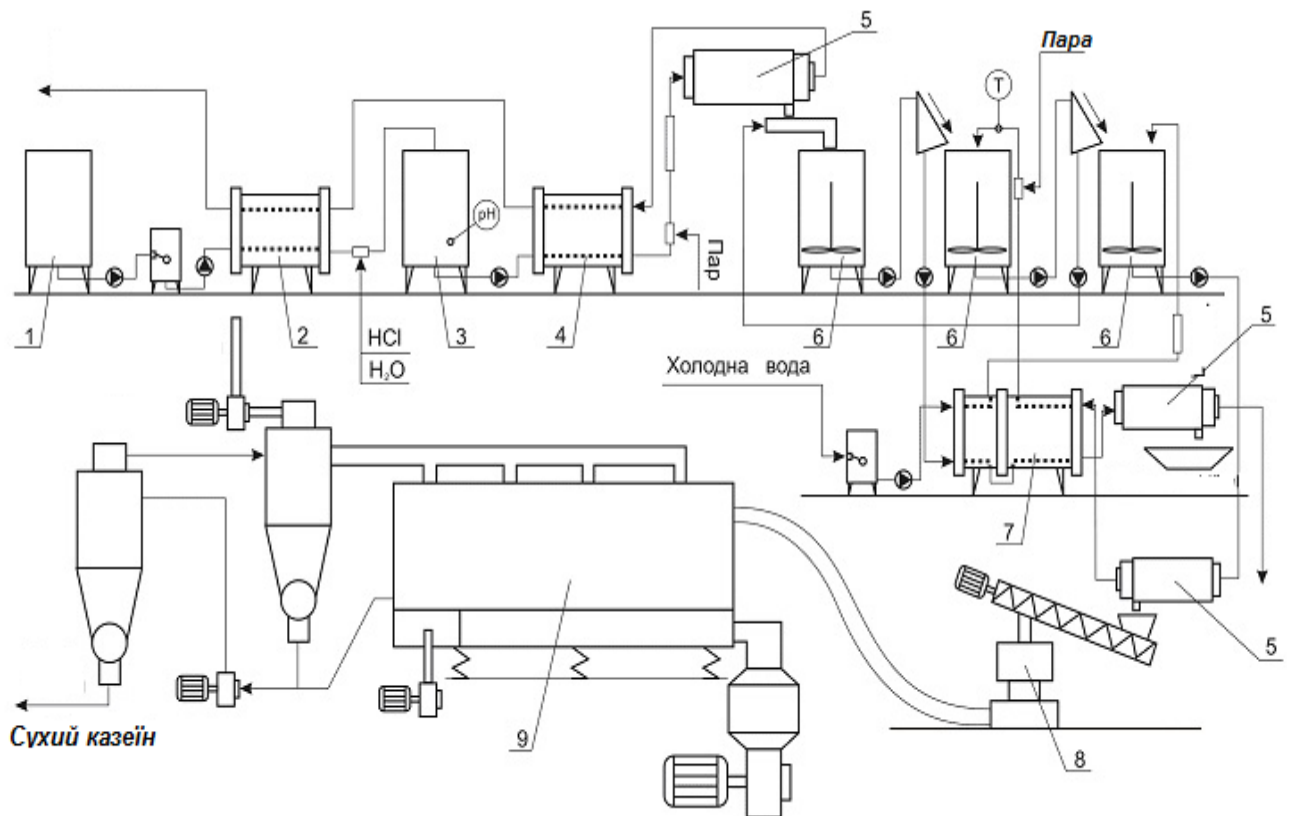


Рисунок 1.6. Технологічний процес отримання кислотного казеїну безперервним методом з використанням центрифуги.

1. Контейнер для зберігання нежирного молока. 2. Теплообмінник для попереднього нагріву нежирного молока. 3. Резервуар для змішування. 4. Теплообмінник. 5. Центрифуга. 6. Резервуари, 7. Теплообмінник для пастеризації та нагріву води для промивання. 8. Машина для створення гранул. 9. Сушарка

Апарат для сушіння з використанням киплячого шару відділяє вологу знежиреного молока, яке потім потрапляє з контейнера для зберігання до пластинчастого підігрівача та підігрівається до 25-30°C. Процес осадження казеїну починається зі змішування знежиреного молока з коагулянтном, досягаючи активної кислотності рН 4,4-4,6 у коагуляційній ємності. Автоматичне регулювання рН здійснюється за допомогою дозуючого насоса, який додає 10-12 г 10% розчину соляної кислоти на 1 л знежиреного молока.

Далі суміш направляється в трубчастий підігрівач-коагулятор, де утворюються казеїнові зерна при 45-48°C і витримці 1-1,5 хвилини.

Потім казеїнові зерна проходять через перший декантер, де відбувається розділення сироватки. Після цього зерна казеїну проходять тричі промивку з використанням промивної води. Перша промивна ємність промивається протягом 15 хвилин при 70-73 °C і рН 3,9-4,4. З цієї ємності казеїн направляється в другу ємність через лотковий ситовий відділювач промивної води. У другій ємності вода (рН 3,9-4,4) нагрівається до 85-90°C та пастеризується при 82-85°C і витримується 15 секунд. Якщо температура пастеризації не досягається, зерна повертаються для повторної обробки. Додаткова пастеризація застосовується лише за потреби, інакше здійснюється проста промивка при помірній температурі.

З другої промивної ємності казеїн направляється в третю ємність через ситовий відділювач промивної води, де він охолоджується до 32-35°C. Потім казеїн направляється до другого декантера, де остаточно видаляється волога, та масова частка в казеїн-сирець становить $48 \pm 3\%$.

Вода з першої ємності направляється на очистку від казеїну у третій декантер, після чого зібраний казеїн надходить у другу ємність. Для додаткового видалення білкового пилу використовують спеціальні сепаратори-очисники.

Після цього зерна подаються в сушарку. Сушіння відбувається при температурі киплячого шару 45-55°C, з подачею повітря при 110-130°C. Висушені дрібні казеїнові зерна потрапляють у циклон та подаються в бункер для зберігання перед наступною фасуванням. Більші зерна казеїну після помелу направляються в бункер для фасування.

1.4. Огляд способів математичного моделювання процесів

Багато харчових технологій відзначаються великою кількістю змінних, які настільки складні, що математичні методи, які зазвичай використовуються

для їхнього опису, стають неефективними. Тому для встановлення зв'язків між параметрами, що характеризують процес, доводиться вдаватися до експериментальних досліджень. Це включає відбір факторів, які суттєво впливають на результат на основі аналізу досліджуваної задачі. Фактори, які мають менший вплив на результат, зазвичай відкидаються для спрощення аналізу. Експерименти проводяться на фізичних моделях об'єкту або безпосередньо на ньому, де встановлюють залежності між факторами у аналітичній або графічній формі.

Експериментальний метод має кілька переваг, включаючи можливість отримання високої точності виведених залежностей та високу ймовірність виявлення зв'язків, які не можна знайти іншими методами. Проте він також має недоліки, зокрема, емпіричні рівняння можуть бути обмеженими і не застосовними до умов, що відрізняються від тих, для яких вони були отримані. Найбільш поширеним під час досліджень процесів і пристроїв є синтетичний метод, який поєднує аналітичні та експериментальні підходи.

Пасивний експеримент використовується для створення математичних моделей об'єктів, у яких вхідні параметри можуть бути виміряні, але не регулюються дослідником або обмежуються технологічними умовами. Зазвичай його застосовують на діючих виробничих об'єктах, де обмеження на зміну параметрів досить суворі через вимоги до якості продукції та ефективності виробництва.

Мета пасивного експерименту - зареєструвати значення факторів та вихідних параметрів. Для цього важливо, щоб значення факторів фіксувалися в стаціонарному режимі та одночасно, при цьому фактори мають бути некорельованими між собою. Точність вимірювання факторів повинна бути принаймні на рівні точності вимірювання вихідних параметрів.

Щоб побудувати статистичні математичні моделі об'єктів на основі отриманих даних, використовують методи кореляційного і регресивного аналізу. Ці моделі можуть бути лінійними або нелінійними рівняннями регресії.

1.5. Мета та основні задачі дипломної роботи

Підвищення ефективності сушіння казеїну може бути досягнуто за рахунок зменшення вмісту вологи у казеїні-сирці, який подається до сушарки. Це можна здійснити шляхом покращення процесу зневоднення на етапі декантування.

Для досягнення більш ефективного зневоднення казеїну на декантаторі, необхідно глибше розуміти процеси, які відбуваються у декантері, а також властивості казеїну під час його зневоднення. Оптимізація цього етапу може сприяти підвищенню виходу казеїну з меншою кількістю вологи, що в свою чергу зменшить енергоспоживання процесу сушіння.

Математичне моделювання властивостей казеїну в процесі обробки може значно полегшити розуміння процесу зневоднення. Ключовими параметрами, що пов'язані з компресійними властивостями казеїну, є коефіцієнт пористості та коефіцієнт стисливості.

Встановлення цих параметрів допоможе оптимізувати роботу декантера, враховуючи реальні властивості казеїну. Наприклад, коефіцієнт пористості вказує на ступінь пористості матеріалу, тоді як коефіцієнт стисливості дозволяє зрозуміти, наскільки компактно казеїн може бути ущільнений.

Ці параметри стануть важливими для оптимізації процесу зневоднення, допомагаючи відібрати оптимальні умови для роботи декантера та підвищення ефективності процесу.

Отримані дані щодо компресійних властивостей казеїну важливі для модернізації декантера. Вони дозволяють визначити оптимальне значення кроку шнека, що сприятиме більш повному зневодненню продукту.

Крім того, адгезійні властивості казеїну, особливо при транспортуванні осаду шнеком уздовж корпусу декантера, також відіграють велику роль. Розуміння цих властивостей допоможе вибрати оптимальні умови для

переміщення осаду шнеком, забезпечуючи ефективність транспортування без втрати якості продукту.

Мета роботи: підвищення ефективності зневоднення казеїну на декантерній центрифугі марки С4Е.

Задачі:

- обрати методики та прилади для аналізу компресійних, гранулометричних характеристик і вологості казеїну;
- вибрати методи моделювання форми казеїнових зерен;
- здійснити дослідження компресійних властивостей та гранулометричного складу;
- встановити характер залежності вологості казеїну від частоти обертання барабана;
- розробити заходи із модернізації деканторної центрифуги.

2. Конструкторська частина

2.1. Кінематичний аналіз центрифуги

Барабан центрифуги активується електродвигуном 1 через механізм передачі 3-4. Потужність електродвигуна становить 15 кВт, що забезпечує частоту обертання барабану на рівні 4000 обертів за хвилину. Шнек 8, з свого боку, забезпечується електродвигуном 2, що має потужність 10 кВт, за допомогою передачі 5-6. Вал шнека 8 закріплений на опорних деталях 9.

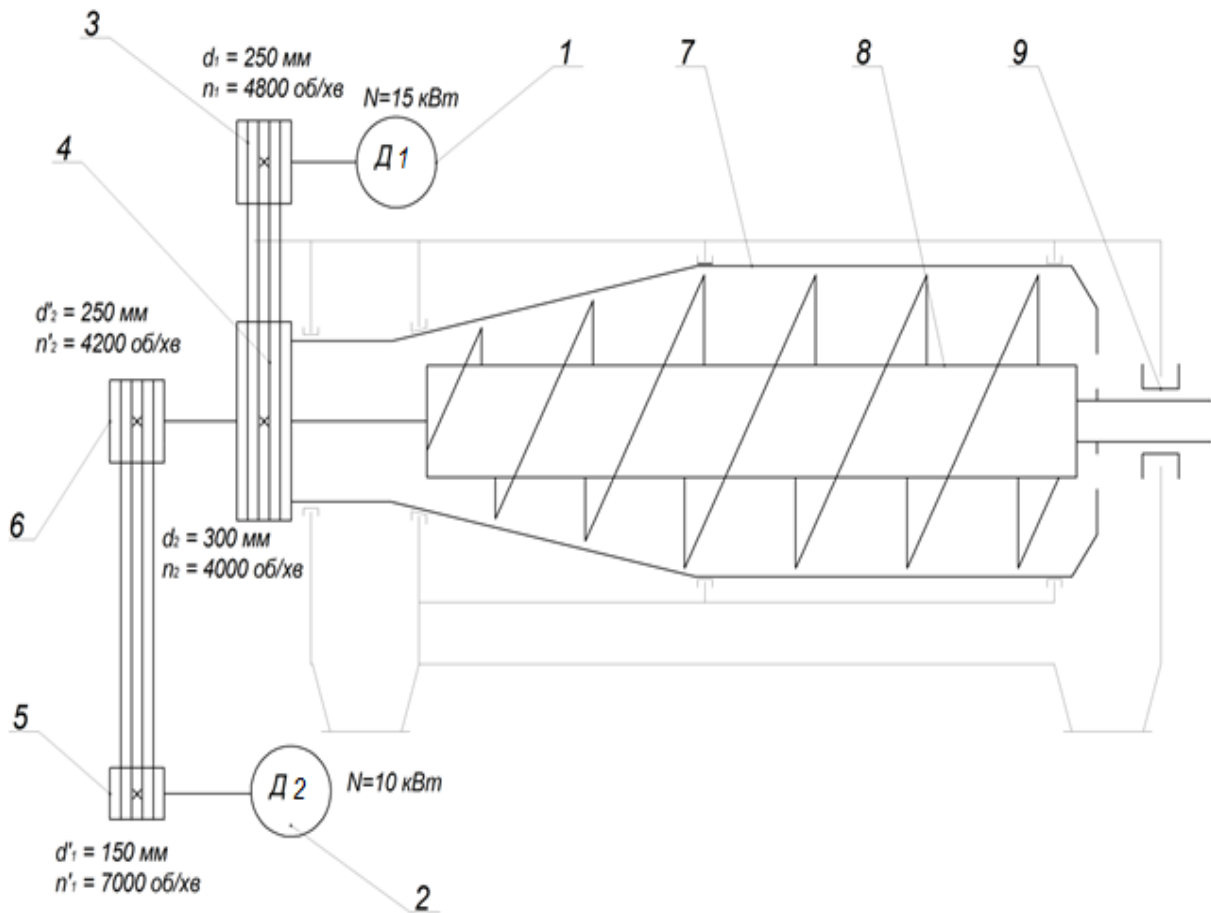


Рисунок 3.1. Кінематична схема центрифуги

1 – двигун барабану; 2 – двигун шнека; 3-4 – опасова передача; 5-6 – пасова передача; 7 – горизонтальний барабан; 8 – шнек; 9 – опори.

2.2. Кінематичний розрахунок приводів

2.2.1. Привід для барабану

Кількість обертів двигуна Д 1:

$$n_1 = 4800 \text{ об/хв.}$$

Кількість обертів барабану:

$$n_2 = 4000 \text{ об/хв.}$$

При потужності 15кВт та кількості обертів 4000об/хв беремо пас із січенням Б.

Передаточне число пасової передачі, що передає рух від двигуна до барабану:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{4800}{4000} = 1,2 .$$

Потужність, що передається пасом становить:

$$N_0 \geq \frac{P}{3} = \frac{15}{3} = 5 \text{ кВт.}$$

Відповідно до довідника передаточному числу 1,2 та потужності 5кВт відповідає діаметр $d_1 = 250$ мм.

Діаметр більшого шківів:

$$d_2 = d_1 u (1 - \xi) = 250 \cdot 1,2 (1 - 0,02) = 294 \text{ мм.}$$

Приймемо $d_2 = 355$ мм.

