

інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

Додаток 6

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модернізація барабана сепаратора з дослідженням впливу
конструктивних параметрів на режим роботи

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МОМ-61
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Гнатюк В. М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Стадник І.Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ворощук В.Я.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Вітенько Т.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Марущак П.О.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль

2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Гнатюка Василя Миколайовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація барабана сепаратора з дослідженням впливу конструктивних параметрів на режим роботи

Керівник роботи Стадник Ігор Ярославович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 2024__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Технічний паспорт та інструкції з експлуатації та технічного обслуговування і ремонту машини марки А9-КРМ

4. *Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)* Вступ Анотація. Розділ 1. Огляд напрямку сучасного стану сепарування та обґрунтування дослідження. Аналіз існуючих процесів сепарування та обладнання. Саморозвантажувальні сепаратори. Порівняльний аналіз конструкцій. Заходи шляхів модернізації сепаратора. Розробка технічних рішень щодо модернізації барабана сепаратора ОСЯ. Обґрунтування модернізації сепаратора. Модернізація сепаратора. Будова та принцип роботи модернізованого сепаратора. Розрахунок модернізованого барабана сепаратора ОСЯ. Технологічний розрахунок. Розрахунок загальних витрат потужності. Кінематичний розрахунок. Дослідна частина та узагальнення результатів. Дослідження конструктивних параметрів сепаратора щодо технологічної операції. Розробка розрахункової моделі впливу кута на тиск. Моделювання розподілення тиску, вологості осаду в барабані від кута нахилу та діаметру сопла. Математичне моделювання розподілення тиску, вологості осаду в барабані від кута нахилу та діаметру сопла. Узагальнення результатів сепарації. Заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях. Розроблення заходів з охорони праці і техніки безпеки у надзвичайних ситуаціях. Інженерний захист персоналу та населення при надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаної літератури. Специфікація.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Основа барабану. Загальний вигляд барабана. Загальний вигляд сепаратора. Креслення дослідної частини -6 листів А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Ворожук В.Я. – к.т.н., доцент		
Охорони праці	Кравець О.І. – к.т.н., доц.		
Цивільна безпека	Стручок В.С. –ст. викладач		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Вступ Анотація. Розділ 1. Огляд напрямку сучасного стану сепарування та обґрунтування дослідження		
	Аналіз існуючих процесів сепарування та обладнання.		
	Порівняльний аналіз конструкцій Заходи шляхів модернізації сепаратора		
	Розробка технічних рішень щодо модернізації барабана сепаратора ОСЯ Методика виконання досліджень.		
	Обґрунтування модернізації сепаратора. Модернізація сепаратора		
	Будова та принцип роботи модернізованого сепаратора		
	.Розрахунок модернізованого барабана сепаратора ОСЯ		
	Технологічний розрахунок. Розрахунок загальних витрат потужності.		
	Кінематичний розрахунок. Розрахунок потужності для різних валів.		
	Визначення напруження в матеріалі барабана.		
	Розробка комплексної математичної моделі процесу сепарації.		
	Дослідна частина та узагальнення результатів.		
	Розробка розрахункової моделі впливу кута на тиск		
	Моделювання розподілення тиску, вологості осаду в барабані від кута нахилу та діаметру сопла.		
	. Математичне моделювання розподілення тиску, вологості осаду в барабані від кута нахилу та діаметру сопла		
	Узагальнення результатів сепарації. Заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях		
	Дослідження конструктивних параметрів сепаратора щодо. технологічної операції		
	Вибір конструкційних матеріалів.		
	Розроблення заходів з охорони праці і техніки безпеки у надзвичайних ситуаціях		
	Інженерний захист персоналу та населення при надзвичайних ситуаціях.		
	Висновки.		
	... Список використаної літератури.		
	Специфікація		

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ	
1. Анотація.....	
2. Розділ 1. Огляд напрямку сучасного стану сепарування та обґрунтування дослідження.....	
1.1. Аналіз існуючих процесів сепарування та обладнання.....	
1.1.1. Саморозвантажувальні сепаратори	
1.2. Порівняльний аналіз конструкцій	
1.3. Заходи шляхів модернізації сепаратора	
Розділ 2. Розробка технічних рішень щодо модернізації барабана сепаратора ОСЯ	
2.1. Методика виконання досліджень	
2.2. Обґрунтування модернізації сепаратора.....	
2.2.1. Модернізація сепаратора	
2.3. Будова та принцип роботи модернізованого сепаратора	
Розділ 3. Розрахунок модернізованого барабана сепаратора ОСЯ	
3.1. Технологічний розрахунок	
3.2. Розрахунок загальних витрат потужності	
3.2.1. Кінематичний розрахунок	
3.2.3. Розрахунок потужності для різних валів	
3.3. Визначення напруження в матеріалі барабана	
3.4. Вибір конструкційних матеріалів	
3.5. Розробка комплексної математичної моделі процесу сепарації	
Розділ 4. Дослідна частина та узагальнення результатів	
4.1. Дослідження конструктивних параметрів сепаратора щодо технологічної операції	
4.2. Розробка розрахункової моделі впливу кута на тиск	
4.3. Моделювання розподілення тиску, вологості осаду в барабані від кута нахилу та діаметру сопла	
4.4. Математичне моделювання розподілення тиску, вологості осаду в барабані від кута нахилу та діаметру сопла	
4.5. Узагальнення результатів сепарації	
5. Заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях. 5.1 Розроблення заходів з охорони праці і техніки безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	
5.2. Інженерний захист персоналу та населення при надзвичайних ситуаціях.....	
5.3. Організація рятувальних робіт на території забрудненої СДОР	
Висновки.....	
Список використаної літератури.....	
Специфікація.....	

Вступ

Молочна галузь займає одне з провідних місць у структурі народного господарства України, забезпечуючи населення необхідними продуктами харчування. Її розвиток і стабільне функціонування є актуальними питаннями, оскільки молочна продукція має важливе значення для здорового харчування, надаючи унікальні поживні властивості. Однак, попри значний потенціал, обсяги виробництва молока в Україні не досягають рівня, необхідного для повного задоволення потреб населення. Це створює ризики для забезпечення якісного харчування.

Дві основні причини, що стримують зростання виробництва молока, — це низька рентабельність тваринницької галузі, яка знижує її привабливість для інвесторів, та обмежена купівельна спроможність населення, через яку багато споживачів не можуть придбати потрібну кількість молочних продуктів. Для подолання цих викликів необхідний комплексний підхід, який включатиме підтримку сільськогосподарських підприємств, що спеціалізуються на виробництві молока; підвищення добробуту населення та заохочення до споживання молочної продукції; а також впровадження сучасних технологій для підвищення продуктивності та ефективності виробництва.

Лише завдяки спільним зусиллям держави, бізнесу та громадськості можна забезпечити сталий розвиток молочної промисловості в Україні та доступність якісного харчування для населення. За умов високої конкуренції на ринку сировини молочна галузь демонструє тенденцію до концентрації виробництва на великих підприємствах, що пояснюється значними інвестиціями в модернізацію. Завдяки цьому великі виробники швидко реагують на ринкові зміни, розширюють асортимент продукції та виходять на нові експортні ринки. Серед ключових завдань галузі — поєднання традиційних методів виробництва з сучасним обладнанням і новітніми технологіями для створення багатокомпонентної продукції.

Анотація

Кваліфікаційна робота Гнатюка Василя Миколайовича на тему: «Модернізація барабана сепаратора з дослідженням впливу конструктивних параметрів на режим роботи». Для виконання поставлених завдань дослідження запропоновано модернізацію сепаратора типу ОСЯ шляхом вдосконалення конструкції механізму для вивантаження осаду. Такий підхід дозволяє отримувати продукт із заданими показниками якості, відповідаючи вимогам споживачів. Основна увага в дослідженні приділена встановленню оптимального режиму роботи сепаратора для забезпечення максимальної ефективності процесу.

Метою дослідження є визначення раціональних параметрів роботи сепаратора, зокрема регулювання швидкості та напрямку потоку, кута нахилу сопел, розмірів осадових отворів, а також способів управління вологістю осаду для отримання стабільних та високоякісних характеристик кінцевого продукту. Об'єктом дослідження є процес відокремлення сирного згустку та ущільнення зневодненого білкового осаду в барабані сепаратора, що забезпечує розділення сировини на фракції з різним вмістом вологи. Дослідження спрямоване на вдосконалення умов та ефективності цього процесу. Предметом дослідження виступає гідродинамічна поведінка сирного згустку в міжтарілковому просторі сепаратора та особливості процесу ущільнення білкового осаду у зоні ущільнення барабана. Вивчення цих аспектів дозволяє оптимізувати гідродинамічні параметри та забезпечити стабільність розподілу потоків, що сприяє підвищенню загальної продуктивності обладнання.

Аналіз існуючих процесів сепарування та обладнання

Процес сепарування має важливу задачу в технологіях розділення речовин, які застосовуються в харчовій та молочній промисловості. Останнім часом виникла потреба у розробці нових типів сепараторів із підвищеними показниками роздільної здатності, що перевищують характеристики раніше створених моделей. Оновлені стандарти в промисловості якості вимагають високої ефективності розділення (очищення) суспензій, що обумовило потребу в розробці нових або вдосконаленні існуючих механізмів. Зростаючий попит на

покращення сепараторів створив необхідність більш детального дослідження процесів, що відбуваються в них.

Сепаратори відіграють ключову роль у переробці молока, адже вони використовуються для очищення молока від механічних домішок, бактерій та інших небажаних частинок, що забезпечує високу якість та безпеку кінцевої продукції. Вони дозволяють отримувати вершки з різним вмістом жиру, що розширює асортимент молочних продуктів, а також сприяють відокремленню білка і жиру від сироватки під час виробництва молочного цукру, що забезпечує чистий продукт для харчової промисловості. Крім того, сепаратори використовуються для відокремлення білка під час виробництва кисломолочного сиру, що покращує його текстуру та смакові властивості.

Класифікація сепараторів відбувається за виробничим призначенням, конструктивними особливостями приймально-відвідного пристрою та способу видалення осаду з барабана. Залежно від призначення, виділяють такі типи сепараторів: вершковіддільники (концентратори), очисники (кларифікатори), нормалізатори (стандартизатори), бактофуги для видалення бактерій з молока, а також сепаратори для отримання згустку білка.

Залежно від конструктивних особливостей приймально-відвідних пристроїв, сепаратори поділяються на відкриті, напівзакриті (напівгерметичні) та закриті (герметичні).

Залежно від способу видалення осаду з барабана, сепаратори поділяються на пристрої з ручним та автоматизованим вивантаженням осаду. Сепаратори називають саморозвантажувальними з автоматизованим вивантаженням осаду.

1.1.1. Саморозвантажувальні сепаратори

Саморозвантажувальні сепаратори, у свою чергу, поділяються на пристрої з безперервним та пульсуючим (періодичним) вивантаженням осаду.

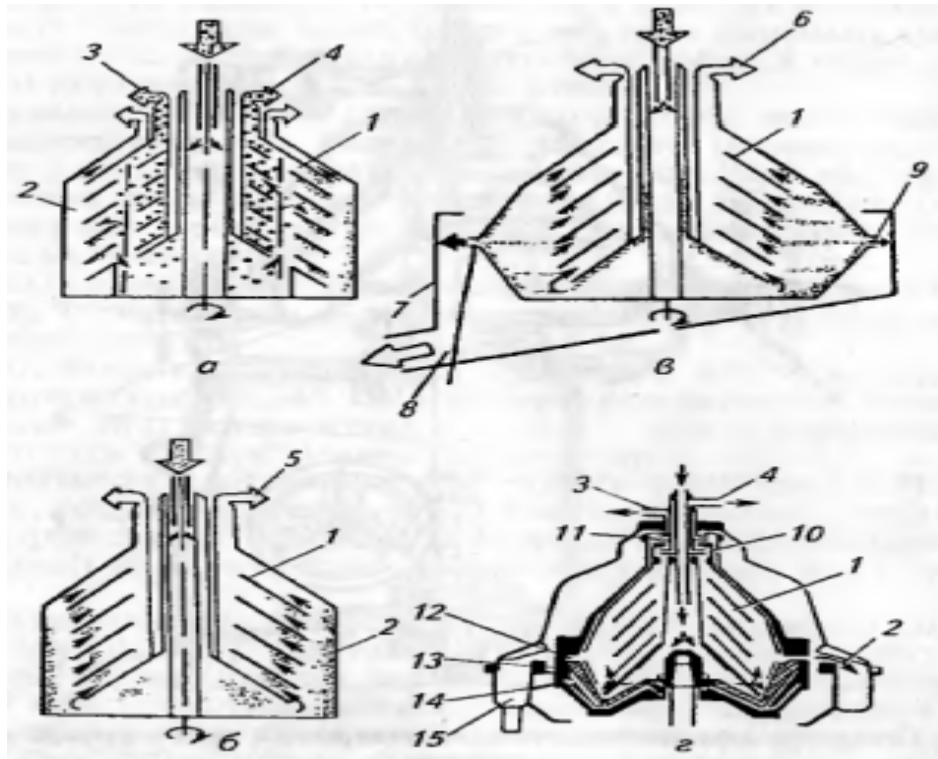


Рис. 1.1 Конструктивні особливості барабанів сепараторів:

а – барабан розділювача сепаратора;

б – барабан освітлювача сепаратора; в – барабан сепаратора соплового;

г - барабан з періодичним вивантаженням сепаратора осаду; 1 – тарілки; 2 – осад; 3 – фракція важка; 4 – фракція легка; 5 – рідина освітлена; 6 – сироватка; 7 - сируоприймач; 8 – згусток сирний; 9 – сопло; 10 – вершків напірний диск; 11 – знежиреного молока напірний диск; 12 – вікна розвантажувальні; 13 – днище рухоме (поршень); 14 – поршневий клапан руху; 15 – осадовий приймач.

Саморозвантажувальні сепаратори належать до найпрогресивніших і найбільш поширених типів, які використовуються для різноманітних цілей. Саморозвантажувальні сепаратори суттєво розширили можливості їх застосування. Це стало можливим завдяки значному підвищенню продуктивності, адже обслуговуючий персонал звільняється від трудомісткого ручного миття барабана. Вони також ефективні у поточних виробничих лініях та можуть застосовуватись у технологічних процесах, де необхідне регулярне миття і очищення всіх компонентів апарату та комунікацій.

Саморозвантажувальні сепаратори дозволяють проводити циркуляційне миття всієї лінії, до якої вони входять, що спрощує очищення складових. Вони

здатні переробляти значно більшу кількість гетерогенної рідини за зміну в порівнянні з сепараторами аналогічної продуктивності, які мають ручне вивантаження осаду. Залежно від технологічних умов та властивостей молока чи молочних продуктів, саморозвантажні сепаратори можна налаштувати для часткового або повного вивантаження.

Часткове вивантаження, розвантажування дозволяє отворам барабана відкриватися лише коротки часом, щоб вивантажити певну кількість осаду. При цьому залишається в барабані рідка фаза. При вивантаженні повного об'єму, отвори розвантажувальні відкриваються повністю і відкритими залишаються до тих пір, коли буде весь вміст вивантажено з барабана.

Також необхідно зазначити, що течія з її параметрами молока повинна залишатися без змін. Тому тут слід увагу звернути на механізми при вивантаженні. Так як кожний процес розвантаження барабана може спричиняти і викликати турбулентність. Механізм для вивантаження осадів (рис.1.2), що походить всередині барабану, впливатиме неминуче на розділення.

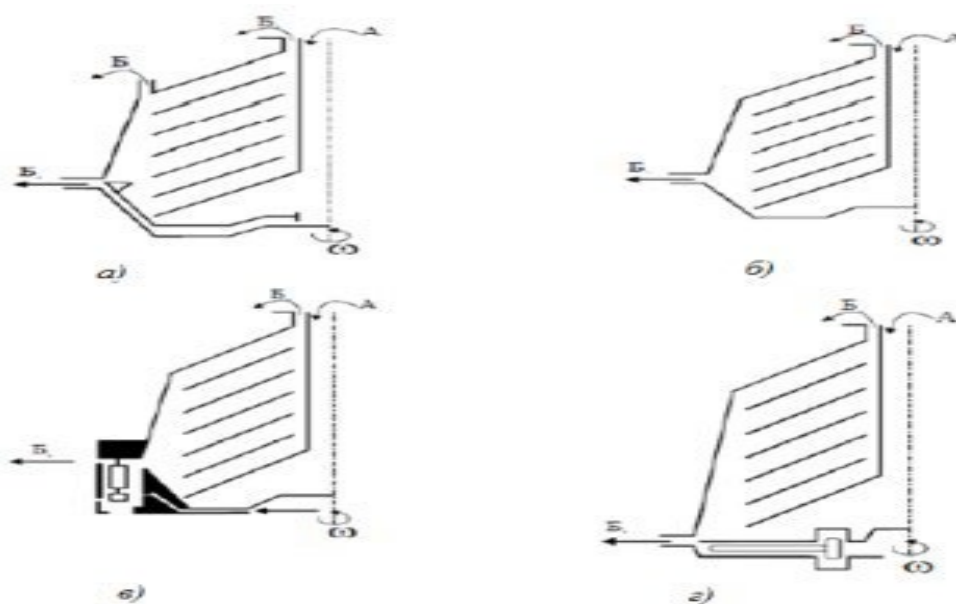


Рис.1.2 Механізми вивантаження осаду

а – три фракційний клапанний; б – з соплами радіальними; в – з поршнем кільцевим ; г – з клапанами циліндричними

Сепаратор ОСН-С (рис.1.3) має призначення для неперервного розділення молока на вершки й молоко знежирене. Одночасно проходить їх

До сепаратора ОСН-С в його склад входить станина, барабан, приймально-відвідний пристрій, гідровузол, чаші приймаючого осаду. В станині змонтовано привідний механізм з горизонтальним і вертикальним валами та тахометром. На верхній частині станини закріплена чаша з приймачем осаду, де є приєднано гідровузол. Горизонтальний вал служить для забезпечення передачі обертового руху від двигуна через муфти пружну і фрикційну. Передача проходить на зубчасту передачу і з неї поступає вертикальному валу.

1 – пристрій приймально-відвідний; 2,3 – диск напірний; 4 – труба; 5 – штуцер; 6 – основа станини; 7 – вал вертикальний; 8 – пробочка; 9 – показчик мастила по рівні; 10 - вал горизонтальний; 11 – тохаметр; 12 – друга пробка; 13 – трубка;

Встановлений барабан сепаратора на валу вертикальному та закріплений гайкою. В барабані проходить процес сепарування молока із періодичним вивантаженням осаду. В середині барабанного корпусу розміщений поршень рухомий. Він зафіксований з корпусом штифтом. Центральна частина корпусу має надітий конус – кришка. На конусі також встановлений тарілотримач. На ньому згідно порядку номера надіто тарілки із отворами. Зверху пакету тарілок є встановлено розділяюча тарілка. На тарілку розділяючу встановлено кришку барабану. Частина кришки верху барабана закрито малою кришкою. В нижній торцевій частині кришки є паз. До нього притискується торець поршня. Відповідно цього корпусного з'єднання, по колу, розташовані вікна. Через них за опущеного поршня відцентровою силою осад видаляється. В корпусі барабана є два клапани, що радіально розміщені. Їх робочі порожнини з'єднано каналами. Порожнина є під поршнем і на пристрої подачі води. Пристрій розподільчий є у вигляді кільця спеціального, що є закріплено гвинтами в нижній частині. Гвинт з'єднано з порожниною під отворами поршня. Один із отвір має сопло.

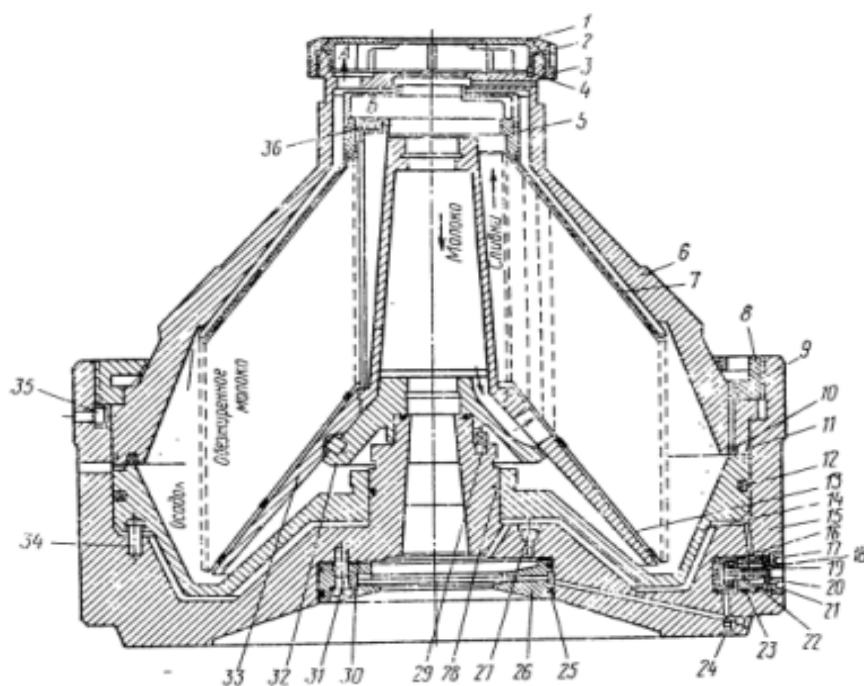
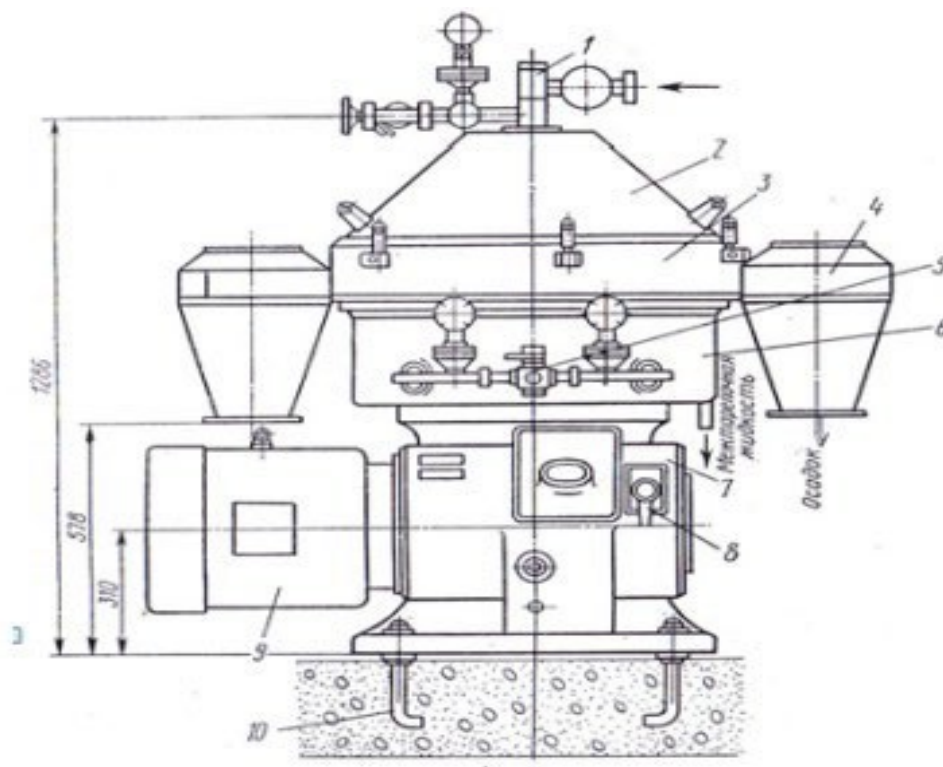