Дійсне передаточне число:

$$i_d \geq \frac{d_2}{d_1} = \frac{294}{250} = 1,18$$

Кількість обертів барабану:

$$n_2 \geq \frac{n_1}{i_d} = \frac{4800}{1,18} = 4067 \text{ хв}^{-1}$$

Відхилення буде:

$$\frac{4067 - 4000}{4000} \cdot 100\% = 1,7\% ,$$

дане значення є прийнятним.

Перевірка міжосевої віддалі.

Відстань між шківками мусить задовольняти умову:

$$a_{\min} = 0,55(d_2 - d_1) + T_0.$$

Підставимо:

$$a_{\min} = 0,55(250 + 300) + 10, = 313 \text{ мм.}$$

Прийmemo $a = 500$ мм.

Розрахункова довжина пасу буде:

$$\begin{aligned} L_p &= \frac{2a + \pi(d_2 + d_1)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} = \\ &= \frac{2 \cdot 500 + 3,14(300 + 250)}{2} + \frac{(300 - 250)^2}{4 \cdot 500} = 1365 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Оберемо дійсну довжину пасу нашої передачі 1800 мм.

Дійсна міжосева віддаль:

$$\begin{aligned} a &= \frac{2L - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2L - \pi(d_2 + d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}}{8} = \\ &= \frac{2 \cdot 1800 - 3,14(300 + 250) + \sqrt{[2 \cdot 1800 - 3,14(300 + 250)]^2 - 8(300 - 250)^2}}{8} = \\ &= 272 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Кут обхоплення ведучого шківки:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{a} = 180 - 57 \frac{355 - 125}{272} = 132^\circ$$

$$C_\alpha = 0,87.$$

Потужність, яка передається за допомогою одного пасу:

$$N_p = N_o \cdot C_\alpha \cdot \frac{C_L}{C_p} = 3,5 \cdot 0,87 \cdot \frac{0,98}{1} = 2,98$$

де C_L – коеф., що залежить від довжини пасу, $C_L = 0,98$.

C_α – коеф., що залежить від нерівномірності розподілення зусилля,
 $C_\alpha = 0,95$;

C_p – коеф., що залежить від режиму роботи передачі, $C_p = 1,00$.

Необхідне число пасів:

$$z = \frac{N}{N_p} \cdot C_2 = \frac{11}{2,98} \cdot 0,95 = 4$$

Швидкість їх руху:

$$v = \pi d_1 \cdot \frac{n_1}{60} = 3,14 \cdot 0,125 \cdot \frac{1000}{60} = 6,54 \text{ м\с.}$$

кількість обертів:

$$\vartheta = \frac{v}{L} = \frac{6,54}{1,8} \approx 3,6 \text{ с}^{-1},$$

це відповідає умові $v = 10 \div 15 \text{ с}^{-1}$.

Сила, яка передається передачею:

$$F_t = \frac{N}{t} = \frac{11}{6,54} = 1,68 \text{ кН.}$$

Сила, що діє на вал :

$$F_b = 1,5 \cdot F_t \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 1,5 \cdot 1,68 \cdot \frac{\sin 132}{2} = 1,5 \cdot 1,68 \cdot 0,921 = 2,32 \text{ кН}$$

2.2.2. Привід шнека

Кількість обертів двигуна Д 2:

$$n_1 = 7000 \text{ об/хв.}$$

Кількість обертів барабану:

$$n_2 = 4200 \text{ об/хв.}$$

Для потужності 10 кВт та кількості обертів 7000 об/хв візьмемо пас із сиченням Б.

Передаточне відношення передачі, що передає зусилля від двигуна до шнека:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{7000}{4200} = 1,67 .$$

Так як максимальна кількість пасів становить 3 шт., то одним пасом передається наступна потужність:

$$N_0 \geq \frac{P}{3} = \frac{10}{3} = 3,3 \text{ кВт.}$$

При $u = 1,67$ та $N_0 = 3,3$ Квт – $d_1 = 150$ мм.

Діаметр більшого шківів:

$$d_2 = d_1 u (1 - \xi) = 150 \cdot 1,67 (1 - 0,02) = 245 \text{ мм.}$$

Дійсне передаточне число:

$$i_d \geq \frac{d_2}{d_1} = \frac{250}{150} = 1,7$$

Кількість обертів:

$$n_2 \geq \frac{n_1}{i_d} = \frac{7000}{1,7} = 4117 \text{ хв}^{-1}$$

Відхилення:

$$\frac{4200 - 4117}{4200} = 2^{-3} = 2\% ,$$

Умова:

$$a_{\min} = 0,55(d_2 - d_1) + T_0.$$

Підставимо:

$$a_{\min} = 0,55(150 + 250) + 10,5 = 230,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо $a = 500$ мм.

Довжина пасу:

$$L_p = \frac{2a + \pi(d_2 + d_1)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} =$$

$$= \frac{2 \cdot 500 + 3,14(250 + 150)}{2} + \frac{(250 - 150)^2}{4 \cdot 500} = 1133 \text{ мм.}$$

Дійсна довжину $L=1800\text{мм}$.

Дійсна міжосева віддаль буде:

$$a = \frac{2L - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2L - \pi(d_2 + d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}}{8} =$$

$$= \frac{2 \cdot 1800 - 3,14(250 + 150) + \sqrt{[2 \cdot 1800 - 3,14(250 + 150)]^2 - 8(250 - 150)^2}}{8} =$$

$$= 320 \text{ мм.}$$

Кут обхоплення ведучого шківів:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{a} = 180 - 57 \frac{250 - 150}{320} = 162^\circ$$

Потужність, яка припадає на один пас:

$$N_p = N_o \cdot C_\alpha \cdot \frac{C_L}{C_p} = 3,5 \cdot 0,87 \cdot \frac{0,98}{1} = 2,98$$

Кількість пасів:

$$z = \frac{N}{N_p} \cdot C_2 = \frac{11}{2,98} \cdot 0,95 = 4$$

Швидкість руху даних пасу :

$$v = \pi d_1 \cdot \frac{n_1}{60} = 3,14 \cdot 0,125 \cdot \frac{1000}{60} = 6,54 \text{ м\с.}$$

Частота обертів:

$$\vartheta = \frac{v}{L} = \frac{6,54}{1,8} \approx 3,6 \text{ с}^{-1},$$

Умова виконана: $v = 10 \div 15 \text{ с}^{-1}$.

Зусилля, яке передається пасами :

$$F_t = \frac{N}{t} = \frac{10}{6,54} = 1,53 \text{ кН.}$$

Сила, яка діє на вал :

$$F_b = 1,5 \cdot F_t \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 1,5 \cdot 1,53 \cdot \frac{\sin 132}{2} = 1,5 \cdot 1,53 \cdot 0,921 = 2,11 \text{ кН}$$

2.3 Структурний аналіз деканторної центрифуги

Сусаензія подається у центрифугу через центральний вхідний трубопровід 1 (див. рис. 1.3). Після цього об'єкт розділення переходить у прийомну камеру шнека 2. Після попереднього прискорення рідина направляєється через розподільні отвори у барабан.

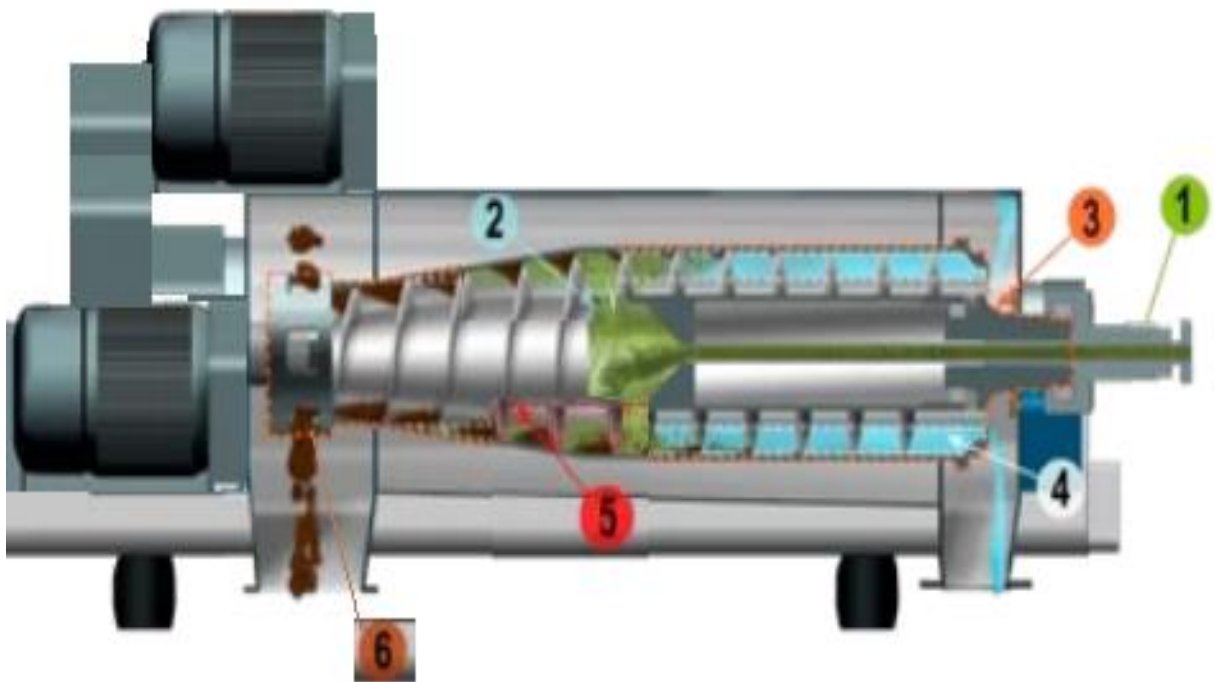


Рисунок 2.3. Конструкція декантерної центрифуги для казеїну

Барабан центрифуги 3 має форму циліндра з конічною частиною. Він обертається з відповідною швидкістю, необхідною для вирішення задачі. Рідина у барабані досягає максимальної швидкості, що призводить до утворення циліндричного кільця, яке прилягає до внутрішньої поверхні центрифуги. Це призводить до осідання твердих частинок речовини на внутрішній поверхні барабана 4.

Шнек центрифуги працює з меншим числом обертів, ніж барабан, і подає казеїн у конічну частину барабана 5. Різниця у швидкості обертання барабану і шнека визначає, як довго тверді речовини залишаються всередині барабану. Цей фактор, серед іншого, впливає на вологість казеїну і може змінюватися, регулюючи різницю у числі обертів шнека і барабана відповідно до поставлених завдань для розділення. Можливість адаптування центрифуги до різних умов роботи можна здійснити лише шляхом заміни шнека.

Під час роботи центрифуги, тверді речовини з потрібним рівнем вологості видаляються через вихідні отвори в конічній частині барабана, потрапляючи у резервуар для твердих речовин, звідки їх вивантажують 6.

Очищена рідина, в свою чергу, потрапляє до циліндричної задньої частини барабана і подальше виводиться через отвори в кришці барабану 7 (рис. 2.4). В цих отворах розміщені переливні перегородки 8, які регулюють рівень рідини всередині барабана.

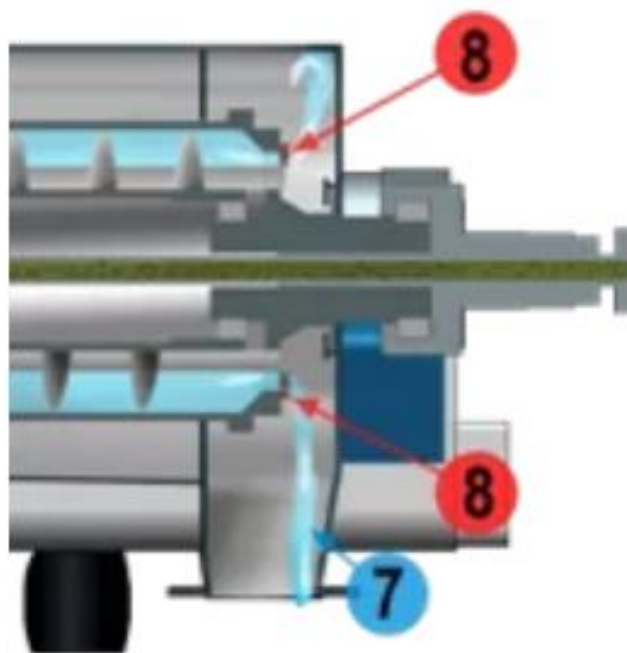


Рисунок 2.4. Відведення освітленої суспензії

Також, очищена рідина може бути виведена за допомогою регульованого диска для поділу фаз 9 (рис. 1.5). Цей регульований диск дозволяє плавно змінювати рівень рідини під час процесу розділення, щоб швидко адаптуватися

до нових параметрів без виходу центрифуги з експлуатації.

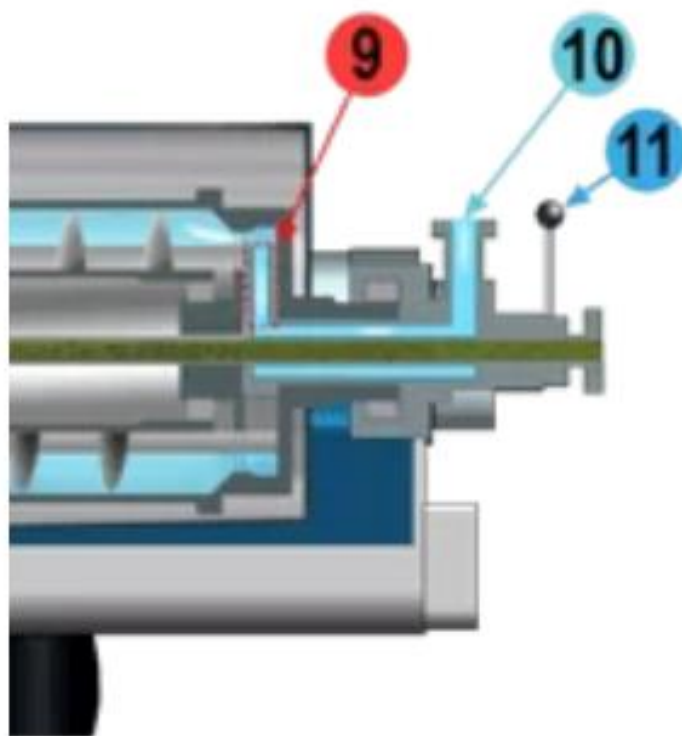


Рисунок 2.5. Схема робота диску розділення

2.4. Аналіз структури вузла завантаження - розвантаження

Даний вузол відповідає за подачу суспензії у барабан центрифуги та відведення освітленої рідини (сироватки). Водночас зневоднений казеїн видаляється з центрифуги на протилежному кінці барабану.

Ключовим компонентом в цьому вузлі є регульований диск 3 (рис. 2.2.), який можна налаштувати за допомогою рукоятки 7 для отримання продукту з певною вологою (в рамках певних меж). Цей диск дозволяє плавно змінювати рівень рідини під час процесу розділення, щоб швидко адаптуватися до нових параметрів, не вимикаючи центрифугу з експлуатації.

Суспензія подається у барабан через канал 1, який безпосередньо з'єднаний з патрубком 8 за допомогою фіксатора 9.

Освітлена рідина відводиться з барабану через канал 2 та патрубок 6.

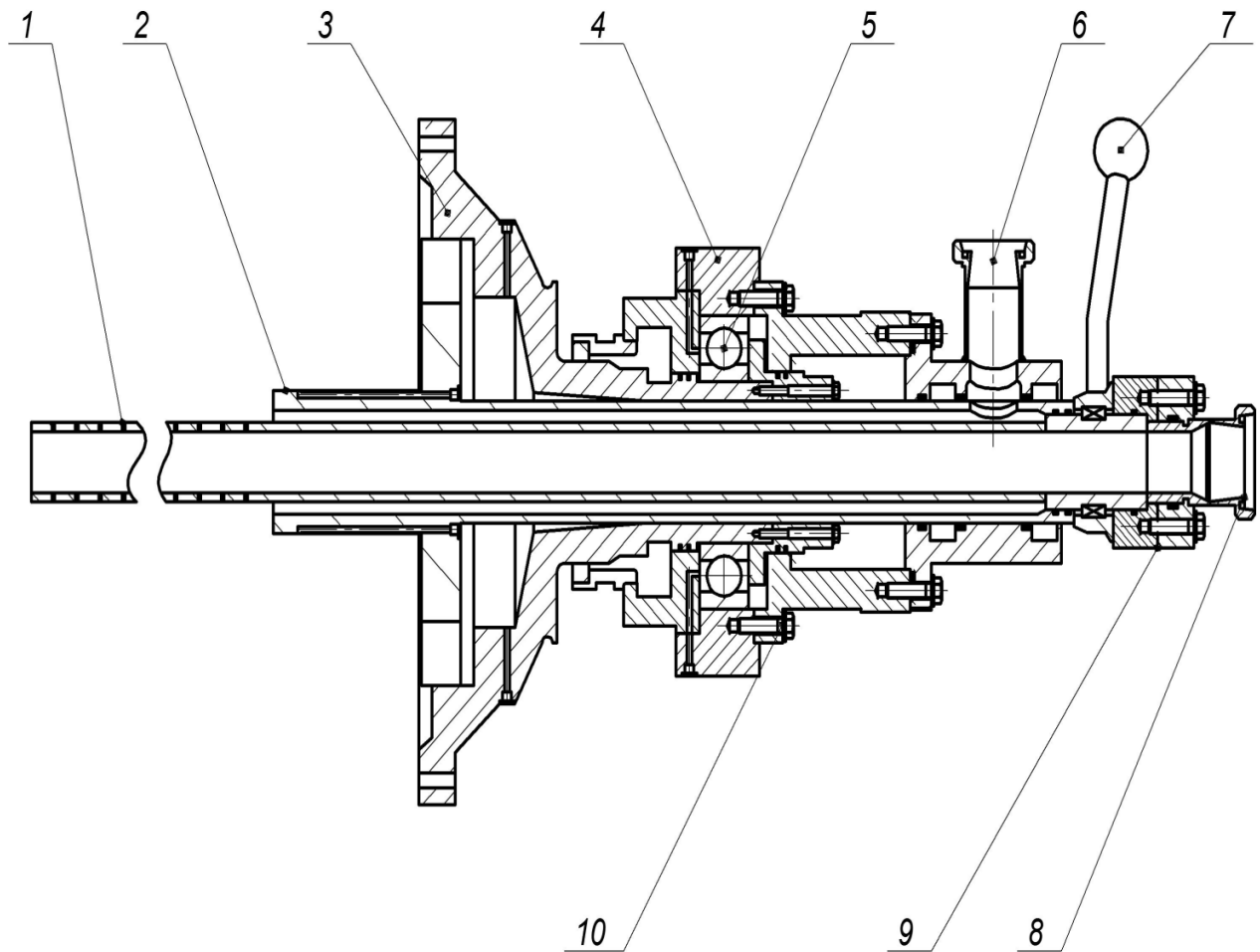


Рисунок 2.2. Вузол завантаження - розвантаження

1 – канал подачі суспензії; 2 – канал відведення освітленої суспензії; 3 – диск розділення; 4 – вузол підшипника; 5 – підшипник; 6 – патрубок відведення суспензії; 7 – ручка регулювання диску; 8 – патрубок подачі суспензії в центрифугу; 9 –фіксатор; 10 –болти.

2.5. Конструктивний та міцнісний розрахунок

2.5.1. Конструктивний розрахунок ротора

Ротор для центрифуги казеїну складається з кількох компонентів: циліндрична оболонка 2, конічна оболонка 1 та бортове кільце 3.

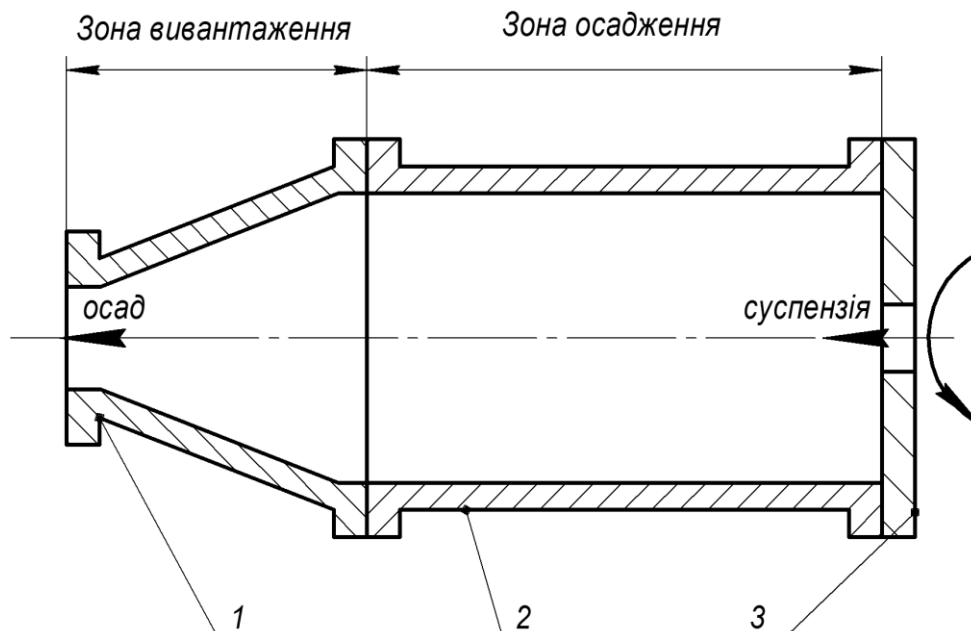


Рисунок 2.3. Схема ротора центрифуги

1–конічна обичайка; 2–циліндрична обичайка; 3–кільце

Ротор горизонтальної центрифуги є найбільш навантаженою частиною системи. На нього одночасно впливає радіальне інерційне навантаження від маси ротора та гідродинамічний тиск, утворений при обертанні суспензії. Ми розглянемо розрахунок конічної та циліндричної обичайок, розглядаючи їх як тонкостінні та однорідні оболонки.

Важливо врахувати, що на обичайку, зокрема на її циліндричну частину, одночасно діють дві сили: інерційне навантаження від маси ротора та гідродинамічний тиск рідини всередині нього. (рис. 2.4.)

Схематичне зображення навантаження обичайки подано на рисунку 2.4.

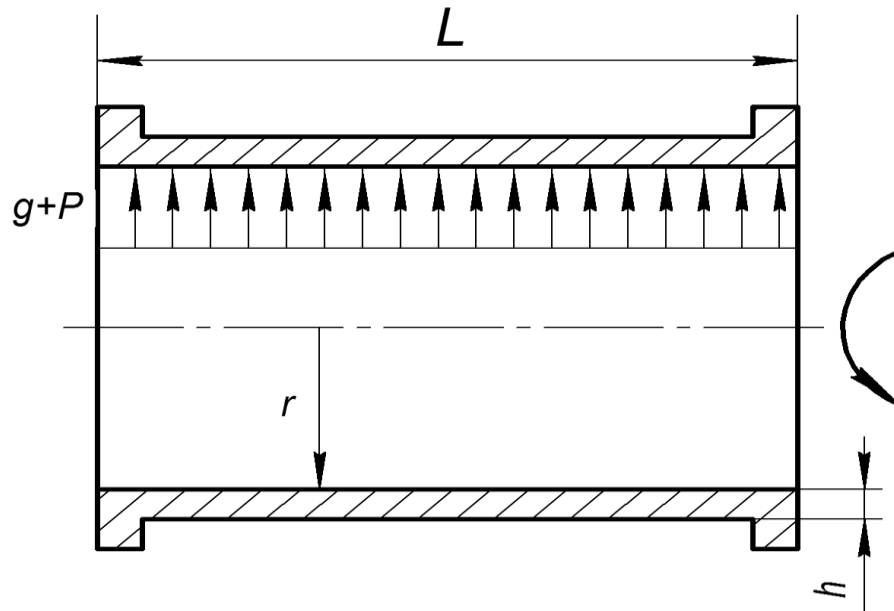


Рисунок 2.4. Схема навантажень обичайки ротора

Кількість обертів ротора:

$$n=1800 \text{ об/хв.}$$

Ступінь його заповнення:

$$\psi = \frac{r^2 - r_1^2}{r^2}, \quad \psi = 0,534$$

Колова швидкість:

$$v_k = \frac{\pi \cdot n \cdot r}{30}, \quad v_k = 59,376 \text{ м/с}$$

Відношення густини суспензії до густини матеріалу, обичайки:

$$\lambda = \frac{\rho_p}{\rho}, \quad \lambda = 0,133$$

Тиск, який діє на обичайку в результаті сил інерції:

$$\sigma_0 = \rho \cdot v_k^2, \quad \sigma_0 = 2,768 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Коефіцієнт запасу міцності візьмемо 2.

Товщина стінки обичайки:

$$h = \frac{r}{2} \cdot \frac{\lambda \cdot \psi \cdot \sigma_0}{\sigma_d - \sigma_0}, \quad h = 3,351 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Приймаємо $h = 0,005 \text{ м}$.

Напруження:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_0 \cdot r \cdot \lambda \cdot \psi^2}{8 \cdot h}, \quad \sigma_m = 2,754 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Сумарне колове напруження:

$$\sigma_t = \sigma_0 \left(\frac{\lambda \cdot \varphi \cdot r}{2 \cdot h} + 1 \right), \quad \sigma_t = 4,83 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Умови міцності виконуються, оскільки значення еквівалентного напруження менше допустимого.

Схема навантаження, що діє на конічну обичайку показано на рисунку 2.5.

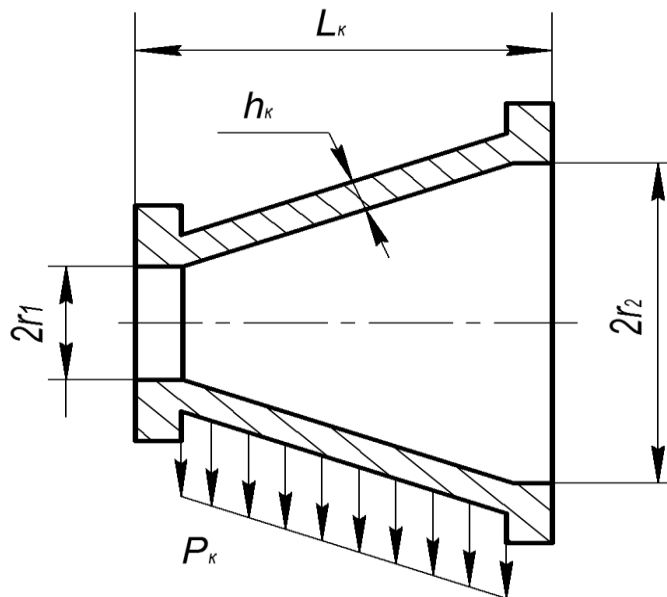


Рисунок 2.5. Схема навантаження, що діє на конічну обичайку

Ступінь заповнення ротора:

$$\psi = \frac{r^2 - r_1^2}{r^2}, \quad \psi = 0,802$$

Кутова швидкість:

$$v_k = \frac{\pi \cdot n \cdot r}{30}, \quad v_k = 59,376 \text{ м/с}$$

Відношення густин:

$$\lambda = \frac{\rho_P}{\rho}, \quad \lambda = 0,133$$

Напруження в обичайці від сил інерції:

$$\sigma_0 = \rho \cdot v_k^2, \quad \sigma_0 = 2,768 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Допустимі напруження:

$$v_d = \frac{v_t}{nt}, \quad v_d = 1,2 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

Товщина стінки:

$$h = \frac{r}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{\lambda \cdot \psi \cdot v_0}{\sigma_d - \sigma_0}, \quad h = 5,084 \cdot 10^{-3}$$

Приймаємо: $h=0,005\text{м}$

Напруження:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_0 \cdot r \cdot \lambda \cdot \psi^2}{8 \cdot h}, \quad \sigma_m = 6,216 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Сумарне напруження:

$$\sigma_t = \sigma_0 \left(\frac{\lambda \cdot \psi \cdot r}{2 \cdot h} + 1 \right), \quad \sigma_t = 5,866 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Еквівалентне напруження є менше ніж допустиме. Умови міцності виконуються.

Прийmemo товщину бортового кільця рівною 1,5 товщини обичайки.

2.5.2. Конструктивний розрахунок шнека

Здійснимо аналіз міцності вала шнека центрифуги. Він має пустотілий дизайн та складається з двох частин: ділянки для осадження та ділянки для вивантаження осаду (2.6).

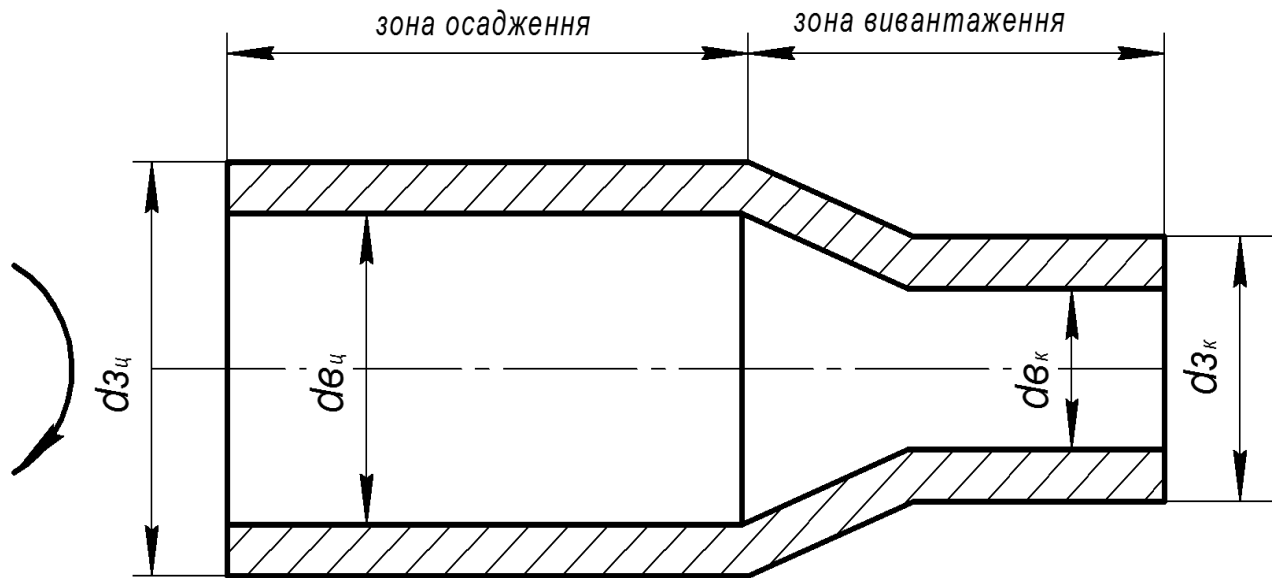


Рисунок 2.6. Схема шнека

Максимальний значення тиску у внутрішній частині пустого шнеку $P_{\max} = 130000 \text{ Па}$.

Матеріал валу шнека сталь 15ХН. Для неї границя текучості $\sigma_t = 230 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Коеф. внутрішнього тертя зерен казеїну $f = 0,5$.

Коеф. запасу міцності $nt = 2$.

Допустиме напруження $\sigma_d = 1,15 \cdot 10^8 \text{ Па}$.