Рис.1.4 Барабан сепаратора ОСН-С

1 – кришка; 2, 10, 11, 12, 18, 23, 25, 28 – ущільнюючі кільця; 3 – гайка; 4, 29, 34, 35, 36 – штифти; 5 – розподільча тарілка; 6 – кришка барабана; 7 – тарілка; 8 – тайка; 9 – отвір; 13 – нижня тарілка; 14, 19 – поршень; 15 – основа; 16, 21, 30 – ущільнення; 17 – манжета; 20 – тайка; 22 – корпус клапана; 24, 27 – сопла; 26 – розподільче кільце; 31 – гвинт; 32 – конус; 33 – тарілотримач

1.2. Порівняльний аналіз конструкцій

Сепаратор ОТС (рис.1.5) має призначення для виділення з молочної сироватки білкових речовин. Сепаратор має відцентрово періодичну можливість вивантаження осаду. До його складу входять такі основні вузли: станина з механізмом приводним, барабан, пристрій приймально-відвідний. Станина це є корпус, де змонтовані привід із електродвигуном та гальмою. У Верхня частина станини має чашу закріплену. На ній встановлено приймач осаду із 2-ма глушничками. В осадовий приймач, оли проходить розвантаження барабану, викидається згусток білковий. Також на чаші змонтовано гідровузол. За допомогою якого проходить відвід рідини між- тарілкової та розвантаженням барабану.



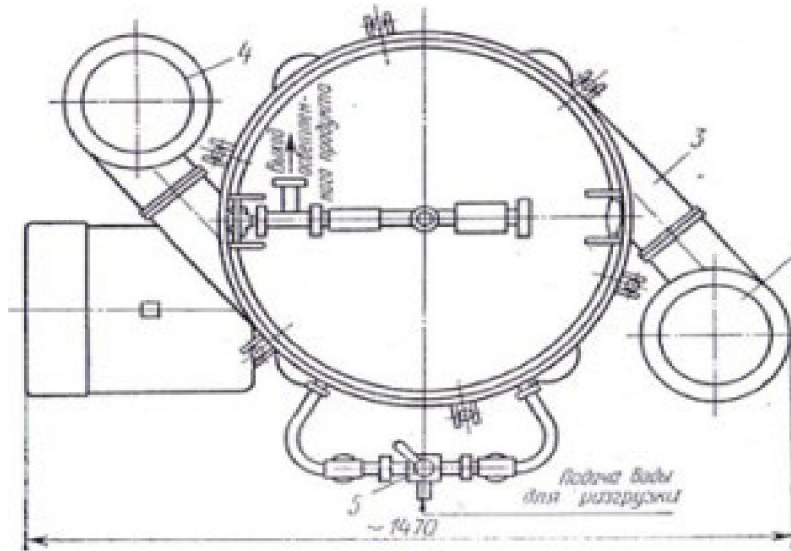


Рис. 1.5. Сепаратор ОТС: 1 - іммально-ВЩІ- нгрш; 2 - т-р!ИШка; 3 - барабан; 4 - "Щ! ОИЙмач:осаду; 5, -гцвоВол; 6 - Чата; 7 - ,стампа; 8 - пшьмо; 9 - "ПШ!УН; 10 - ФУ!щамєнґний болг

В О і чаші таюпш Встановлений!!ОШ!с\Іальний !!.QH ій д.шг - яка шх~~ОИ~~ з того через патрубок. На Е пжашьном:у!Ва.пу Встановлений барабан. Прнй шльний!!QHfillий ;ьття осаду і барабан зат-. нгі 1-:ишпт.:ою з іпленою до !!ОИЙМача прнжимаБ'Ш. До Е хmoro Л 1-:ишпки!!Qнт..рпленоЩ!НЙМально-ЕчwЩШЩ.QHqгній. янрй забезпечує подачу гарячої .Q-!QO!BaT!KI! ІВНХШ ОСІВtTЛ-єНОІ • O!BaT!KI.

Сепаратор ОТС має зо:нітній !РУ омнй портет і @оетапне ПРОЗЕ Л.ажєння. В осноЕі барабана Встановлений та)Оілт.:ощнмач з ОИЯ!!УПМ на того п ОМ тарітток.. Тарі110:rnru\Іач зафтсо;апнй шшфтом.. Тарілт.:QШлі'дач nat-. нгнй t-:RПШіК:ОЮ, яка нстановлена !!_ осно;і і за ікоо!Вапа шшфтом. Кртпка зп ішшєна .п;о осно!Вн !Великою затяжною r ою. Кртпка і осно!Ва умоЮЮЮГ!ЬВО і барабана !!QOсті)R для осаду у!ВШЛЯі!i t.:онічного кільця, на вершині якого розташовані вікна для виходу осаду при розвантаженні.

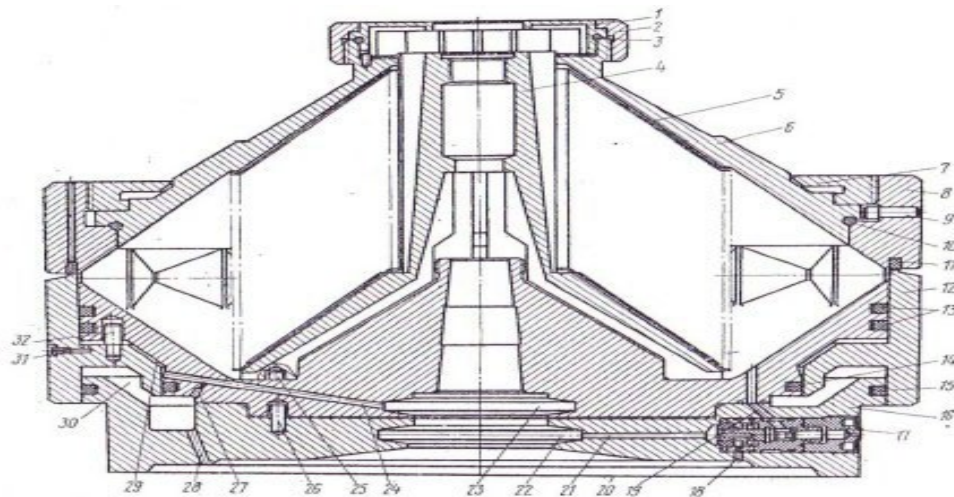


Рис.1.6 Барабан сепаратора ОТС

1 – кришка напірної камери; 2 – затяжна гайка; 3,10,11,13,14,15 – ушільнення; 4 – тарілотримач; 5 – тарілка комплекту; 6 – кришка барабана; 7 – гайка; 8 – основа; 9,25,26,32 – штифт; 12 – поршень; 16 – дно основи; 17 – клапан; 18, 19,20,21,24,27,28 – канали; 22,23 – камери; 29,30 – простори під поршнями; 31 – сопло

На зовнішню поверхню основи циліндричну встановленорухомий поршень. Поршень торцем верхнім притискається до кільця ущільнювальння і закриває вікна розвантажувальні. До торця основи знизу прикріплене дно. Дно з'єднане з поршнем рухомим так, що утворений простір між ними є для буферної води. На радіально розташованому дні є два клапана. Вони з'єднані з камерою, площиною внутрішньою барабана та зовнішнім середовищем. В основі розміщено канал, що з'єднує камеру подачі води буферної у простір між основою та поршнем.

Сепаратор ОЦМ-5 (рис.1.7) має призначення для неперервного очищення. Очищення молока від домішок сторонніх. Сепаратор є з відцентровим періодичним вивантажуванням осаду.

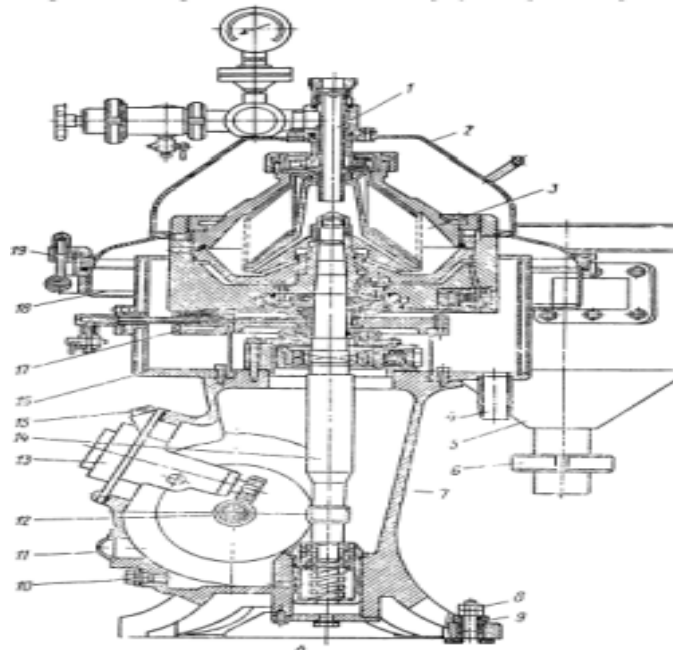


Рис.1.7 Сепаратор ОЦМ-5

1 – приймально-відвідний пристрій; 2 – кришка станини; 3 – барабан; 4 – патрубок; 5 – глушник; 6 – патрубок для виходу осаду; 7 – станина; 8 – фундаментний болт; 9 – амортизатор; 10, 15 – пробка; 11 – показник рівня мастила; 12 – горизонтальний вал; 13 – тахометр; 14 – вертикальний вал; 16 – чаша станини; 17 – гідровузол; 18 – приймач осаду; 19 – прижим

Станина сепаратора має приводний механізм. Привід має склад з вертикального та горизонтального валу, гальм й тохаметра. До частини станини зверху приєднано чашу, де є розміщено барабан, гідровузол та приймач осаду. Приймач осаду має патрубок та обладнаний глушником відведення осаду. Обидва вони зверху мають закриту кришку.

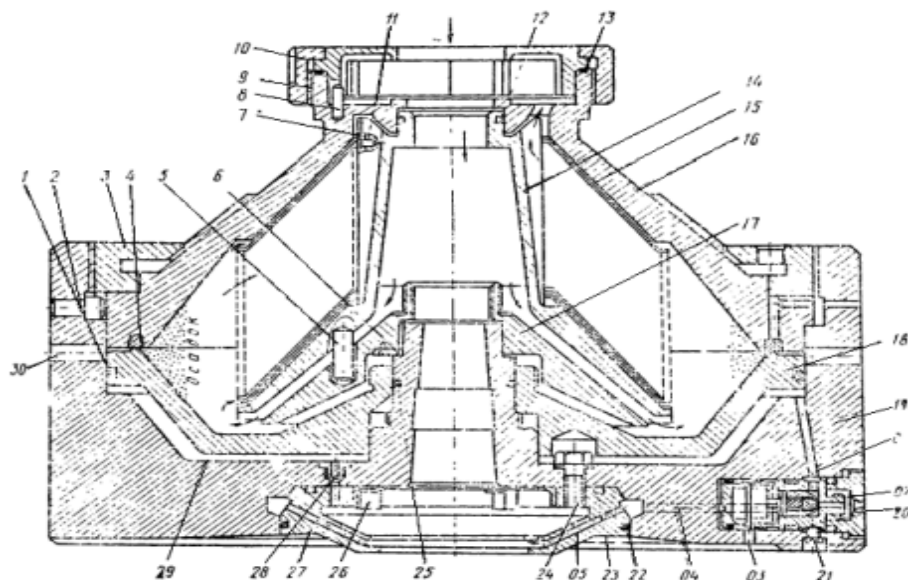


Рис.1.8 Барабан сепаратора ОЦМ-5

1, 4, 12, 22, 23, 25 – ушільнюючі кільця; 2, 8 – штифти; 3 – велике затяжне кільце; 5 – штифт-фіксатор; 6, 7 – шпонки; 9 – мале затяжне кільце; 10 – верхня кришка; 11, 21 – гвинти; 13 – прокладка; 14 – тарілкоотримач; 15 – тарілка; 16 – кришка барабана; 17 – конус тарілкоотримача; 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 – отвори

Рухомий поршень є у середині основи барабану. На основі поршнем зверху закріплено конус. На ньому встановлено тарілкоутримувач. Між тарілкоутримувач та конусом розташовано канали. По цих каналах молоко із центральної частини тарілкоутримувача поступає до простору гязі у барабані. На тарілкоутримувач надіто пакет тарілок. У верхній його частині він накритий кришкою. Ущільнююче кільце, що встановлено в канавці нижнього торця кришки, притискається пояс рухомого ущільнювача поршня. Відповідно створюється герметичне з'єднання. Поршень при цьому закриває вікна розвантажувальні в барабанному корпусі. До низу торця основи змонтовано пристрій лабіринтний. Лабіринтний пристрій має призначення для подачі води буферної під поршень рухомий та в клапан. Вода через сопло надходить під поршень. Клапани розміщені радіально в стінці барабану. Вони з'єднують однієї сторони отвори – лабіринта з поршнем клапана. А з іншої сторони – з простором під поршнем барабана. Вода під поршнем буферна, за рахунок різниць гідростатичного тиску на поршень води та молока, притискує його до кільця ущільнення. Клапан забезпечує отвір зовнішнього відкриття для виходу з-під поршня води при розвантаженні барабана.

Сепаратор ОСЯ (рис.1.9) призначений для процесу розділення знежиреного сквашеного молока (згустку сирного) на сир знежирений (осад білковий) та сироватку. Сепаратор ОСЯ є з неперервним вивантаженням згущеної фракції через сопла.

Основною складовою сепаратора є: металева станина, де розміщено привідний механізм із гальмами та електродвигуном; приймач кришки для сироватки і вузла сирного згустку для подачі в барабан сепаратора.

Чаша станини вертикального валу має встановлений барабан. Приводний механізм сепаратора має склад: горизонтальний вал, вертикальний вал та тахометр. Від електродвигуна горизонтальний вал передає обертання через пружну, фрикційну муфту відцентрову та гвинтову передачу на вал вертикальний.

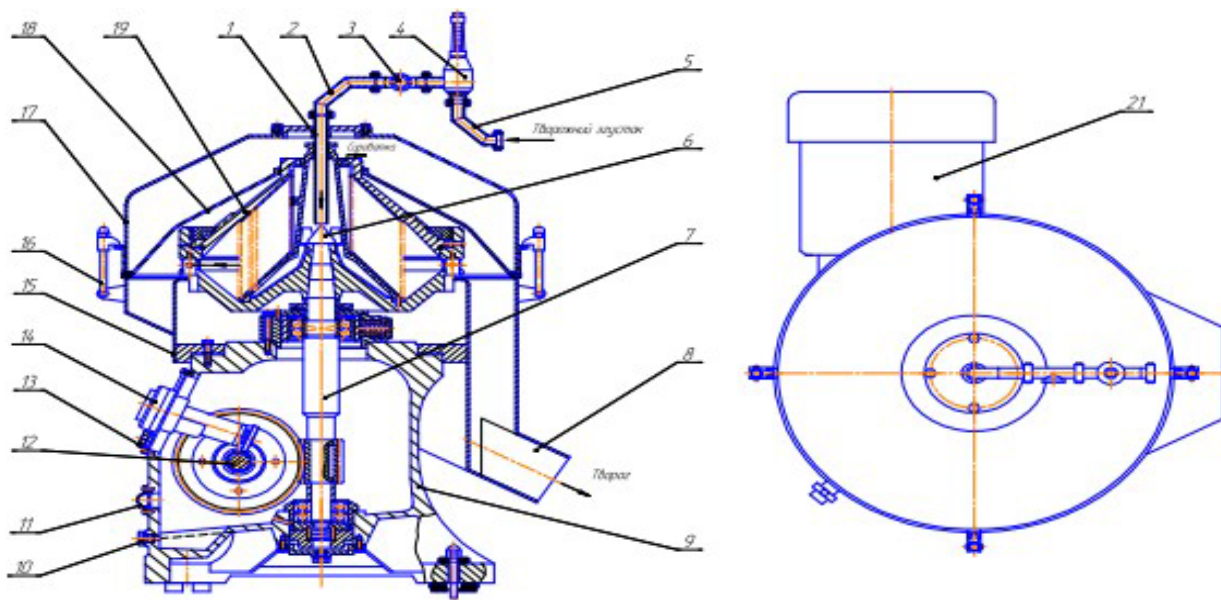


Рис.1.9 Сепаратор ОСЯ

1 - живильний патрубок; 2 - коліно; 3 - оглядове вікно; 4 - ротаметр; 5 - коліно; 6 - гайка; 7 - вертикальний вал; 8 - лоток; 9 - станина; 10,13 - пробки; 11 - показник рівня мастила; 12 - горизонтальний вал; 14 - тахометр; 15 - чаша станини; 16 - прижим; 17 - кришка; 18 - приймач сироватки; 19 - барабан; 20 - патрубок; 21 - електродвигун.

Барабан сепаратора включає основу, всередині якої розміщений тримач тарілок, закріплений штифтом. На шпонці, що розташована в тримачі, фіксуються тарілки комплекту. Верхня частина тарілок закривається кришкою, яка встановлена в основу барабана і закріплюється затяжним кільцем. У верхньому торці кришки розташоване випускне кільце з похилими каналами, через які з барабана видаляється сироватка. Внутрішні поверхні основи та конічної кришки формують простір каналів, призначений для ущільнення білкового осаду. У корпусі, на периферії конічної зони, знаходяться чотири

радіальні отвори, в яких розміщені корпуси сопел з каналами для проходження сировини.

У корпусі встановлено сопло, закріплене за допомогою різьбової обойми. Сироватка з барабана потрапляє в приймач сироватки та виводиться з нього через патрубок. Білковий осад, що виходить із сопел барабана, спрямовується в приймач осаду, де накопичується і під дією сили тяжіння скочується до широкого лотка, звідки виходить із сепаратора.

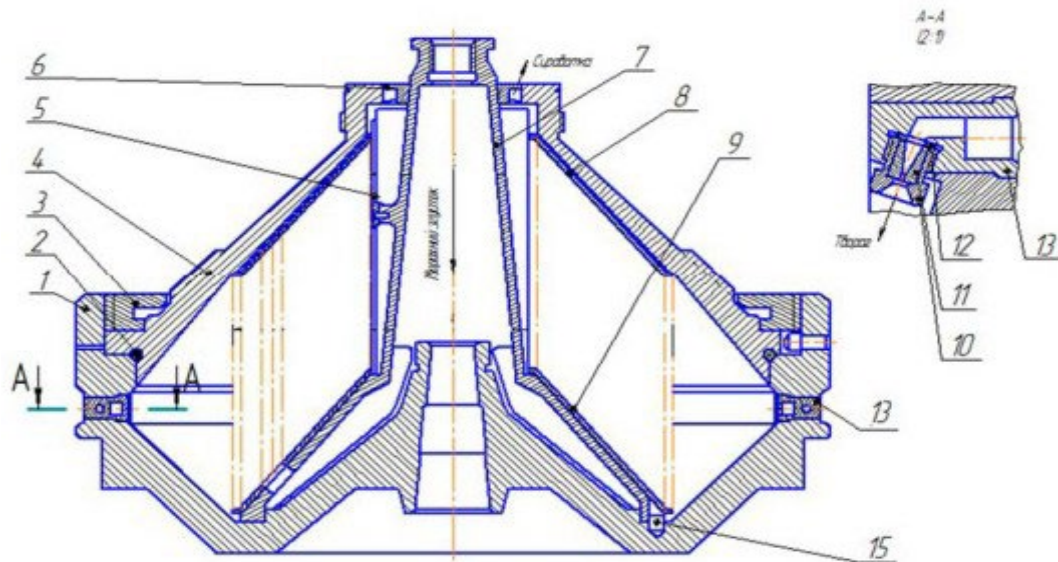


Рис.1.10 Барабан сепаратора ОСЯ

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

Сепаратори з своїми соплами забезпечують безперервне вивантаження осаду (згущеної фази), який утворюється в барабані під час обробки суспензії. Такі сепаратори зазвичай застосовуються, коли об'єм суспензії для переробки є досить великим, а сама суспензія містить значну кількість важкої фракції. Оскільки сопла розташовані в зоні дії значної відцентрової сили, де осад ущільнюється, переріз каналів має бути значно більшим за розмір частинок, що видаляються. Це потрібно, щоб запобігти забиванню отворів ущільненою масою осаду. Зазвичай соплові сепаратори застосовуються для отримання освітленого фугату або виділення осаду у вигляді максимально згущеного концентрату дисперсної фази. У таких випадках, щоб забезпечити

максимальний ступінь згущення важкої фракції, використовують сопла з мінімальним діаметром.

Одним із недоліків таких сепараторів є утворення застійних зон між соплами, де осад не вимивається і поступово накопичується, досягаючи зовнішньої кромки тарілок. Ще одним значним недоліком соплових сепараторів є ризик забивання сопел у разі присутності у сепарованому продукті порівняно великих частинок. Коли сопла забиваються, сепаратор необхідно зупиняти не лише для очищення, але й через виникнення надмірної вібрації, яка з'являється внаслідок дисбалансу в зоні забитого сопла. У барабанах із радіальним розташуванням сопел осі вихідних каналів спрямовані назад, протилежно до напрямку обертання барабана. Це дозволяє використовувати реакцію струменів осаду для зниження моменту, необхідного для обертання барабана.