Кут підйому гвинтових ліній шнека:

$$\alpha D_0 = a \tan\left(\frac{H}{\pi \cdot D_0}\right),$$

після підстановки:

$$\alpha D_0 = 0,099 \text{ рад}, \quad \alpha D_0 \cdot \frac{180}{\pi} = 5,659$$

Кут підйому гвинтових ліній зі сторони вала:

$$\alpha d_0 = a \tan\left(\frac{H}{\pi \cdot d_0}\right),$$

підставимо:

$$\alpha D_d = 0,142 \text{ рад}, \quad \alpha d_0 \cdot \frac{180}{\pi} = 8,131$$

Середнє значення кута даних ліній:

$$\alpha_{0ch} = 0,5 \cdot (\alpha D_0 + \alpha d_0), \quad \alpha_{0ch} = 0,12 \text{ рад}$$

буде:

$$\alpha_{0ch} \cdot \frac{180}{\pi} = 6,895$$

Крутний момент.

$$Mkp_0 = 0,131 \cdot Z \cdot P \max \cdot (D_0^3 - d_0^3) \cdot \tan(\alpha_{0cp}),$$

підставимо:

$$Mkp_0 = 1,962 \cdot 10^3 \text{ Нм}$$

Осьове зусилля:

$$f_0 = 0,392 \cdot Z \cdot (D_0^2 - d_0^2) \cdot P \max ,$$

буде:

$$f_0 = 6,1 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Нормальне напруження:

$$\sigma = \left[\frac{4 \cdot S_0}{\pi \cdot (d_0^2 - db_0^2)} \right],$$

буде:

$$\sigma = 3,119 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Дотичне напруження:

$$\tau = \frac{16 \cdot Mkp_0 \cdot d_0}{\pi(d_0^4 - db_0^4)},$$

буде:

$$\tau = 5,004 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{ek} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2},$$

отримаємо:

$$\sigma_{ek} = 3,276 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Отже еквівалентне напруження є меншим допустимого. Умови міцності виконуються.

Розглянемо зараз ділянку вивантаження осаду, що відрізняється змінним діаметром шнека. Оскільки діаметр шнека тут змінюється, наш розрахунок спрямуємо на найтонше його місце, бо саме тут найбільше навантаження.

Зовнішній діаметр конічної частини шнека в цій найтоншій ділянці становить метр. Для вала зовнішній діаметр в цьому самому місці дорівнює 0,28 метра, внутрішній — 0,25 метра. Границя текучості для матеріалу, який ми обрали, складає Па.

Тепер припустимо коефіцієнт запасу міцності 2.

Допустиме напруження:

$$\sigma_d = \frac{\sigma}{nt},$$

буде:

$$\sigma_d = 1,15 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Кут підйому гвинтових ліній у конічній частині шнека з зовнішньої його сторони:

$$\alpha Db = a \tan\left(\frac{H}{\pi \cdot Db}\right),$$

буде:

$$\alpha Db = 0,165 \text{ рад, } \alpha Db \cdot \frac{180}{\pi} = 9,427$$

Те сама зі сторони вала:

$$\alpha db = a \tan\left(\frac{H}{\pi \cdot db}\right), \quad \alpha db = 0,216 \text{ рад}$$

підставимо:

$$\alpha db \cdot \frac{180}{\pi} = 12,375$$

Тепер визначимо середнє значення кута підйому гвинтових ліній на ділянці конічної частини:

$$\alpha b_{cp} = 0,5 \cdot (\alpha Db + \alpha db),$$

буде:

$$\alpha b_{cp} = 0,19 \text{ рад, } \alpha b_{cp} \cdot \frac{180}{\pi} = 10,901.$$

Крутний момент в конічній його частині:

$$Mkpb = 0,131 \cdot Z \cdot P_{\max} \cdot (Db^3 - db^3) \cdot \tan(\alpha b_{cp})$$

буде:

$$Mkpb = 564,802 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Значення осьового зусилля в конічній частині:

$$S_b = 0,392 \cdot Z \cdot (Db^2 - db^2) \cdot P_{\max}, \quad S_b = 1,789 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Величина нормального напруження валу в конічній його частині:

$$\sigma = \left[\frac{4 \cdot S_b}{\pi (db^2 - dbb^2)} \right], \quad \sigma = 1,432 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Дотичне напруження в конічній його частині:

$$\tau = \frac{16 \cdot Mkpb \cdot db}{\pi \cdot (db^4 - dbb^4)}, \quad \tau = 3,595 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Еквівалентне напруження на конічній ділянці:

$$\sigma_{ek} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2},$$

буде:

$$\sigma_{ek} = 1,603 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Евівалентне напруження в кінчній частині є меншим від допустимого. Умови міцності виконуються.

2.5.3. Розрахунок шківів

Підбір матеріалу

Беручи до уваги швидкість, яку розвиває клиновий пас, яка становить 6,5 м/с, можна визначити матеріал шківа передачі. Зазвичай, клинові паси працюють при швидкостях до 30 м/с. У цьому випадку рекомендовано використовувати чавун марки С4212.

Далі, для визначення основних конструктивних елементів шківа передачі, ми звертаємось до таблиць з параметрами шківів, які відповідають заданим пасам. Значення цих параметрів представлені у вигляді таблиці. 4.2.

Таблиця 2.1.

Параметри шківів

Параметри	Позначення	Значення
Розрахункова ширина канавки шківа, мм	l_p	14,0
Ширина канавки по зовнішньому діаметру, мм	b	$4,2 \pm 0,4$
Глибина канавки розрахункової ширини, мм	h	14,3
Віддаль між осями канавок, мм	l	19,0
Відстань між віссю крайньої канавки і торцем шківа, мм	f	$12,5 \pm 2$
Радіус заокруглення, мм	r	1,0
Кут канавки ?	α	34

Зовнішній діаметр шківа:

$$d_e = d_p + 2b = 250 + 2 \cdot 4,2 = 258,4 \text{ мм.}$$

Ширину ободу:

$$M = (n - 1)l + 2f = (4 - 1) \cdot 19,0 + 2 \cdot 12,5 = 82 \text{ мм.}$$

Довжину ступиці:

$$l_c = \frac{M}{3} + d_b = \frac{82}{3} + 25 = 52 \text{ мм,}$$

де d_b – діаметр вала .

Число спиць:

$$k_c = \left[\frac{1}{6} \div \frac{1}{7} \right] \sqrt{d} = \frac{1}{6\sqrt{555}} = 3,14.$$

Для значення $k_c > 3$ диск слід виготовляти зі спицями.

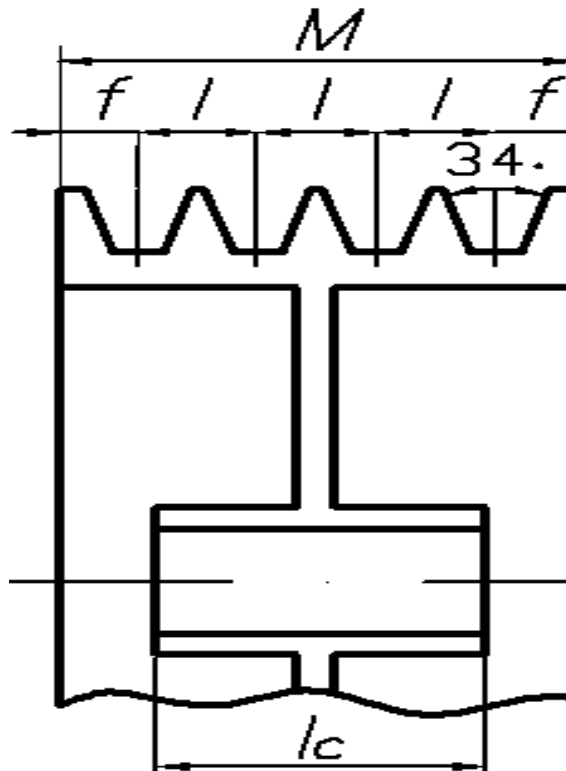


Рисунок 2.7. Ескіз шківа

Це означає, що при розрахунку спиць шківа потрібно враховувати згинання, що виникає від колової швидкості (позначеної як F_t). У цьому випадку при розрахунках спиць умовно приймають, що вони як консольні балки, вбудовані в ступицю вздовж її діаметрального січення. При цьому потрібно врахувати нерівномірність навантаження, припускаючи, що колова швидкість сприймається лише третиною від усіх ступиць.

Ширина спиці:

$$h = 3,4 \sqrt[3]{F_t \cdot d / k_e [\sigma_u]}$$

Допустиме напруження для матеріалу чавун становить:
[σ_u] = 30 ÷ 45 МПа.

отже:

$$h = 3,4 \sqrt[3]{1,68 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,355}{3,14} \cdot 30 \cdot 10^{-6}} = 0,01 \text{ м}$$

3. Дослідження відцентрового зневоднення казеїну

3.1. Обґрунтування необхідності досліджень

Виробництво казеїну можна розглядати як процес, що змінює реологічні властивості сировини через вплив біологічних та фізико-хімічних чинників. Такий підхід дозволяє виділити основні характеристики, які визначають технологічні операції. Початкова емульсія казеїну на початку процесу виробництва змінюється на стадії відділення сироватки: тепер казеїн можна визнати дисперсійною фазою суспензії (у сироватці), а потім як готовий твердий продукт. Однак цей процес відділення вологи, який є дуже енергоємним, проходить через три етапи: гравітаційне відділення вологи, відділення під тиском і відділення тепловою сушкою.

Вода може перебувати у різних формах, і кожна з них потребує специфічного методу відділення: вільна волога може випаровуватися самостійно, капілярна потребує тиску або теплової обробки, а гідратаційна складніше відділяється, але може перетворюватися під впливом технологічних чинників. Все це важливо враховувати, оскільки процес сушіння є дуже енергоємним і має значний вплив на якість кінцевого продукту. Відділення вологи шляхом механічних методів може значно зменшити енергетичні затрати під час процесу зневоднення.

При відділенні сироватки у центрифугі утворюється шар осаду. Ефективність цього процесу значно залежить компресійні властивості казеїну і на те, як ці характеристики змінюються під дією тиску.

Реально, компресійно-фільтраційні характеристики казеїну залишаються невизначеними наразі. Враховуючи його дисперсну природу, для вивчення цих характеристик можна використовувати фундаментальні принципи механіки ґрунтів.

Також важливими є гранулометричні властивості казеїну до та після декантації. Розмір частинок казеїну після декантації має значення для процесу зневоднення в сушарці. Зменшення розмірів частинок сприяє покращенню умов для видалення вологи з матеріалу під час сушіння.

3.2. Дослідження компресійних властивостей казеїну

Встановлено інтенсивну деформацію шару казеїну, що проходить на перших секундах дії тиску (рис. 3.1.).

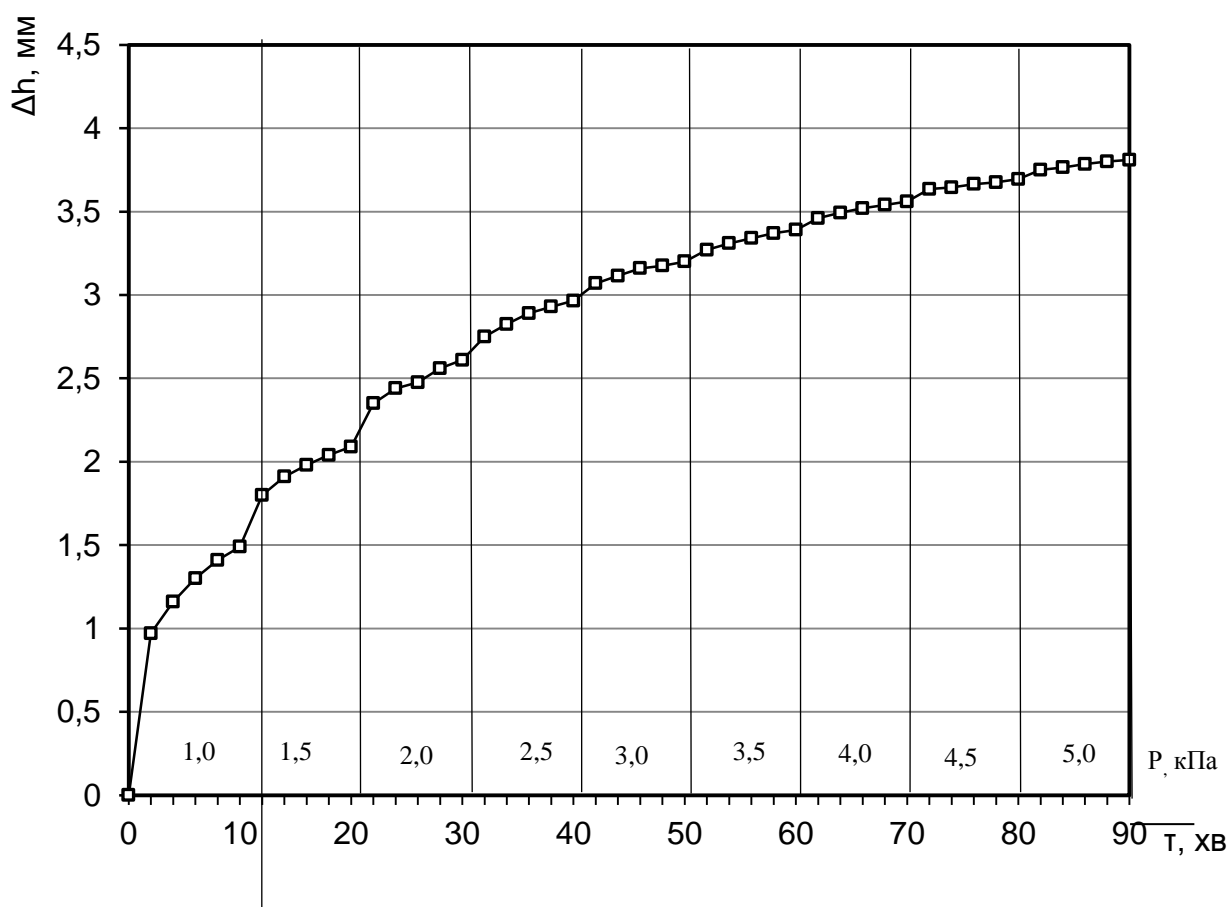


Рисунок 3.1. Деформація казеїну при ступеневому навантаженні

Після завершення деформації згустку на заключному етапі проводили поступове знімання тиску поршня і вимірювали висоту відновлення шару продукту за допомогою годинникового індикатора переміщення. Під час розвантаження відбувається часткова відновлення деформації, яка досягає 0,86

початкової висоти (рис. 3.2). Це підтверджує наявність пружно-пластичних характеристик у казеїні.

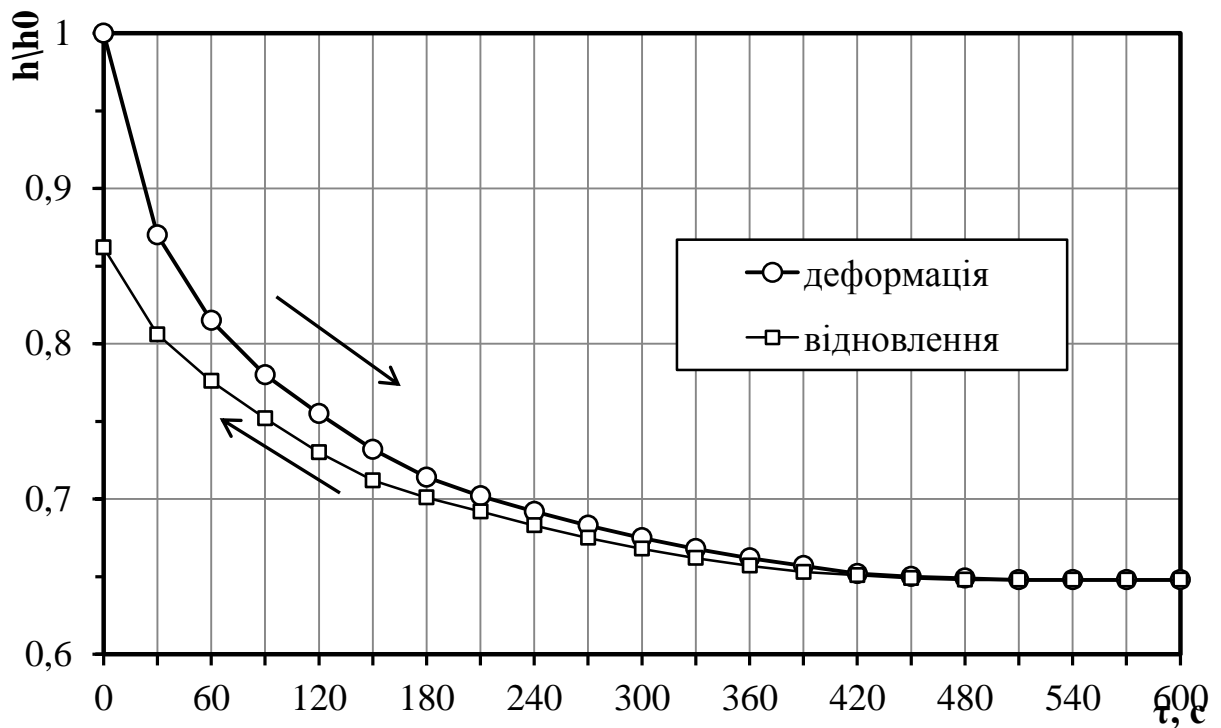


Рисунок 3.2. Криві деформації та відновлення для казеїну (тиск 10 кПа)

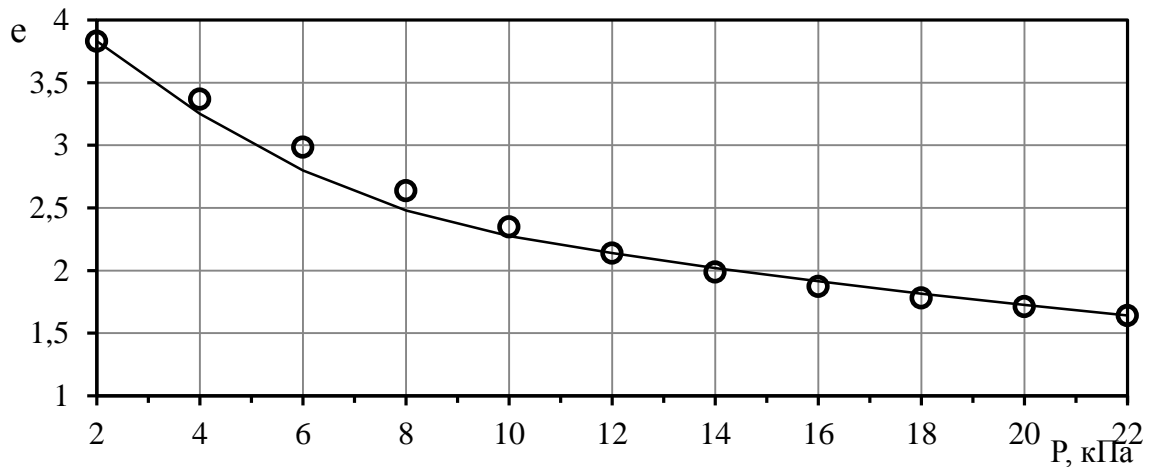


Рисунок 3.3. Залежність коефіцієнта пористості від тиску

Отримали вираз залежності коефіцієнта пористості від величини тиску:

$$e = 3,1 - 0,876P^{0,448}$$

Отримали залежність коефіцієнта стисливості даного казеїну від тиску. Вона свідчить (рис. 3.4), що в даному випадку присутня суттєва деформація казеїну при дії навантаження.

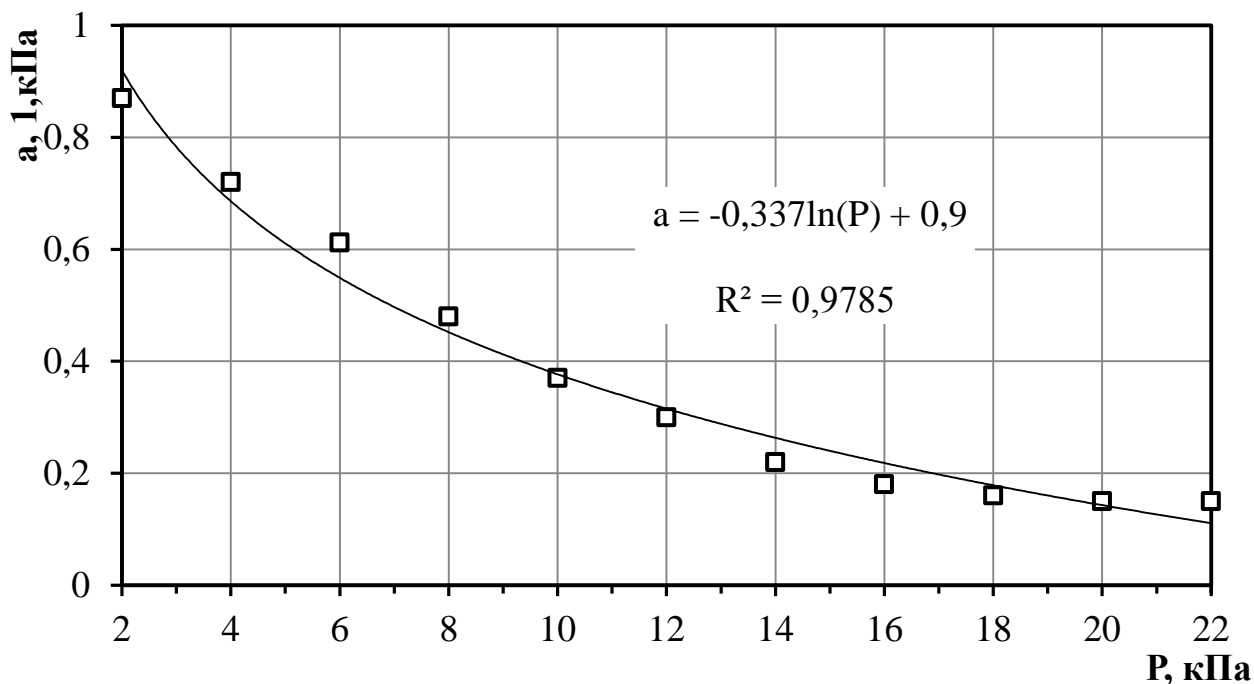


Рисунок 3.4. Залежність коеф. стисливості казеїну від тиску

Отже, це дає змогу зробити висновок, що можна використовувати механічний віджим для зневоднення казеїну. Однак сушіння слід застосовувати лише після попереднього механічного віджиму казеїну.

Також встановлено логарифмічне рівняння, що описує дану залежність:

$$a = -0,337 \ln(P) + 0,9.$$

Достовірність апроксимації $R^2 = 0,9785$.

Отримані значення питомого опору фільтруванню на кожному етапі навантаження були розраховані відповідно до формули (2.5). Виявлено значне збільшення питомого опору фільтруванню при тиску, що перевищує 18 кПа (рис. 3.5).

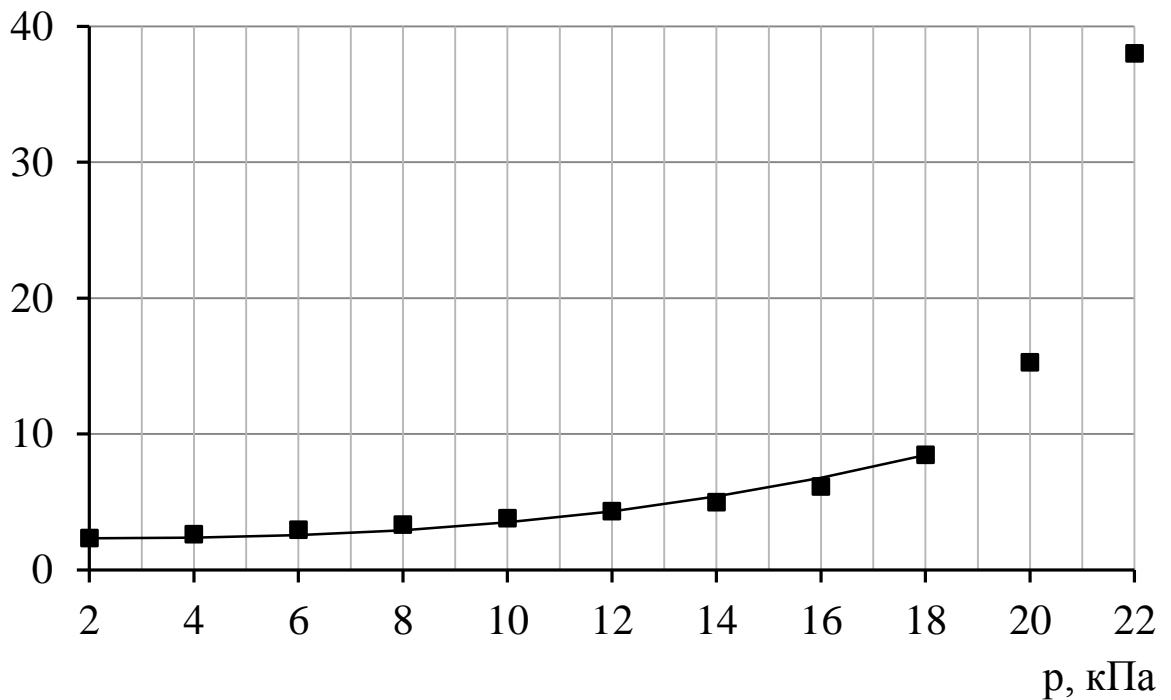


Рисунок 3.5.. Залежність питомого опору фільтрування від тиску

При декантації казеїну важливо утримувати тиск процесу на рівні до 18 кПа, оскільки при вищих значеннях тиску суспензія, яка залишається між частинками казеїну, може залишатися в шарі казеїну, що може призвести до стиснення пор у казеїні.

3.3. Дослідження гранулометричного складу казеїну

Гранулометричний склад визначає кількісний розподіл частинок за їх розмірами. Експериментально було встановлено такий розподіл частинок казеїну до процесу декантації (рис. 3.6). На основі цих досліджень загальну масу казеїну розділили на дев'ять фракцій, середні розміри яких коливаються від 2,0 до 6,0 мм.

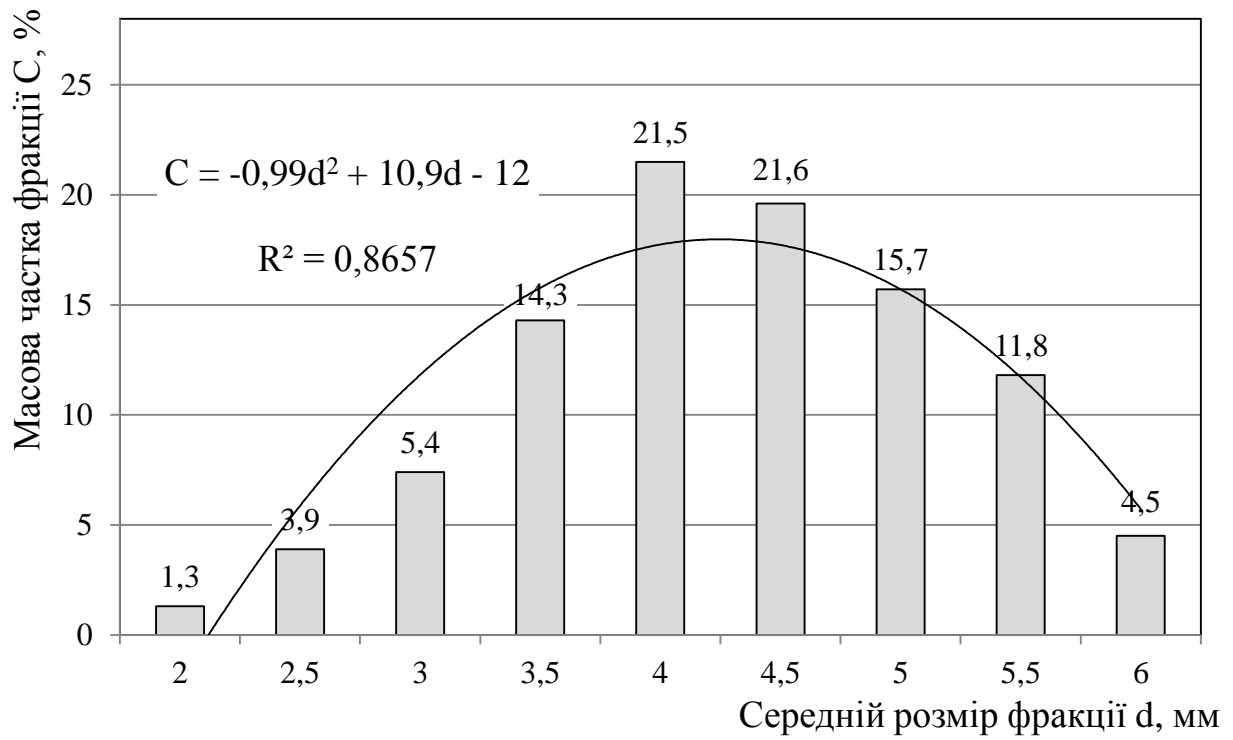


Рисунок 3.6. Відносна масова частка фракцій до центрифугування

Ця залежність описується наступною поліноміальною функцією:

$$C = -0,99d^2 + 10,9d - 12,$$

де d – середній розмір фракції, м.

Також досліджено гранулометричний склад казеїну після центрифугування (рис. 3.7).