Кут між віссю сопла і дотичною до кола зазвичай дорівнює 20° . Використовуючи сепаратори, в яких осад відводиться під тиском, можна регулювати ступінь його згущення. Проте, через зниження турбулентності у відвідних каналах, сопла стають більш уразливими до забивання та чутливими до наявності сторонніх домішок у суспензії. Нерухомо закріплені деталі розвантажувального пристрою піддаються значному навантаженню, викликаному гідростатичним тиском суспензії, тому до їхньої міцності висуваються високі вимоги.

Крім того, сепаратори, у яких осад відводиться під тиском, мають складнішу конструкцію в порівнянні із сепараторами з радіальним розташуванням сопел на барабані. Провівши аналіз конструкцій сепараторів, виявлено їх недоліки, проте найкращою серед них є конструкція сепаратора ОСЯ з радіальним розташуванням сопел на периферії барабана. Сепаратор ОСЯ має більш просту конструкцію і забезпечує безперервне видалення згущеного продукту. На жаль, в літературі відсутні наукові обґрунтування залежності кута нахилу сопла від якості отриманого продукту, тому подальші дослідження будуть спрямовані на визначення цієї залежності.

1.3. Заходи шляхів модернізації сепаратора

1. **Ефективність конструкції:** Сепаратори з радіальним розташуванням сопел, такі як ОСЯ, демонструють високу ефективність завдяки простішій конструкції та можливості безперервного видалення згущеного продукту.
2. **Недоліки конструкції:** Існуючі моделі сепараторів мають недоліки, зокрема схильність до забивання сопел і утворення застійних зон, що знижує їх продуктивність.
3. **Відсутність досліджень:** Необхідність подальших наукових досліджень для визначення залежності кута нахилу сопел від якості продукту, що отримується, свідчить про недостатню базу знань у цій галузі.

Шляхи модернізації:

1. **Оптимізація кута нахилу сопел:** Провести експерименти для визначення оптимального кута нахилу сопел, щоб покращити якість продукту та зменшити ризик забивання.
2. **Покращення системи очищення:** Розробити автоматизовані системи очищення сопел для запобігання їх забиванню, що підвищить безперервність роботи сепаратора.
3. **Удосконалення матеріалів:** Використати більш стійкі до зносу матеріали для виготовлення сопел і інших критичних частин, що може зменшити частоту ремонту і заміни.
4. **Аерація відвідних каналів:** Дослідити можливість впровадження аерації у відвідні канали для зменшення тиску і підвищення швидкості потоку, що може зменшити ризик застійних зон.
5. **Модернізація системи контролю:** Запровадити сучасні системи моніторингу та контролю, що дозволить в режимі реального часу відслідковувати параметри роботи сепаратора і вносити корективи.

Ці заходи можуть суттєво підвищити продуктивність і надійність барабана сепаратора, а також покращити якість обробленого продукту.

Розділ 2.

Розробка технічних рішень щодо модернізації барабана сепаратора *ОСЯ*

2.1. Методика виконання досліджень

При визначенні послідовності виконання досліджень спочатку ознайомилися з основними положеннями щодо сепаратора, предметів та методів дослідження. Дослідження сепаратора ОСЯ є розділення згустку сирного та ущільнення сиру зневодненого в барабані. Відповідно дослідженим об'єктом є розділення згустку сирного в сепараторі барабанного типу ОСЯ. Це дослідження фокусується на механізмах, які відбуваються під час сепарації, зокрема, на ефективності розділення сирного згустку на складові частини. Особливу увагу приділено процесу ущільнення зневодненого сиру, оскільки він суттєво впливає на якість кінцевого продукту. Вивчення цього процесу дозволить ідентифікувати ключові фактори, які впливають на його ефективність та оптимізувати роботу сепаратора для досягнення кращих результатів у виробництві.

Предметом досліджень є гідродинаміка сирного згустку в між тарілковому просторі сепаратора. Це включає вивчення потоків рідин і їх взаємодії з частинками білкового осаду під час сепарації. Дослідження також охоплює процес ущільнення білкового осаду в ущільнюючій зоні барабана сепаратора. Ущільнення осаду є ключовим етапом, оскільки від нього залежить якість кінцевого продукту. Дослідження гідродинаміки дозволяє краще зрозуміти механізми, які впливають на ефективність процесу, зокрема, як швидкість і напрямок потоку рідин впливають на ущільнення осаду та які фактори можуть оптимізувати цей процес

Дослідження проводилося з використанням чисельних методів для розв'язання системи диференціальних рівнянь в частинних похідних. Для цього було обрано програмний комплекс FlowVision, який надає можливість моделювати тривимірні рухи рідин і газів у різних технічних і природних об'єктах. Ця програма також забезпечує візуалізацію потоків за допомогою сучасних методів комп'ютерної графіки, що дозволяє детально аналізувати динаміку течій та ефективно досліджувати різноманітні фізичні процеси.

FlowVision є потужним інструментом, що забезпечує можливість дослідження складних гідродинамічних процесів з високою точністю. Цей

програмний комплекс застосовується в різних галузях науки та техніки, таких як аеродинаміка, гідродинаміка, теплотехніка, енергетика, хімічна технологія та біотехнологія. Моделювані течії можуть бути як стаціонарними, так і нестаціонарними, а також стиснутою, слабосжатою або нестиснутою. FlowVision використовує різні моделі турбулентності та адаптивну розрахункову сітку, що дозволяє ефективно моделювати складні рухи рідин, включаючи течії з сильною закруткою, процеси горіння та течії з вільною поверхнею.

Прямокутна адаптивна сітка з локальним подрібненням забезпечує високу точність і ефективність розрахунків. Технологія підсіткової роздільної здатності геометрії дозволяє імпортувати геометричні дані з систем САПР і здійснювати обмін інформацією з системами кінцево-елементного аналізу. Завдяки цій технології питання автоматичної генерації сітки стало менш актуальним. Для створення сітки достатньо задати кілька параметрів.

Після цього сітка автоматично генерується для розрахункової області з геометрією будь-якої складності. Це значно спрощує, прискорює та робить більш зручним процес генерування сітки, оскільки користувачам не потрібно витрачати час на ручне налаштування параметрів. Завдяки інтеграції з системами CAD, користувач може легко адаптувати та оновлювати геометрію моделі, що також підвищує точність розрахунків.

Процес відцентрового ущільнення може бути описаний в вигляді функціональної залежності, що дозволяє детально вивчати вплив різних параметрів на ефективність ущільнення осаду. Це відкриває нові можливості для оптимізації технологічних процесів і поліпшення характеристик сепараторів. Процес ущільнення відцентрового може описаний бути функціональною залежністю:

$$\varepsilon = f(\tau, \varepsilon_0, P, A, k) \quad (2.1)$$

де ε - вологість осаду;

τ – час ущільнення осаду;

ε_0 – вологість осаду на початку ущільнення;

P – ущільнюючий тис, що діє на осад;

A, k – коефіцієнти, що визначають ступінь стискання осаду.

Зв'язок між тиском ущільнення, що має вплив на осад, його вологість можна визначити у вигляді рівняння. Дане рівняння широко є відомим в теорії фільтрації:

$$\frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^4} = A \cdot P^k \quad (2.2.)$$

У сепараторів із ротором циліндричним та періодичним ручним вивантаженням осаду, об'ємну вологість осаду можна визначити системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^4} = A \cdot P^k \\ P = \frac{760(R-r_0)(\gamma_t \cdot \gamma_{ж}) \cdot \omega^2 \cdot R_{cp}(1-\varepsilon)}{2 \cdot 1000 \cdot g} \end{cases} \quad (2.3)$$

де: R – радіус шару максимальний осаду;

r_0 – радіус шару внутрішній осаду;

R_{cp} – радіус шару середній осаду;

γ_t – питома твердої фракції вага осаду;

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

ω – кутова обертання барабана швидкість;

g – прискорена сила тяжіння.

При визначенні осаду вологості, отриманого на сепараторі з механічним вивантаженням, важливо враховувати, що вивантаження відбувається з периферійної частини барабана, де накопичуються найбільш ущільнені шари осаду. У цьому випадку на осад впливає максимальний тиск P_{max} , який становить подвоєне середнє значення тиску P .

Тому система рівнянь перепишемо у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^4} = A \cdot P_{max}^k \\ P_{max} = \frac{760(R-r_0)(1-\varepsilon)(\gamma_t - \gamma_{ж}) \omega^2 R_{cp}}{1000 \cdot g} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$P = \frac{760(R - r_0)(\gamma_r \gamma_m) \cdot \omega^2 R_{cp}(1 - \epsilon)}{2 \cdot 1000 \cdot g}$$

Визначення утвореної вологості осаду в сепараторі конічного барабану із вивантаженням відцентровим осаду, використаємо рівняння:

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot \tan \alpha (2eR^3 - aR^4 - 6eRr_0^2 + 4r_0(aR + e) - 3ar_0^4)}{3V_6} \quad (2.5)$$

де: α – кут поверхні основи та барабанної кришки;

e, a – коефіцієнти стискань;

V_6 – об'єм простору ущільнюючого у барабані.

Визначення тиску осаду білкового в зоні сепаратора ущільнення барабана, використано комплекс FlowVision. Він визначить при даних тиску, коефіцієнти стискання. Підставляючи ці дані у (2.5), визначаємо вологість осаду в барабані білкового.

Розрахунок за допомогою пакету FlowVision та програми SolidWorks побудуємо спрощену модель простору та модель тарілок об'єднану. Також простору міжтарілкову та об'єму барабана.



Рис. 2.1 Модель міжтарілкового простору

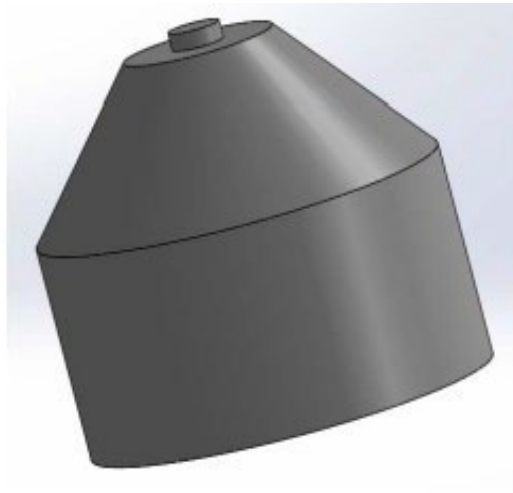


Рис. 2.2 Об'єднана модель тарілок та міжтарілкового простору

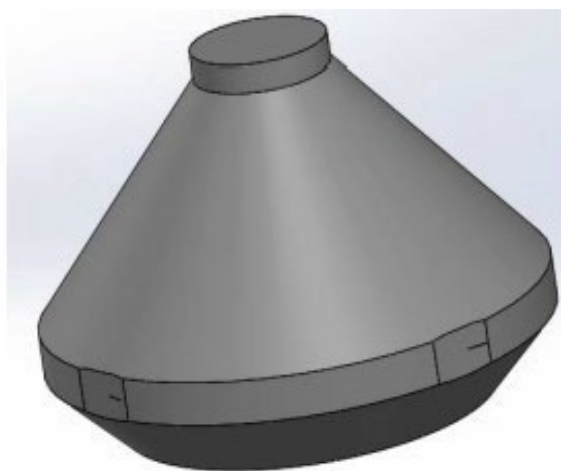


Рис. 2.3 Модель внутрішнього об'єму барабана сепаратора

Після розробки моделей їх експортуємо у форматі файлу wrl та переходимо безпосередньо у FlowVision.