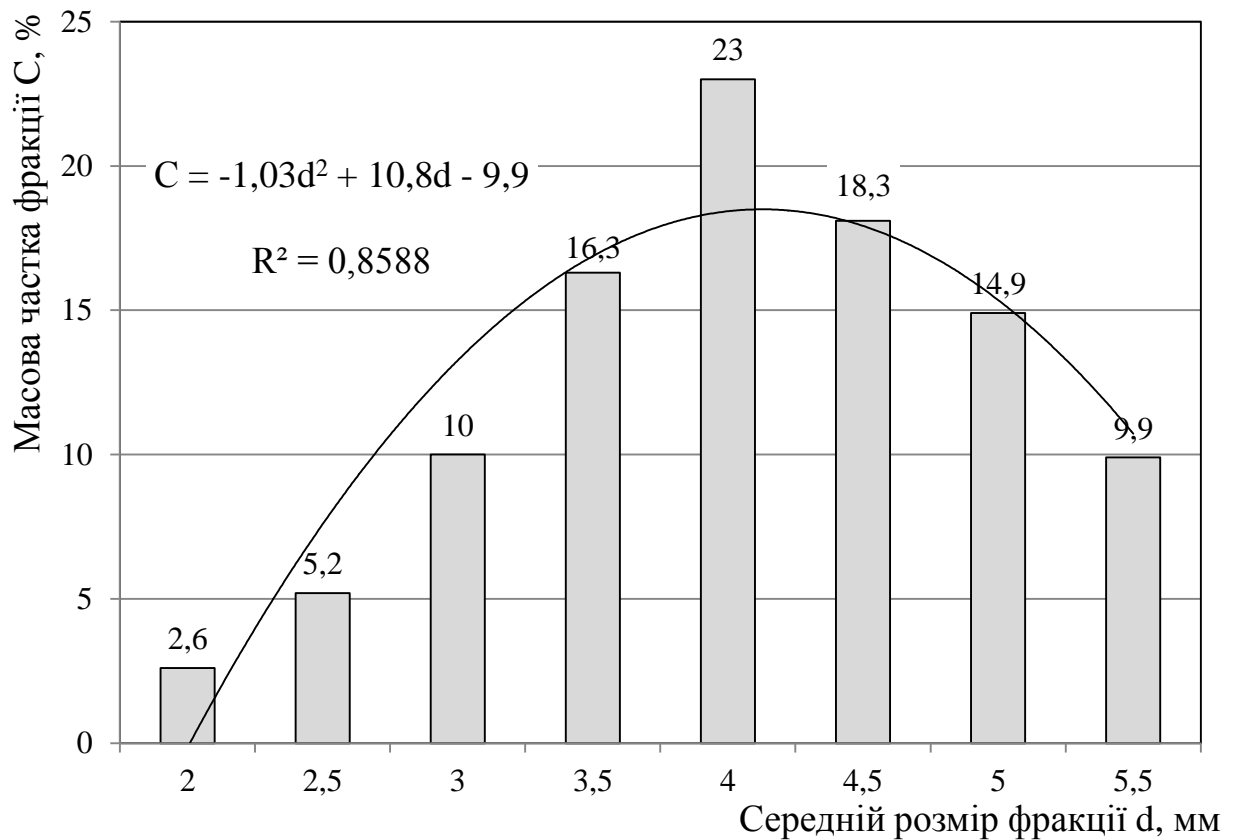


Рисунок. 3.7. Відносна масова частка фракцій після центрифугування

Описується виразом:

$$C = -1,03d^2 + 10,8d - 9,9.$$

3.4. Вплив режимів зневоднення на енергоємність процесу сушіння казеїну

Вологість казеїну перед центрифугуванням становить 42%.

Залежність вологості казеїну від частоти обертів барабана центрифуги подано у вигляді (рис. 3.8.)

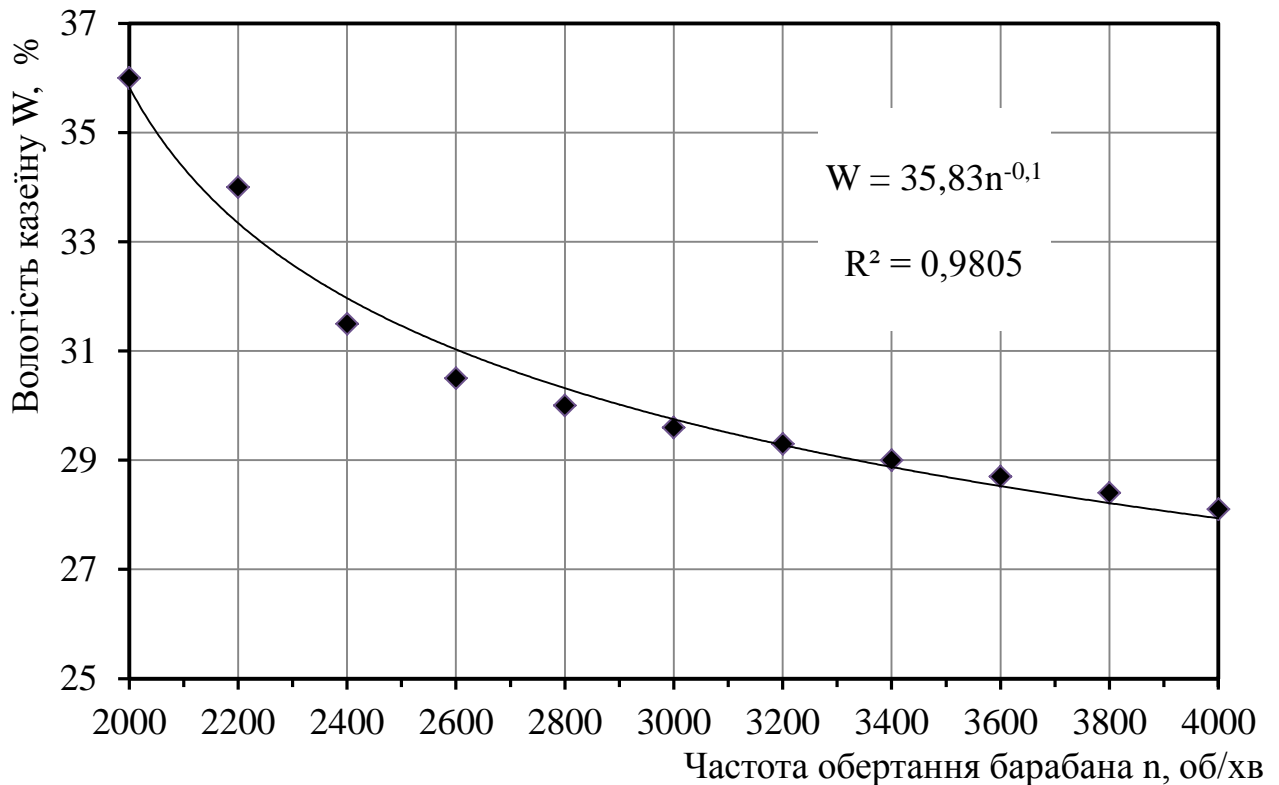


Рисунок. 3.8. Залежність вологості казеїну від кількості обертів

Результати експерименту показали, що при 2000. обертів на хвилину вологість казеїну після проходження через центрифугу складає 36.%. При збільшенні обертів барабана до 4000. обертів на хвилину ця вологість зменшилася до 21%. Згідно з характером зміни цієї залежності, варто зазначити, що подальше збільшення швидкості обертання понад 4000 обертів на хвилину не є ефективним, оскільки кожні наступні 200 обертів лише на 0,2% знижують вологість казеїну.

Також отримали функцію що відображає залежність вологості казеїну від частоти обертання:

$$W = 35,83n^{-0,1},$$

те n – частота обертання, об/хв.

Виходячи із отриманих даних розраховували потенційні енергетичні затрати на сушіння, що відповідають кожному значенню вологості казеїну (рис. 3.9)

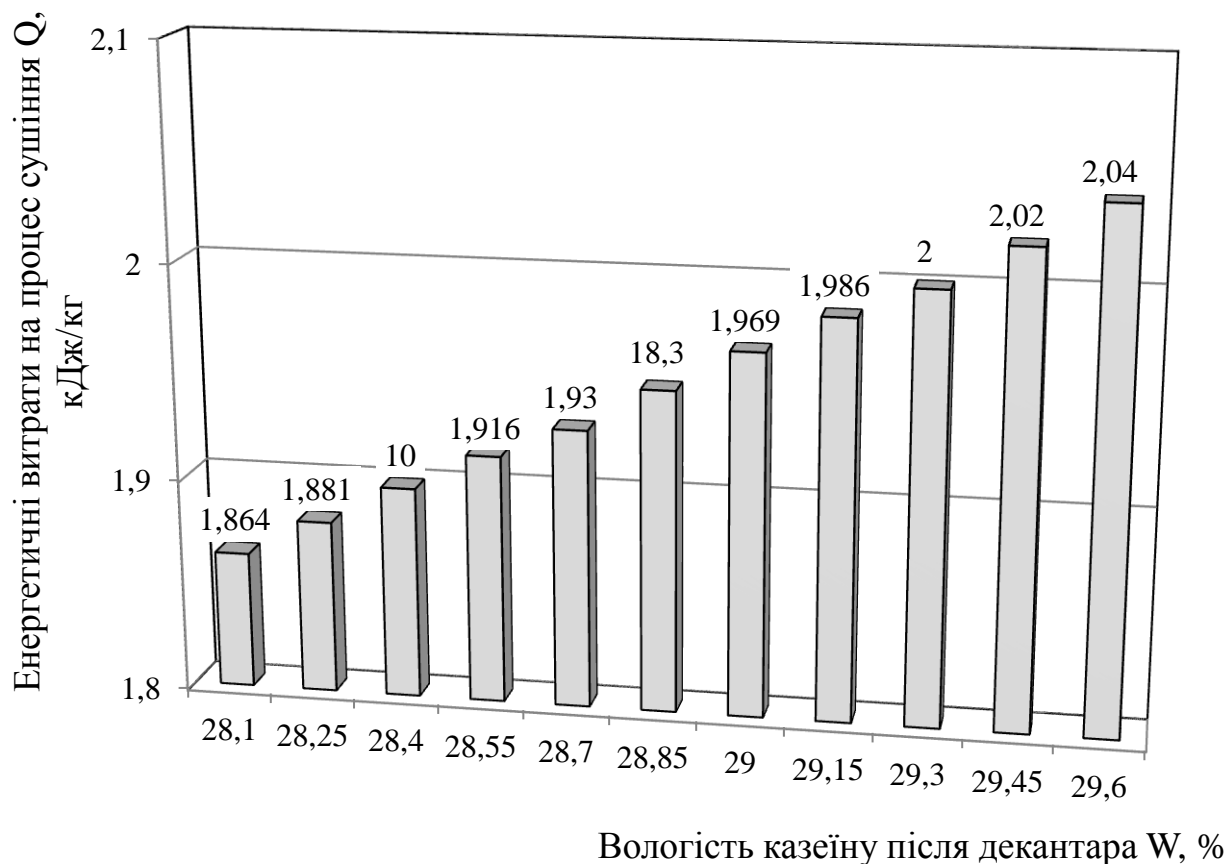


Рисунок. 3.9. Залежність енергетичних затрат на сушіння від вологості казеїну після центрифугування

3.5. Моделювання седиментації частинок казеїну у суспензії в процесі центрифугування

Під час переміщення тіла в рідині або при контакті рухомої рідини з неподвижним об'єктом, виникають опори, які потребують енергії для подолання та забезпечення стабільного руху. Розмір цих опорів залежить від типу руху та форми тіла. При ламінарному русі, що характеризується низькими швидкостями та малими розмірами тіл або в'язкістю середовища, рідина створює прикордонний шар навколо тіла, який сприймає рух потоку рідини (рис. 3.10, а). Втрата енергії в такому випадку переважно пов'язана з опором тертя.

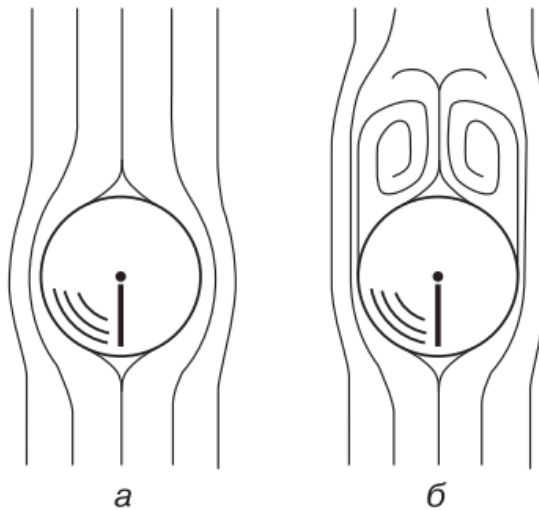


Рисунок 3.10. Модель руху частки казеїну в суспензії
а – ламінарна течія; б – турбулентна течія.

При збільшенні швидкості та розвитку турбулентності руху (наприклад, при зростанні швидкості тіла), сили інерції набувають більшої значущості. Це призводить до відокремлення прикордонного шару від тіла та утворення хаотичних вихорів навколо нього (рис. 3.10, б).

Під час руху тіла у рідині виникає значна різниця у тисках між передньою (лобовою) поверхнею, що стикається з потоком, і задньою (кормовою) поверхнею. Ця різниця тисків зростає, порівняно з тисками при ламінарному обтіканні. Значення критерію Рейнольдса, що перевищує певне значення, призводить до переважання лобового опору та практичної невагомості опору тертя. У такому випадку виникає турбулентний або автомодельний режим руху частинки. Сила опору F_c , яку надає середовище (тобто дисперсна фаза), описана рівнянням закону опору:

$$F_c = \xi S \frac{\rho_0 v^2}{2},$$

де S – площа проекції частинки на площину, m^2 ;

ρ_0 – густина рідини, kg/m^3 ;

ξ – коеф. опору рідини;

v – швидкість руху частинки, m/s .

В процесі центрифугування тверде тіло спочатку збільшує свою швидкість, а також швидкість переміщення у напрямку стінок посудини з суспензією. Проте, після того, як центрифуга досягає постійного числа обертів в одиницю часу, швидкість руху тіла відносно стінок стабілізується і стає постійною.

Незважаючи на те, що здається, що обертання відбувається через доцентрове (у напрямку осі обертання) прискорення, тіло, завдяки відцентровій (віддаленій від осі) інерційній силі, насправді рухається від центру зі зростаючою швидкістю.

При збільшенні відцентрової швидкості опір руху також зростає, і в результаті він врешті-решт врівноважує відцентрову силу. Це означає, що, не дивлячись на рух уздовж стінок центрифуги, сума всіх сил, що діють на частку, згідно з законами Ньютона, дорівнює нулю.

В результаті певних математичних дій отримали вираз:

$$\frac{2}{3} \pi^3 d^3 (\rho - \rho_0) n^2 (L \cos \alpha + r) (\cos \alpha - \mu_t \sin \alpha) = \frac{\pi \xi \rho_0 d^2 \varphi^2 L^2}{8 \tau^2}$$

$$\tau = \frac{\varphi L}{4 \pi n} \sqrt{\frac{3 \rho_0 \xi}{d (\rho - \rho_0) (L \cos \alpha + r) (\cos \alpha - \mu_t \sin \alpha)}}$$

де n – кількість обертів, об / с;

ρ – густина дисперсної фази, кг / м³;

d – розмір частинки, м;

L – пройдений шлях вздовж сиінки центрифуги, м;

α - кут траєкторії частки;

τ – тривалість руху вздовж шляху L , с;

r – відстань частки від осі обертання, м;

μ_t – коеф. тертя,

Даний вираз дає можливість визначити необхідний час для проходження частинкою казеїну шлях L в процесі центрифугування.

3.6. Висновки до розділу

1. Проведений аналіз компресійних властивостей казеїну вказує на можливість використання механічного відтиску для зневоднення продукту. Сушіння, як правило, ефективніше використовувати після попереднього механічного відтиску казеїну.

2. Отримано математичні моделі, які описують вплив тиску на компресійні властивості казеїну, такі як коефіцієнт пористості та коефіцієнт стисливості.

$$e = 3,1 - 0,876P^{0,448};$$

$$a = -0,337\ln(P)+0,9.$$

3. Встановлена залежність питомого фільтруванню досліджуваного осаду від тиску свідчить про те, що під час зневоднення казеїну важливо контролювати тиск процесу, щоб уникнути перевищення значення в 18 кПа. При більших значеннях тиску відбувається стискання поршневого шару казеїну, що перешкоджає повному виділенню сироватки із казеїну.

4. Підвищення кількості обертів є доцільним лише до 4000 об/хв. Розробили формулу, що відображає, як вологість казеїну змінюється залежно від обертів барабану:

$$W = 35,83n^{0,1}.$$

6. Встановлено вплив вологості казеїну після центрифуги на енергетичні витрати на процес сушіння.

7. Отримали рівняння, яка дає можливість визначити необхідний час для проходження частинкою казеїну шлях L в процесі центрифугування.

4. Модернізація деканторної центрифуги. Розрахунок модернізованої машини.