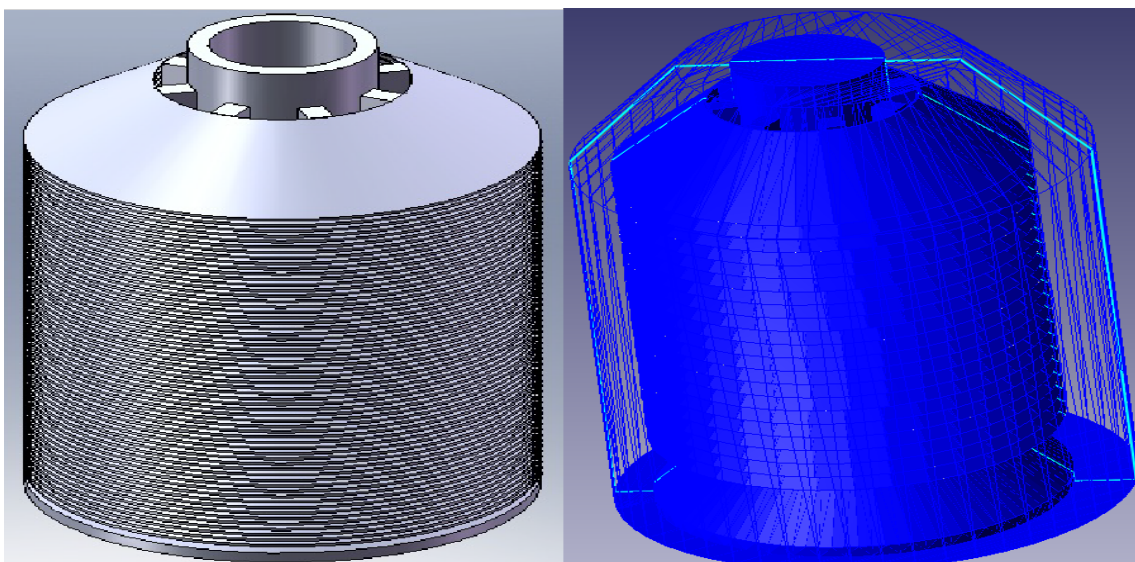


Рис.2.4: Об'єм робочої камери з встановленим пакетом тарілок в Flowvision.

Щоб побудувати приблизні графіки для процесу сепарації молока з урахуванням утворення згустків, їхнього руху та осадження під дією відцентрових сил, розглянемо ключові залежності, які ілюструють основні параметри процесу:

1. Концентрація згустків у часі — графік кінетики коагуляції.
2. Швидкість руху згустків відносно радіусу сепаратора — ілюструє, як згустки рухаються до стінок сепаратора під дією відцентрових сил.
3. Розподіл тиску по радіусу сепаратора — показує, як тиск змінюється у сепараторі від центру до периферії.
4. Вплив швидкості обертання барабана на відцентрову силу — залежність відцентрової сили від швидкості обертання для згустків.

2.2. Обґрунтування модернізації сепаратора

Традиційно в барабанах саморозвантажувальних сепараторів з радіальним розташуванням сопел кут між віссю сопла та дотичною до кола зазвичай становить 20° . Цей кут вибирається з метою збільшення реакційної сили, що виникає внаслідок потоку осаду, що викидається, завдяки чому зменшуються витрати потужності, необхідні для обертання барабана сепаратора.

Однак, існуючі конструкції можуть мати недоліки, пов'язані з недостатньою ефективністю видалення осаду та можливістю забивання сопел. Тому модернізація конструкції сепаратора з урахуванням оптимізації кута нахилу сопел може значно підвищити продуктивність і надійність обладнання. Пропонується новий підхід до регулювання кута нахилу сопел залежно від умов роботи та характеристик оброблюваного продукту. Це дозволить забезпечити кращу динаміку потоку осаду, зменшити ймовірність його застою, а також оптимізувати витрати енергії на обертання барабана.

Дослідження параметрів, таких як швидкість обертання, властивості оброблюваної суспензії та реакційні сили, допоможуть знайти оптимальні умови для роботи сепаратора, що, в свою чергу, забезпечить підвищення якості кінцевого продукту та зниження витрат на його виробництво.

З метою можливості отримання осаду заданої вологості запропоновано реалізувати рухомий механізм вивантаження осаду, який дозволяє змінювати кут нахилу сопла в межах від 10° до 90° .

При збільшенні кута нахилу сопла з 10° до 90° спостерігається зростання реакційної сили струменів осаду, що сприяє обертанню барабана. Це забезпечує підвищення ефективності процесу вивантаження, оскільки більша реакційна сила допомагає подолати інерцію барабана, що, в свою чергу, може зменшити енергетичні витрати.

Крім того, змінюючи кут між віссю сопла та дотичною до кола, можна регулювати вологість білкового осаду. Це пов'язано з тим, що зміна кута впливає на гідравлічні опори в системі, що, в свою чергу, змінює тиск осаду на периферії основи барабана сепаратора. Вищий тиск сприяє більш інтенсивному ущільненню осаду, що дозволяє досягти заданого рівня вологості.

Таким чином, впровадження рухомого механізму вивантаження осаду, що забезпечує регулювання кута нахилу сопла, дозволяє досягти оптимізації процесу сепарації, підвищуючи якість кінцевого продукту і знижуючи енергетичні витрати.

2.2.1. Модернізація сепаратора

Модернізація сепаратора здійснюється шляхом створення на периферії основи барабана чотирьох відвідних каналів, які сприяють ефективному вивантаженню ущільненого осаду. Ці канали будуть перпендикулярними до напрямку обертання барабана, що дозволяє знизити турбулентність потоку та полегшити вивантаження продукту.

В отвори, розташовані на периферії, встановлюються спеціальні втулки з соплами. Ці сопла мають можливість регулювання кута нахилу, що дозволяє змінювати напрямок струменя осаду відповідно до вимог процесу вивантаження. Таким чином, через відвідні канали здійснюється вивантаження ущільненого осаду, що значно підвищує ефективність роботи сепаратора.

Завдяки такій модернізації, знижується ймовірність накопичення осаду в застійних зонах, що позитивно впливає на загальний процес сепарації. Крім

того, ця конструкція забезпечує більш рівномірний розподіл тиску в каналах, що покращує гідродинамічні характеристики системи.

На рисунку 2.4 зображено вузол розвантаження барабана до та після модернізації. У процесі модернізації була змінена конструкція корпусу сопла, який закріплений у основі барабана за допомогою різьбового з'єднання. Корпус сопла має циліндричну форму, що забезпечує зручність у використанні. Завдяки цій конструкції, вставляючи ключ у паз корпусу сопла та обертаючи його, ми можемо регулювати кут між віссю отвору сопла і дотичною до кола в межах від 10° до 90° . Це регулювання дозволяє адаптувати роботу сепаратора під конкретні умови процесу, змінюючи реакційну силу струменів осаду, що в свою чергу впливає на ефективність обертання барабана і вологість білкового осаду.

Таким чином, модернізація вузла розвантаження не лише підвищує функціональність, але й сприяє поліпшенню експлуатаційних характеристик сепаратора, що робить його більш універсальним і ефективним у роботі.

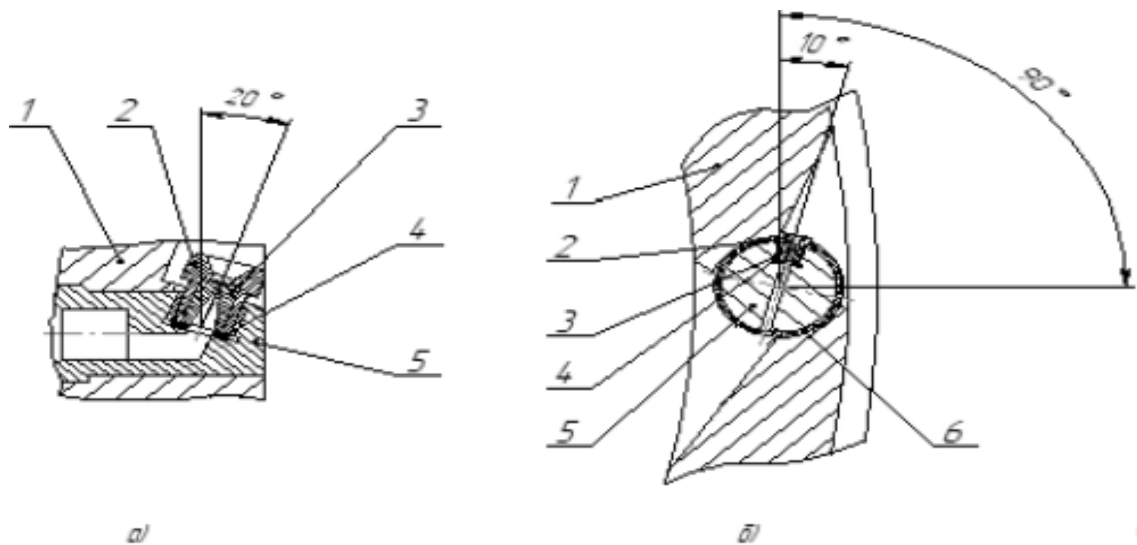


Рис. 2.4. Вузол розвантаження барабана сепаратора: а) до модернізації; б) після модернізації; 1 – основа барабану; 2 – обойма сопла; 3 – сопло; 4 – ущільнення; 5 – корпус сопла; 6 – ущільнююча втулка

Розглянемо регулювання вологості осаду та обертання турнікету. Для забезпечення одностороннього обертання турнікету зріз у нижній частині є важливим конструктивним елементом, оскільки він дозволяє оптимально

взаємодіяти з фіксатором, що блокує зворотній рух. Це запобігає реверсу, який міг би негативно вплинути на процес сепарації. Конструкція турнікету з різною кількістю комірок дає змогу керувати ступенем утримання осаду, що може бути корисним для різних типів продукції та умов виробництва. Комірки впливають на швидкість видалення рідини та дозволяють збільшувати або зменшувати об'єм накопичення залежно від технологічних вимог.

Додавання комірок понад мінімальні три збільшує гнучкість, але потребує збільшення потужності приводу, що може впливати на енергоспоживання.

Використання конструкції з більшим поперечним перерізом для викидання осаду має кілька переваг для ефективності сепаратора. Завдяки збільшенню площі цей розріз не лише знижує швидкість виходу білкового осаду, але й сприяє рівномірному відведенню, що значно зменшує ризик вібрацій під час роботи. Це, у свою чергу, дозволяє уникнути збоїв і підтримувати стабільну продуктивність.

Такий підхід також позитивно впливає на зносостійкість комірок турнікету: через меншу швидкість викиду зменшується сила тертя, що діє на стінки комірок, і, як наслідок, уповільнюється їхнє зношування. Це сприяє продовженню терміну служби турнікету та зменшує потребу в технічному обслуговуванні.

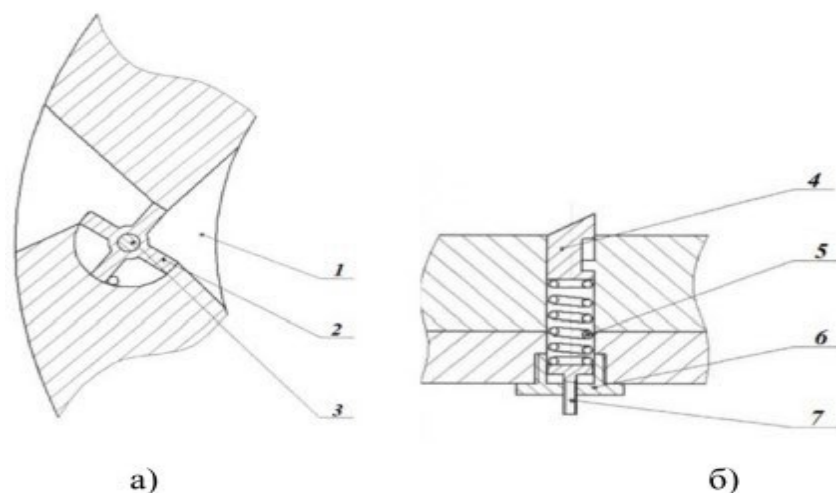


Рис. 2.6. Ротаційний ущільнювач: а) механізм вивантаження осаду; б) механізм регулювання вологості; 1 – відвідний канал; 2 – турнікет; 3 – вісь; 4 – фіксатор; 5 – пружина; 6 – втулка; 7 – гвинт

Регулювання пружини відносно фіксатора виконує обертовий рух в одному або іншому напрямку гвинту навколо осі у втулці. Відповідно гвинт із втулкою з'єднані різьбою. Спрацювання механізму для регулювань осаду вологості та для обертового турнікету, щоб проходило тільки за одного напрямку, на нижній частині виконано зріз під кутом фіксатора.

2.3. Будова та принцип роботи модернізованого сепаратора

Модернізований сепаратор ОСЯ оснащений додатковими компонентами для підвищення ефективності та точності обробки сирного згустку. До його комплектації входить сітчастий подвійний фільтр, який виконує функцію попереднього подрібнення згустку, забезпечуючи більш рівномірний розподіл частинок і покращуючи якість відділення сироватки.

Для контролю основних параметрів роботи сепаратора передбачено такі прилади:

- Ротаметр — служить для контролю кількості сирного згустку, який подається до сепаратора. Це дає змогу точно регулювати подачу згустку, забезпечуючи стабільну продуктивність і підтримуючи якісні показники вихідного продукту.
- Тахометр — використовується для моніторингу частоти обертання барабана, що є критичним параметром для стабільної роботи сепаратора. Ці контрольні прилади сприяють автоматизації роботи сепаратора, підвищенню надійності його функціонування та забезпеченню заданих характеристик продукту.

Сепаратор ОСЯ (рис. 2.5) є безперервним розділювачем сквашеного молока (сирного згустку). Розділення на сир зневоднений (білковий осад) й сироватку. Основні компоненти сепаратора включають: **Станину** — основу конструкції, яка утримує всі інші компоненти. В станині розміщений приводний механізм, що забезпечує обертання барабана. Він також оснащений гальмом для швидкої зупинки барабана та електродвигуном, який контролює його швидкість обертання.

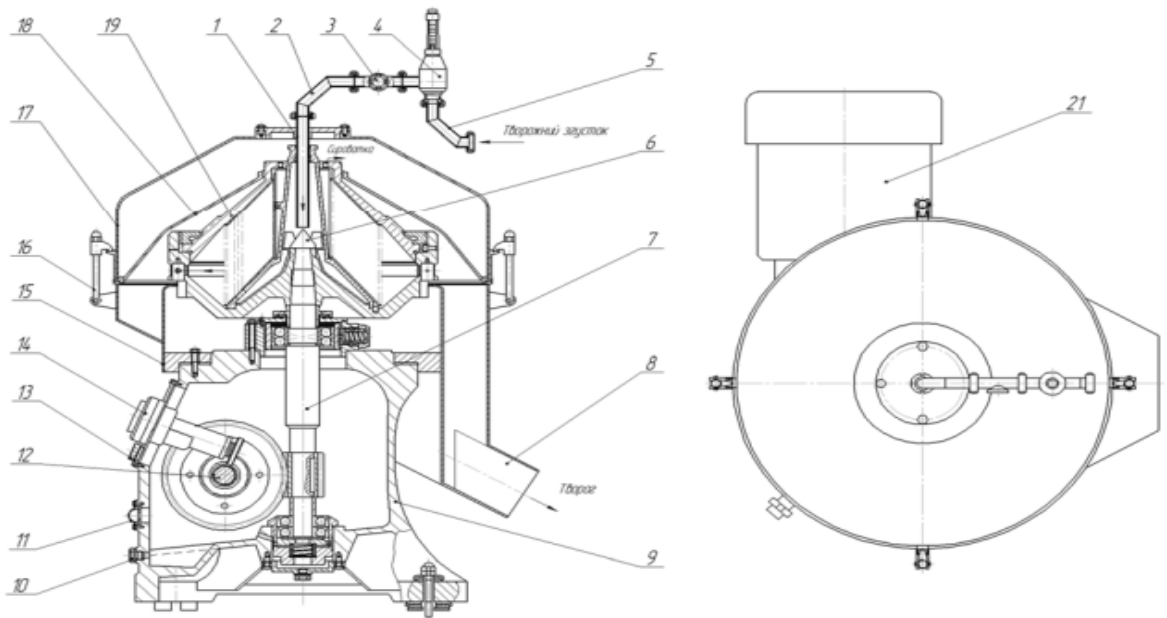


Рис. 2.5. Сепаратор ОСЯ: 1 - живильний патрубок; 2 – коліно; 3 - оглядове вікно; 4 – ротаметр; 5 – коліно; 6 - гайка веретена; 7 - вертикальний вал; 8 – лоток; 9 – станина; 10,13 – пробки; 11 – масло-показчик; 12 - горизонтальний вал; 14 – тахометр; 15 - чаша станини; 16 – прижим; 17 – кришка; 18 - приймач сироватки; 19 - барабан; 20 – патрубок; 21 – електродвигун

- **Кришки з приймачем для сироватки** — забезпечують надійне закриття барабана та містять вихід для відокремленої сироватки, яка відводиться після завершення процесу сепарації.
- **Вузол подачі сирного згустку** — це система, що відповідає за рівномірне надходження сирного згустку в барабан. Він забезпечує контрольоване подавання продукту, що сприяє стабільній роботі сепаратора та рівномірному розподілу осаду.

Ця конфігурація сприяє ефективному розділенню продуктів і дозволяє підтримувати необхідні параметри зневоднення, стабільно отримуючи сир високої якості та відокремлену сироватку.

Приводний механізм сепаратора включає кілька ключових елементів для передачі обертання та забезпечення стабільної роботи:

- **Горизонтальний вал** — основний компонент, що приймає обертання від електродвигуна. Він з'єднаний з двигуном через відцентрову фрикційну

муфту, яка служить для плавного передавання крутного моменту та знижує навантаження на привід під час запуску.

- **Відцентрова фрикційна муфта** — механізм, який оберігає привід від раптових навантажень і забезпечує поступовий набір швидкості. Це особливо важливо для мінімізації вібрацій і підвищення терміну служби компонентів приводу.
- **Гвинтова передача** — передає обертання з горизонтального валу на вертикальний, збільшуючи крутний момент і знижуючи швидкість для точнішого регулювання процесу сепарації.
- **Вертикальний вал** — приймає обертання від гвинтової передачі та передає його на барабан сепаратора. Завдяки цьому валу обертання забезпечується саме у вертикальній площині, що необхідне для ефективної сепарації білкового осаду та сироватки.
- **Тахометр** — встановлений для контролю частоти обертання барабана, даючи можливість відстежувати та регулювати швидкість обертання для забезпечення стабільної роботи.

Така конструкція приводного механізму дозволяє забезпечити рівномірну роботу сепаратора та підтримувати необхідні параметри для якісного розділення продуктів.

Вертикальний вал верхню опору, яка забезпечує стійкість та плавність ходу барабана. Вона складається з радіального підшипника, який встановлений у спеціальній обоймі. Ця обойма розміщується між шістьма радіально встановленими пружинами, які забезпечують пружність і амортизацію опори. Пружини вставлені в направляючі втулки, які кріпляться до корпусу опори в спеціальних гніздах. З іншого боку пружини захищені різьбовими втулками, що забезпечує їхню фіксацію та зменшує вібрації. **Пружність верхньої опори** дозволяє барабану разом із веретеном плавно набирати частоту обертання, забезпечуючи рівномірний старт та мінімізуючи перевантаження. Це значно підвищує стійкість сепаратора при досягненні робочої частоти обертання, знижуючи ризик зношування компонентів через вібрації.

Корпус верхньої опори має захисну кришку з прокладенням, яка додатково захищає від пилу та забезпечує герметичність. Корпус закріплений болтом до станини сепаратора, що забезпечує надійне кріплення конструкції. **Захисна кришка** на верхній частині вала створює лабіринтне ущільнення, яке запобігає проникненню забруднень у внутрішні механізми опори, зберігаючи довговічність підшипників та інших компонентів опори.

Така конструкція верхньої опори дозволяє сепаратору працювати стабільно та ефективно, забезпечуючи тривалий термін служби і мінімізацію потреби в технічному обслуговуванні.

Нижня опора сепаратора виконує ключову функцію у стабілізації барабана та передачі навантаження від його ваги:

- **Здвоєний радіально-упорний підшипник** розташований на кінці веретена, що забезпечує не лише опору, а й стабільне утримання барабана в потрібній позиції, витримуючи навантаження від ваги барабана та сепаруючої рідини. **Передача навантаження** відбувається через підшипник на упор, пружину та регульовальну шайбу, які розташовані на дні стакана. Це допомагає знизити рівень вібрацій і розподілити тиск на опору рівномірно, зменшуючи зношення компонентів і підвищуючи загальну надійність конструкції.
- **Стакан**, у якому розміщений підшипник, встановлений на станині та закритий кришкою з прокладенням для захисту від пилу і вологи. Така кришка запобігає проникненню забруднень у внутрішні компоненти опори, що особливо важливо для підтримання належної роботи підшипника.
- **Отвір для випуску мастила** з кришкою і прокладенням передбачений у конструкції для зручного обслуговування. Він дозволяє випускати надлишкове мастило з опори, що запобігає його накопиченню, яке могло б негативно вплинути на роботу підшипника і знизити його ефективність.

Барабан сепаратора є основним елементом, де відбувається процес розділення сирного згустку на білковий осад і сироватку. Його конструкція забезпечує надійність та ефективність сепарації. **Кріплення барабана**

здійснюється гайкою на вертикальному валу, що забезпечує стабільне закріплення барабана та запобігає його зміщенню під час високошвидкісного обертання. **Підставка барабана** є базовим елементом конструкції, в середині якого встановлений тарілотримач. Цей компонент забезпечує правильне розміщення та закріплення інших деталей, що дозволяє ефективно розподіляти рідину та осад у процесі роботи.

Тарілотримач, закріплений штифтом, є основою для тарілок комплекту. Штифт фіксує тарілотримач, запобігаючи його обертанню незалежно від руху барабана. Це сприяє стабільності та рівномірному розподілу зусиль у процесі сепарації. **Тарілки комплекту**, які надіваються на шпонку, встановлену в тарілотримачі, формують багаторясну систему сепарації. Це дозволяє збільшити площу поверхні для розділення рідини та осаду, забезпечуючи високу ефективність процесу.