4.1. Модернізація

В попередньому розділі приведені результати досліджень процесу зневоднення та встановлена залежність питомого фільтруванню досліджуваного осаду від тиску. Ці дані свідчать про те, що під час зневоднення казеїну важливо контролювати тиск процесу, щоб уникнути перевищення значення в 18 кПа. При більших значеннях тиску відбувається стискання поршневого шару казеїну, що перешкоджає повному виділенню сироватки із казеїну. Підвищення кількості обертів в свою чергу є доцільним лише до 4000 об/хв.

Пропонується підібрати елементи пасової передачі барабана та відповідно шнека таким чином, щоб забезпечити щоб забезпечити кількість обертів барабана не більше ніж 4000 об/хв

4.2. Визначення розміру мінімальної частки казеїну, яку можна відділити на модернізованій центрифугі

Густина суспензії:

$$\frac{1}{\rho_c} = \frac{\bar{x}}{\rho_k} + \frac{1-\bar{x}}{\rho_p};$$
$$\rho_c = \frac{\rho_k \times \rho_p}{x\rho_p + (1-x) \times \rho_k}$$

підставимо:

$$\rho_c = \frac{1100 \times 1022}{0.2 \times 1022 + (1-0.2) \times 1100} = 1037 \text{ кг/м}^3.$$

Динамічний коефіцієнт:

$$M_e = M_b \frac{0.59}{(0.77x)^2}$$

де x – об'ємна доля казеїну,

M_b – динамічний коеф. в'язкості сироватки, Па·с.

Об'ємна частка казеїну:

$$x = \frac{\bar{x} + \rho_b}{(1-x) + \rho_k + x\rho_b}$$

буде:

$$x = \frac{0.2 \times 1022}{(1-0.2) \times 1100 + 0.2 \times 1022} = 0.19$$

Динамічний коеф. в'язкості сироватки:

$$M_b = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

За таких умов динамічний коефіц. суспензії буде:

$$M_c = 10^{-3} \frac{0.59}{(0.77 - 0.19)^2} = 1.75 \cdot 10^{-3} \quad \text{Па} \cdot \text{с}$$

Найменший розмір часток казеїну, що можна відділити:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{36 \times M^2}{g \cdot \rho_b (\rho_k - \rho_b)}}$$

Підставимо:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{36 \cdot (1.75 \cdot 10^{-3})^2}{9.81 \cdot 1022 \cdot (1100 - 1022)}} = 0,0005 \text{ м} = 0,5 \text{ мм.}$$

4.3. Визначення теоретичної продуктивності центрифуги

Теоретична продуктивність:

$$\Pi = G(100 - W_T) / (100 - W_B)$$

де:

W_{Π} – вологість дисперсної фази, %;

G – продуктивність машини по суспензії, кг/год;

W_K – вологість зневодненого казеїну, %

З наступної формули визначимо продуктивність центрифуги по суспензії:

$$G = 60V \rho k / \tau$$

де V – об'єм барабана центрифуги, м³;

k – коефіцієнт, $k = 0,5$ м ;

ρ – густина суспензії, кг/м³, $\rho = 980_{\text{к}} \text{г/м}^3$.

τ – час перебування суспензії в барабані центрифуги, хв , $\tau = 20$ хв.;

Об'єм барабану центрифуги визначимо наступним чином:

$$V = \frac{\Pi_{\text{III}} \cdot \tau}{\rho k}$$

де Π_{III} – продуктивність по залишку, кг/год.

Буде:

$$V = \frac{1500 \cdot 0.3}{890 \cdot 0.5} = 0.0199 \text{ , м}^3$$

Тоді продуктивність:

$$G = \frac{60 \cdot 1.0112 \cdot 890 \cdot 0.5}{0.3} = 1773.26 \text{ кг/год.}$$

Теоретична продуктивність центрифуги:

$$P = 1779.26 \cdot \frac{100 - 30}{100 - 13} = 1500 \text{ кг/год.}$$

4.4. Розрахунок потужності нагнітального шнека центрифуги для казеїну

Під час функціонування шнека тиск у камерах центрифуги змінюється відповідно до коливної форми залежності, що схожа на синусоїду. Тиск, який впливає на кожну обертову секцію шнека, виявляється меншим перед нею, а після неї - більшим, ніж середнє значення тиску.

При розрахунку припускаємо, що віддавальний шнек має гвинтову поверхню з пласким профілем. Кут нахилу гвинта навивки в середньому дорівнює $\alpha_{\text{сер}}$.

До ключових параметрів шнека належать крок t , діаметри шнека D та вала d , а також товщина гвинтової навивки δ .

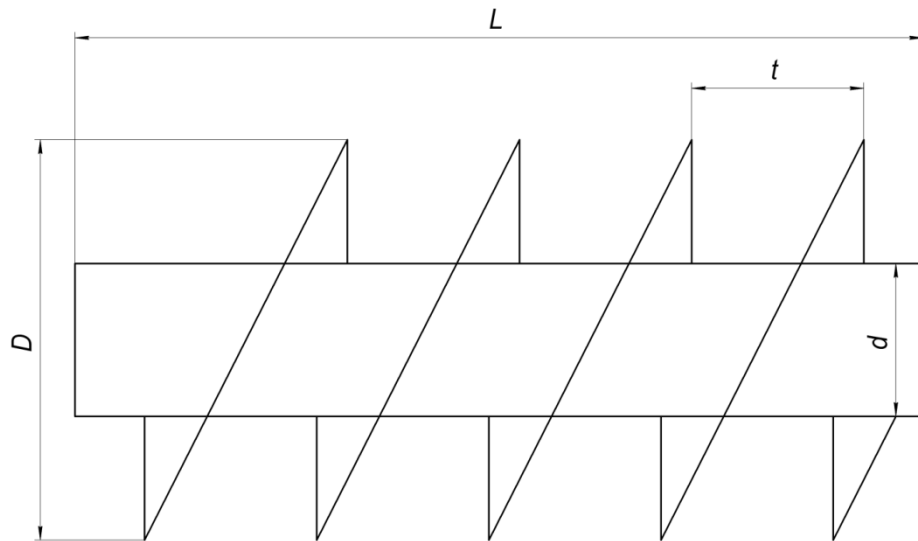


Рисунок 4.1. Схема шнека

Продуктивність шнека:

$$P = 0,127(D^2 - d^2)(t - \delta)(1 - K_0) \cdot \rho \cdot \Psi \cdot \omega,$$

де t – крок шнека, м;

d – діаметр валу, м;

ρ - густина суспензії, кг/м³

D – діаметр навивки, м;

b - товщина навивки, м;

Ψ - коефіцієнт подачі, $\Psi=0,2-0,3$.

Густина суспензії:

$$\rho = (\rho_{max} + \rho_0)/2.$$

Потужність приведення в шнека в рух:

$$N = M_{кр} \cdot \omega$$

де $M_{кр}$ – крутний момент, Н · м.

$$M_{кр} = 0,131m (1 - K_0) \cdot P_{max} (D^3 - d^3) \operatorname{tg} \alpha_{сер},$$

де m – число кроків шнека.

4.5. Визначення продуктивності центрифуги для казеїну

Продуктивність можна визначити наступним чином:

$$G = \frac{27.02k^2 \cdot r_{cp} \cdot \omega_p \times l_0 (\rho_k - \rho_b)}{M_c},$$

де r_{cp} – середнє значення радіусу каналу для суспензії в барабані, м;

l_0 – довжина ділянки осадження, м;

ω_p – кутова швидкість барабану.

Кутова швидкість:

$$\omega_p = 2\pi \cdot n = 2 \cdot 3.14 \cdot 30 = 188,4 \quad \text{рад/с}$$

середній радіус каналу:

$$r_{\text{cp}} = r_p - 0,5h,$$

де h – висота потоку рідини в барабані, м;

r_p – найбільший радіус барабану, $r_p = 1,1$ м

буде:

$$r_{\text{cp}} = 1,1 - 0,5 \cdot 0,4 = 0,9 \text{ м}$$

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1. Охорона праці

5.1.1. Основні причини травматизму в харчовій галузі та його динаміка

Харчова промисловість України характеризується широкою різноманітністю умов виробництва і праці у зв'язку з чим характер травм і професійних захворювань на різних підприємствах неоднаковий. За період з 2005 по 2015 травми отримали понад 10 тис. працівників галузі, з яких близько 600 – із летальними наслідками.

До найбільш травмонебезпечних виробництв харчової галузі відносяться хлібопекарські та цукрові заводи, на яких стається більше 50% травм із смертельними наслідками. За даними Державного комітету статистики на підприємствах харчової промисловості біля 14% нещасних випадків обумовлено технічними причинами, до 35% організаційно-технічними і більше 50% – організаційними.

В свою чергу до основних організаційних причин нещасних випадків відносяться: незадовільна організація, відсутність нагляду за проведенням робіт, незадовільне утримання і недоліки в організації робочих місць, допуск до роботи ненавчених або не проінструктованих працівників, невикористання засобів індивідуального захисту у зв'язку з їх відсутності або невідповідності умов праці, порушення трудової та виробничої дисципліни, експлуатація несправного технологічного обладнання, порушення правил руху внутрішньо цехового або внутрішньо заводського транспорту, недостатня оперативність надходження даних, відсутність комплексної системи обліку, аналізу та прогнозування випадків травматизму.

Наведені дані свідчать, що значна частина нещасних випадків є наслідком недбалого ставлення до вимог охорони праці як самих працівників, так і керівників різних рівнів.

В цьому контексті представляють інтерес дані українських дослідників, відповідно до яких, серед осіб які допустили порушення законодавства про охорону праці на підприємствах харчової галузі, що привело до нещасного випадку, 52% складають керівники.

За таких обставин досягти належного рівня безпеки праці можливо лише при умові, що кожен учасник трудового процесу усвідомить важливість виконання вимог охорони праці.

В продовж останніх десятиліть спостерігається поступове зниження кількості нещасних випадків як в промисловості України загалом так і в харчовій галузі зокрема (рис. 5.1).

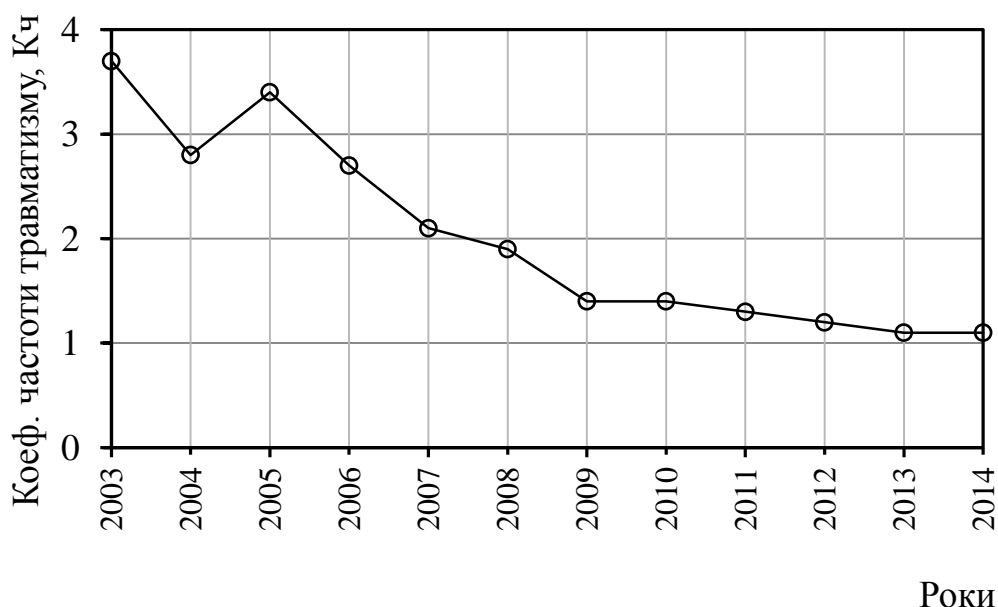


Рис. 5.1. Динаміка коефіцієнта частоти травматизму в харчовій галузі

Проте одночасно із даним зниженням кількості нещасних випадків спостерігається поступове зростання тяжкості травматизму (рис. 5.2) – збільшується кількість людино-днів непрацездатності з розрахунку на 1000 працівників.

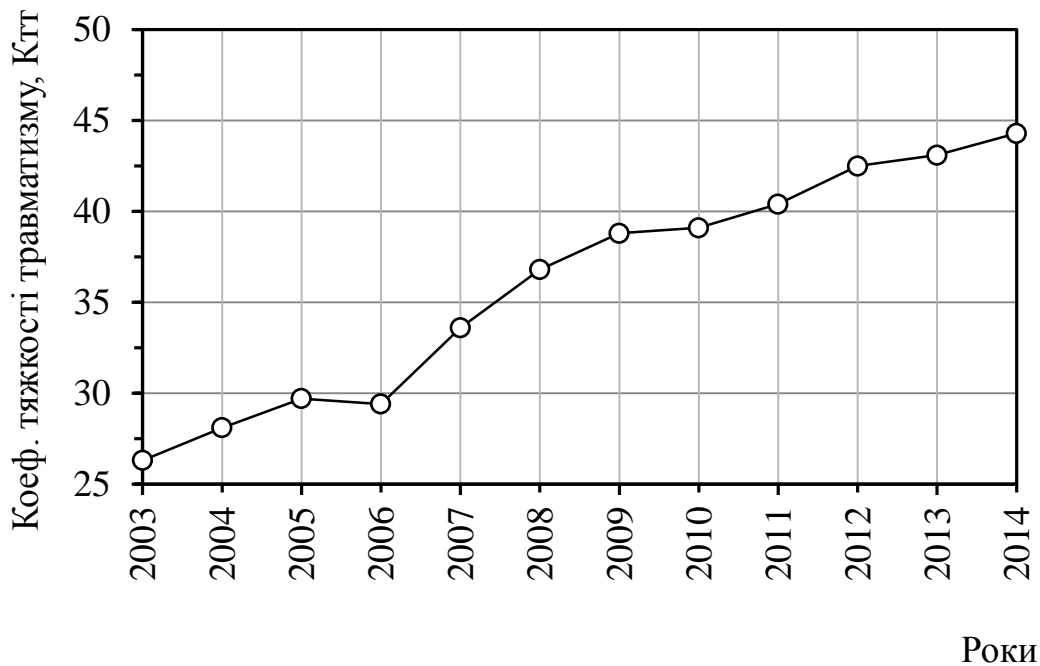


Рис. 5.2. Динаміка коефіцієнту тяжкості травматизму в харчовій галузі

Одним із основних напрямків покращення стану охорони праці є заміна застарілого обладнання, застосування сучасних та безпечних для працівників технологічних процесів.

5.1.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів підприємств харчової промисловості

Вплив шкідливих факторів на працюючих в певних умовах приводить до травми або іншого різкого погіршення здоров'я, а небезпечних до захворювання або зниження працездатності.

Фактори відрізняються не тільки кінцевими, несприятливими для людини результатами, що залежать від рівня виробничого фактора, але і тривалістю дії. Для небезпечного фактора характерна миттєва, а для шкідливого – довготривала дія, але в ряді випадків шкідливі наслідки, викликані короткотривалою дією шкідливого фактора розглядаються на рівні з травмами, розслідуються і обліковуються як небезпечні випадки на виробництві. До них відносяться: гострі отруєння, теплові удари, обмороження а також ураження блискавкою на виробництві.

Вплив на людину шкідливого фактора може привести до травми, наприклад: одноманітна праця, через одноманітні операції настає втома, що приводить до зниження працездатності і уваги. Останнє в травмонебезпечних ситуаціях може привести до невчасно прийнятого правильного або прийняття неправильного рішення і закінчитись травмою.

За природою дії шкідливі і небезпечні фактори поділяють на фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

Фізичні фактори:

1) рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи обладнання, рухомі вироби, заготовки і матеріали;

2) підвищена або знижена температура поверхні обладнання, матеріалів повітря робочої зони;

3) вологість і рухомість повітря;

4) небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі;

5) підвищений рівень шуму, вібрації, інфрачервоного і ультразвуку;

6) підвищення або нестача природного освітлення, відсутність світла, недостатнє освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла, блиск, підвищена пульсація світлового потоку;

7) гострі краї, шорсткості на поверхні обладнання, інструмента заготовок;

8) розміщення робочих місць на значній висоті від підлоги;

9) підвищений рівень УФ і ІЧ радіації;

10) електромагнітні випромінювання, статична електрика;

11) підвищена напруга електромагнітних полів;

12) підвищена або знижена іонізація повітря;

13) підвищений рівень іонізуючого випромінювання в робочій зоні;

14) підвищений або знижений барометричний тиску в робочій зоні і його різка зміна.

Для хлібопекарних, макаронних, кондитерських, цукрових, бродильних виробництв найбільш характерні шкідливі і небезпечні фактори 1-12. Наприклад: на хлібозаводах в багатьох випадках зовнішня поверхня печей

перевищує температуру допустиму за санітарну норму 45°C, а температура газовідвідних каналів і труб через відсутність ізоляції становить 55-245 °. В приміщеннях багатьох підприємств виділяється пара. Температура повітря в літній час в ряді випадків на робочому місці складає 30 - 38°. Печі є джерелом ІЧ радіації.

Хімічні фактори. Речовини, які проникають в організм людини через дихальні шляхи, шкіру чи травну систему можуть виявляти: загально токсичну; подразнюючу слизові носа, рота, очей; алергічну; мутагенну дію; впливати на репродуктивну функцію людини.

На виробництвах харчової промисловості фактори цієї групи мають достатньо широке розповсюдження при технічних процесах: видалення сірчаного газу, оксидів азоту з печей, диму і шкідливих речовин при підгорянні масла або продукції, CO₂ при обмороженні та інші.

Біологічні фактори. Поділяються на хвороботворні мікроорганізми і макроорганізми перші проникають в вигляді бактерій, вірусів, риккетсій, бактеріоподібні нерухомі організми що викликають інфекційні захворювання, спірохет, грибів і найпростіших.

Мікроорганізми поділяють на організми рослинного, і тваринного походження. Ці фактори зустрічаються в цукрових, хлібопекарських і бродильних виробництвах.

Психофізіологічні фактори. Поділяють на фізичні і нервово-психологічні перевантаження; перші включають статичні, динамічні, навантаження гіподинамію. М'язові статичні навантаження особливо погано впливають на працездатність. Вони поділяються на легкі (людина у вільній позі), середні (якщо вимушена поза складає 10-25% часу зміни), тяжкі (вимушена поза 50%) і дуже тяжкі > 50%. Психоневрологічні перевантаження поділяють на розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1. Організація та проведення дослідження стійкості роботи підприємств харчової та переробної промисловості в умовах надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи промислового підприємства розуміють здатність його у надзвичайних ситуаціях випускати продукцію в запланованому об'ємі та номенклатурі, а при отриманні пошкоджень, руйнувань або порушенні зв'язків по кооперації, відновлювати виробництво в мінімальні терміни. Це розуміння стійкості поширюється у тому числі на підприємства харчової та переробної промисловості.

Стійкість підприємств харчової промисловості в умовах НС є особливо важливою, оскільки забезпечення населення продуктами харчування має здійснюватися навіть після виникнення масштабних надзвичайних ситуацій. У той же час як сировина так і готова продукція харчових підприємств має властивість швидко псуватися, що значно ускладнює забезпечення стійкості, зокрема технологічної.

Дослідження стійкості роботи підприємства – це всебічне вивчення обстановки, яка може скластися під час надзвичайної ситуації та визначення її впливу на виробничу діяльність підприємства. Мета дослідження полягає в тому, щоб виявити слабкі місця в роботі об'єкта та виробити найбільш ефективні пропозиції, спрямовані на підвищення його стійкості.

Дослідження стійкості роботи підприємства проводиться силами інженерно-технічного персоналу із залученням спеціалістів науково-дослідних та проектних організацій. Організатором та керівником досліджень є керівник підприємства.

Увесь процес планування і проведення досліджень поділяється на три етапи:

I етап — підготовчий;

II етап — оцінка стійкості роботи об'єкта;

III етап — розроблення заходів, які підвищують стійкість роботи підприємства в умовах надзвичайної ситуації.

На першому етапі розробляються керівні документи, які визначають склад учасників досліджень та організовується їх підготовка.

Основними документами для організації досліджень стійкості роботи об'єкта є: наказ керівника підприємства, щодо проведення дослідження; календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень; план проведення досліджень.

Наказ керівника підприємства розробляється на підставі вказівок старшого начальника з урахуванням умов пов'язаних з виробничою діяльністю об'єкта. В наказі вказується: мета і завдання дослідження; терміни проведення робіт; склад учасників досліджень; склад і завдання дослідницьких груп; строки готовності облікової документації.

Календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень визначає: основні заходи; терміни їх виконання; відповідних виконавців; сили та засоби, які залучаються для виконання завдань.

План проведення досліджень є основним документом, який визначає зміст роботи керівника дослідження і груп головних спеціалістів. В плані вказується: тема дослідження; мета дослідження; тривалість дослідження; склад дослідницьких груп та зміст їх роботи; порядок проведення дослідження. Термін дослідження встановлюється залежно від обсягу роботи та підготовки учасників і може тривати 2 – 3 місяці. Залежно від складу основних виробничо-технічних служб на об'єкті створюються дослідницькі групи. Їх кількість і чисельність залежить від обсягу вирішуваних завдань та специфіки виробництва.

На підготовчому етапі з керівниками груп проводиться спеціальне заняття, на якому керівник підприємства доводить до виконавців план роботи, завдання кожної групи та визначає терміни дослідження.

На другому етапі проводиться безпосереднє дослідження стійкості роботи об'єкта. В ході дослідження визначаються умови захисту робітників та службовців від уражаючих факторів, проводиться оцінка уразливості виробничого комплексу від різних уражаючих факторів, оцінюється характер

можливих пошкоджень від вторинних уражаючих факторів, вивчається стійкість роботи системи забезпечення та кооперативних зв'язків з іншими об'єктами, з'ясовуються вразливі місця в системі управління, виробництвом.

Кожна група оцінює стійкість відповідних елементів виробничого комплексу та робить необхідні розрахунки.

Штаб Цивільної оборони ОГД в цей період оцінює загальний стан ІДО і визначає заходи для забезпечення захисту робітників і службовців. Для цієї роботи притягається ряд начальників служб, які виконують відповідні функції. Служба оповіщення і зв'язку вивчає і оцінює стійкість зв'язку з органами ЦО, виробничими підрозділами і формуваннями ЦО. Оцінює надійність системи зв'язку і оповіщення, повноту обладнання пунктів управління. Служба сховищ і укриттів оцінює інженерний захист робітників і службовців, правильність експлуатації сховищ і укриттів, готовність їх до використання за прямим призначенням. Розраховує час на оповіщення робітників і службовців, збір і укриття їх в захисних спорудах.

Служба радіаційного та хімічного захисту оцінює можливості роботи об'єкта в умовах радіації і дає пропозиції щодо захисту робітників і службовців від радіоактивного зараження, визначає типові режими радіаційного захисту людей, розробляє графік робочих змін для проведення РіНР. Аналізує забезпеченість робітників і службовців засобами індивідуального захисту, умови зберігання і порядок їх видачі. Готує пропозиції щодо організації і ведення радіаційної і хімічної розвідки, організації санітарної обробки людей, знезараження одягу, транспорту, техніки і споруд.

Медична служба розробляє заходи щодо організації медичного обслуговування робітників та службовців на об'єкті і в заміській зоні, а також при проведенні РіНР. Визначає сили і засоби для надання першої медичної допомоги потерпілим. Виробляє рекомендації з організації дозиметричного контролю при перебуванні людей у зоні радіоактивного зараження і рекомендації з захисту продуктів харчування і джерел водопостачання.

Служба охорони громадського порядку розробляє заходи з підсилення пропускового режиму, охороні матеріальних цінностей, забезпечення громадського порядку.

На третьому етапі підводяться підсумки проведених досліджень. Групи спеціалістів за підсумками досліджень готують підсумки і пропозиції з захисту робітників та службовців і підвищенню стійкості елементів виробництва, які досліджуються.

Група комплексних досліджень на основі доповідей інших груп складає загальний план, в якому визначаються: можливості щодо захисту робітників і службовців в ЗС; загальна оцінка стійкості об'єкта, найбільш слабкі (вразливі) ділянки виробництва; практичні заходи, терміни та обсяги робіт, які виконуються при повсякденній діяльності та при загрозі АС; порядок та приблизні строки відновлюваних робіт при різних ступенях руйнування. За результатами досліджень розробляються плани, в яких визначаються відповідні заходи, необхідні кошти на їх проведення, терміни і відповідальні особи за їх виконання.

Правильність проведених розрахунків та реальність пропозицій і рекомендацій перевіряються на спеціальних навчаннях під керівництвом начальника ЦО об'єкта. Завчасно плануються і проводяться, в основному, заходи які потребують значних матеріальних витрат та часу на їх виконання. Економічна ефективність цих заходів може бути досягнута при їх коригуванні з завданнями щодо безаварійної-роботи об'єкта, поліпшення умов праці, удосконаленню виробничого процесу, реконструкції виробництва і таке інше.

5.2.2. Радіоактивне забруднення місцевості та його вплив на виробничу діяльність підприємств харчової та переробної промисловості

Серед уражаючих факторів ядерної аварії і ядерного вибуху особливе місце займає радіоактивне забруднення. Воно поширюється на сотні кілометрів.

При цьому на великих площах може створюватися забруднення, яке буде небезпечним протягом тривалого часу.

В умовах радіоактивного забруднення місцевості виробнича діяльність харчових та переробних підприємств значно ускладнюється.

Для визначення конкретних параметрів впливу радіоактивного забруднення місцевості на виробничу діяльність підприємств харчової та переробної промисловості виявляють і оцінюють радіаційну обстановку.

Радіаційна обстановка — це масштаб і ступінь радіоактивного забруднення місцевості, які впливають на дії формувань рятувальних служб, населення і роботу об'єктів народного господарства.

Радіаційна обстановка може бути виявлена й оцінена за даними прогнозу і розвідки.

Прогнозування радіоактивного забруднення проводиться на основі гіпотетичних розрахунків можливих аварій на атомних електростанціях, на основі встановлених закономірностей залежно від масштабів і характеру радіоактивного забруднення місцевості від потужності й виду ядерного вибуху та метеорологічних умов.

Для прогнозування радіоактивного забруднення місцевості необхідні такі вихідні дані: розміщення атомної станції, вид і потужність реактора, координати, потужність і вид ядерного вибуху, час аварії чи вибуху, напрямок і швидкість середнього вітру.

Середнім вітром називається вітер, який є середнім за швидкістю і напрямком для всіх шарів атмосфери від поверхні землі до висоти піднімання верхньої кромки хмари вибуху. Напрямок середнього вітру вказується азимутом у градусах.

Азимут середнього вітру — це кут у горизонтальній площині між напрямком, звідки дме вітер, і відрхованим за ходом годинникової стрілки.

Методом прогнозу можна встановити напрямок і швидкість руху радіоактивної хмари, час її підходу до населеного пункту, час випадання

радіоактивних речовин, визначити розміри зон радіоактивного забруднення і найбільш імовірне їх розміщення на місцевості.

У зв'язку з тим, що процес випадання радіоактивних речовин може тривати кілька годин або днів, ця обставина дає можливість використати дані прогнозування завчасно, тобто до надходження радіоактивних речовин до населеного пункту і проведення низки особливо важливих заходів для захисту населення й особового складу рятувальних служб. До таких заходів належать: оповіщення про загрозу радіоактивного забруднення, підготовка об'єктів до переходу на режим роботи в умовах радіоактивного забруднення, завершення робіт підготовки протирадіаційних укриттів для розміщення в них людей, підготовка індивідуальних засобів захисту органів дихання, підготовка тваринницьких приміщень для укриття сільськогосподарських тварин, заготівля кормів, укриття урожаю, захист джерел питної води, продуктів харчування, сировини та ін.

За результатами прогнозування проводиться оцінка можливих наслідків впливу радіоактивного забруднення на населення, на ведення рослинництва, тваринництва, лісового господарства та промислової діяльності.

Проте прогноз радіоактивного забруднення має відносний характер, тому його обов'язково уточнюють радіаційною розвідкою з метою своєчасного забезпечення штабів, командирів рятувальних формувань, керівників, власників і спеціалістів даними про фактичну радіаційну обстановку.

Конкретні дії особового складу рятувальних формувань, керівників, власників, спеціалістів і населення, встановлення режиму роботи об'єктів в умовах радіоактивного забруднення проводиться тільки на основі оцінки радіаційної обстановки за даними радіаційної розвідки. Тому збір і обробка необхідних даних, виявлення й оцінка радіаційної обстановки є одним із важливих завдань штабів, командирів формувань, органів управління цивільного захисту.

Висновки

1. Проведений аналіз компресійних властивостей казеїну вказує на можливість використання механічного відтиску для зневоднення продукту. Сушіння, як правило, ефективніше використовувати після попереднього механічного відтиску казеїну.

2. Отримано математичні моделі, які описують вплив тиску на компресійні властивості казеїну, такі як коефіцієнт пористості та коефіцієнт стисливості.

$$e = 3,1 - 0,876P^{0,448};$$

$$a = - 0,337\text{Ln}(P)+0,9.$$

3. Встановлена залежність питомого фільтруванню досліджуваного осаду від тиску свідчить про те, що під час зневоднення казеїну важливо контролювати тиск процесу, щоб уникнути перевищення значення в 18 кПа. При більших значеннях тиску відбувається стискання поршневого шару казеїну, що перешкоджає повному виділенню сироватки із казеїну.

4. Підвищення кількості обертів є доцільним лише до 4000 об/хв. Розробили формулу, що відображає, як вологість казеїну змінюється залежно від обертів барабану:

$$W = 35,83n^{0,1}.$$

6. Встановлено вплив вологості казеїну після центрифуги на енергетичні витрати на процес сушіння.

7. Отримали рівняння, яка дає можливість визначити необхідний час для проходження частинкою казеїну шлях L в процесі центрифугування.

8. Запропоновано заходи із модернізації машини

Перелік посилань

1. Shynkaryk M. Mathematical modelling of the separation of suspension process on the filter with self-purifier filter element / M. Shynkaryk, O. Kravets / Ukrainian Food Journal. – 2016. № 1. – P. 135-143.
2. Єресько Г.О. Технологічне обладнання молочних виробництв. | Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворощук В.Я.-Ц.:ЦНЛ "Інкос", 2007. – 344с.
3. Шинкарик М.М. Аналіз гранулометричного складу білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2011. – Т. 2, № 40. – С. 266-269.
4. Шинкарик М.М. Дослідження адгезійних властивостей білкової дисперсної фази при виробництві сиру кисломолочного / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2012. – №1(53) – С.226-230.
5. Heat exchange in a chamber apparatus with a circulation circuit during cheese masses production / Mariia Shynkaryk, Viktor Voroshchuk, Oleh Kravets, Olha Krupa, Natalia Zvarych // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2022. — Vol 108. — No 4. — P. 43–53.
6. Кармельюк Г. І. Теорія ймовірностей та математична статистика: посібник з розв'язування задач. / Г. І. Кармельюк – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 576с.
7. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.
8. Мостенська Т. Г. Екологічні загрози при виробництві харчових продуктів // Екологічні проблеми. – 2015. № 3. – С.93-99.

Специфікації

Додатки