Ця конструкція барабана дозволяє сепаратору стабільно та ефективно розділяти сирний згусток, отримуючи високоякісний білковий осад та сироватку.

Отвори в нижній частині тарілотримача і тарілок забезпечують циркуляцію рідини в процесі сепарації. Це створює необхідні потоки для виділення білкового осаду та сироватки, дозволяючи часткам сироватки проходити крізь отвори, тоді як осад залишається на тарілках. **Кришка тарілок**, яка накриває їх зверху, закріплена в основі барабана і зафіксована затяжним кільцем, що забезпечує надійне утримання всієї конструкції та запобігає її розхитуванню. Це дозволяє підтримувати належну герметичність та стабільність компонентів навіть під час високошвидкісного обертання барабана.

Прокладка між основою і кришкою створює ущільнення, що перешкоджає витоку сироватки та забезпечує ізоляцію внутрішньої частини барабана від зовнішнього середовища. **Випускне кільце з косими каналами**, розташоване у верхньому торці кришки, забезпечує виведення сироватки з барабана. Косі канали сприяють спрямованому викиду сироватки під кутом, що дозволяє ефективно відокремлювати рідину від білкового осаду. Такий напрямок потоків

також допомагає зменшити тиск усередині барабана та уникнути небажаних турбулентних рухів, що можуть впливати на якість розділення.

Канальний простір між основою та конічною кришкою є зоною, де відбувається ущільнення білкового осаду. **Радіальні отвори на периферії конічного простору** дозволяють організувати спрямований рух сироватки. Чотири отвори рівномірно розподілені по корпусу, що забезпечує збалансований вихід сироватки та мінімізацію вібрацій під час роботи сепаратора.

Корпуси сопел з каналами вставлені в ці отвори для проходу сировини. Сопла направляють потік сироватки, забезпечуючи ефективне відокремлення білкового осаду. Сопло закріплене різьбовою обоймою всередині корпусу сопла, що дозволяє надійно фіксувати його і запобігає зміщенню під час роботи. Обойма також спрощує обслуговування і заміну сопел при потребі.

Сопла в конструкції сепаратора мають унікальні характеристики, які суттєво впливають на ефективність процесу сепарації. **Змінний кут нахилу сопел** до дотичної кола дозволяє оптимізувати їхнє положення для досягнення максимальної продуктивності. Це досягається шляхом повороту корпусу сопла, що дає можливість адаптувати роботу сепаратора до конкретних умов обробки сировини.

Сопла, спрямовані назад проти обертання барабана, створюють додатковий ефект виведення сировини, який забезпечує рівномірний розподіл потоку та запобігає накопиченню матеріалу в барабані. **Сітчастий фільтр** відіграє ключову роль у процесі підготовки сирного згустку, забезпечуючи подрібнення і видалення сторонніх домішок. Цей елемент запобігає попаданню великих частинок у сепаратор, що може призвести до його засмічення та зниження продуктивності.

Розмір частинок подрібненого сирного згустку, що є дещо меншим за діаметр отвору сопла, дозволяє знизити ймовірність блокування сопел. Це забезпечує більш тривалу роботу сепаратора, зменшуючи потребу в частому обслуговуванні та очищенні.

Процес роботи сепаратора після досягнення необхідної частоти обертання барабана складається з кількох етапів, що забезпечують ефективну сепарацію сирного згустку. Після того, як барабан досягає потрібної частоти обертання, вмикають насос подачі гарячої води з температурою 50°C. Цей етап триває 3–5 хвилин і є важливим для промивки системи, що забезпечує видалення залишків попередніх обробок і перевірку герметичності з'єднань. Після промивки вмикають подачу підготовленого сирного згустку через фільтр в барабан сепаратора. Фільтрація є критично важливою для видалення сторонніх домішок і забезпечення однорідності згустку перед його обробкою.

Проходячи через отвори в тарілотримачі та тарілках, сирний згусток рівномірно розподіляється тонким шаром у міжтарілковому просторі. Завдяки дії відцентрової сили, яка виникає під час обертання барабана, сирний згусток розділяється на дві фракції: легку (сироватку) та важку (білковий осад). Легка фракція виводиться через випускне кільце, тоді як важка фракція залишається на тарілках, де може ущільнюватися.

Процес видалення фракцій з барабана сепаратора має свої особливості, які забезпечують ефективне розділення білкового осаду та сироватки. Важка фракція, що складається з білкового осаду, під дією відцентрової сили відкидається до стінок барабана сепаратора. Тут осад ущільнюється, що дозволяє йому легше видалятися. Ущільнений білковий осад виводиться з барабана через сопла, що забезпечує ефективне відведення продукту та підтримує стабільний режим роботи сепаратора.

Легка фракція, або сироватка, під впливом відцентрової сили відтісняється до осі обертання барабана. Це дозволяє їй виходити з барабана через випускне кільце, розташоване в кришці барабана. З барабана сироватка викидається в приймач сироватки, де вона зберігається до подальшої обробки. Сироватка виходить з приймача через патрубок, що забезпечує безперервність процесу.

Приймач сироватки оснащений кришкою, всередині якої розташований конус, що надітий на барабан з мінімальним зазором. Ця конструкція є критично важливою, оскільки вона виключає можливість попадання сироватки в приймач сиру. Мінімальний зазор між конусом і барабаном гарантує, що

сироватка не витікає в непотрібні зони, що підвищує якість отриманого сиру та запобігає його забрудненню.

Білковий осад, що виводиться через сопла барабана, потрапляє в приймач осаду, що розташований в чаші станини сепаратора. Конструкція приймача осаду має конусне днище, що забезпечує ефективний збір і видалення осаду.

Білковий осад, що накопичується в приймачі, під дією сили тяжіння скочується до широкого лотка. Це спрощує процес видалення осаду, оскільки осад поступово самостійно переміщується до виходу з сепаратора. Конусне днище приймача осаду сприяє кращому стіканню осаду, зменшуючи ризик накопичення залишків. Приймач осаду накритий приймачем сироватки, що запобігає потраплянню сторонніх домішок та підтримує гігієнічність процесу.

Ущільнення між приймачем осаду та приймачем сироватки забезпечується ущільнюючим кільцем, що гарантує герметичність системи і запобігає витоку рідин. Приймач осаду, приймач сироватки та їх кришки з'єднані між собою відкидними болтами з притискачами. Це рішення забезпечує зручність обслуговування, адже за необхідності компоненти можна легко розібрати для чищення або ремонту.

Розділ 3

Розрахунок модернізованого барабана сепаратора ОСЯ

3.1. Технологічний розрахунок

Для розрахунку об'єму осаду, що витікає з барабана через сопла, можна використовувати наведене рівняння:

$$Q = \frac{\mu \cdot z \cdot f \cdot \omega \cdot R}{\tau}$$

$$Q = \mu \cdot z \cdot f \cdot \omega \cdot R / \tau$$

де:

- τ — об'єм осаду, що витікає із барабана ($\text{м}^3/\text{с}$);
- μ — витратний коефіцієнт (безрозмірний);
- z — число сопел (безрозмірний);
- f — площа одного отвору сопла (м^2);
- ω — швидкість кутова барабана ($\text{рад}/\text{с}$);

- R — осі барабана до внутрішнього отвору сопла (м);
- r — осьова відстань між барабаном та поверхнею рідини, що є в барабані (м).

Введемо припустимі значення для кожного з параметрів:

- Коефіцієнт витрат $\mu=0.9$ (зазвичай в межах 0.7–1.0);
- Кількість сопел $z=4$;
- Площа отвору одного сопла $f=0.002 \text{ м}^2$;
- Кутова швидкість барабана $\omega=20 \text{ рад/с}$;
- Відстань до внутрішньої поверхні вихідного отвору сопла $R=0.15 \text{ м}$;
- Відстань до внутрішньої поверхні рідини $r=0.1 \text{ м}$.

Проводимо розрахунок об'єму

Підставимо значення в формулу:

$$Q = \frac{0.9 \cdot 4 \cdot 0.002 \cdot 20 \cdot 0.15}{0.1}$$

$$Q=0.9 \cdot 4 \cdot 0.002 \cdot 20 \cdot 0.150.1$$

Тепер проведемо обчислення:

$$Q = \frac{0.9 \cdot 4 \cdot 0.002 \cdot 20 \cdot 0.15}{0.1} = \frac{0.000108}{0.1} = 0.00108 \text{ м}^3/\text{с}$$

Об'єм осаду, що витікає з барабана через сопла, дорівнює приблизно $0.00108 \text{ м}^3/\text{с}$.

Розрахунок допомагає оцінити продуктивність сепаратора та визначити ефективність роботи системи, а також вносити необхідні корективи в конструкцію для досягнення бажаних показників.

Визначаємо площу одного отвору сопла. Для визначення площі одного отвору сопла використовуємо формулу:

$$f=\pi \cdot d^2/4$$

де:

- d — діаметр отвору сопла (в метрах);
- f — площа отвору (в квадратних метрах).

В даному випадку, згідно даних, площа обчислюється як:

$$f=3.14 \cdot (0.0006)^2/$$

Підставимо значення діаметра отвору $d=0.0006$ м:

$$f = \frac{3.14 \cdot (0.0006)^2}{4}$$
$$= \frac{3.14 \cdot 0.00000036}{4} = \frac{0.0000011264}{4} \approx 0.0000002816 \text{ м}^2$$

Далі, маючи такі значення:

- Коефіцієнт витрат $\mu=0.7$;
- Кількість сопел $z=4$;
- Площа отвору одного сопла $f=0.0000002816 \text{ м}^2$ (використовуючи коректний розрахунок);
- Кутова швидкість барабана $\omega=523 \text{ рад/с}$;
- Відстань $R=0.286 \text{ м}$;
- Відстань до рідини $r=0.066 \text{ м}$.

Проводимо розрахунок об'єму осаду Q . Підставляємо в формулу для обчислення об'єму:

$$Q = \frac{\mu \cdot z \cdot f \cdot \omega \cdot R}{r}$$

Підставляючи значення:

$$Q = \frac{0.7 \cdot 4 \cdot 0.0000002816 \cdot 523 \cdot 0.286}{0.066}$$

$$0.7 \cdot 4 \cdot 0.0000002816 \cdot 523 \cdot 0.286 \approx 0.00000042377$$

Тепер обчислимо Q :

$$Q = \frac{0.00000042377}{0.066} \approx 0.00000641 \text{ м}^3/\text{с}$$

Об'єм осаду, що витікає з барабана через сопла, приблизно дорівнює $0.00000641 \text{ м}^3/\text{с}$.

Проведемо розрахунки для швидкості викиду згустку відносно сопла. Відповідно до наведених даних, швидкість викиду визначається за формулою:

$$w = \varphi \cdot \omega \cdot \sqrt{R} - \frac{F}{r}$$

де:

- w — швидкість (в м/с);
- φ — коефіцієнт швидкості;
- ω — кутова барабана швидкість (в рад/с);
- R — осьова віддаль між барабаном і внутрішньою поверхнею отвору сопла (в м);
- F — відстань барабана до поверхні рідини, що є в барабані (в м).

В даному випадку значення:

- $\varphi=1$;
- $\omega=523$ рад/с;
- $R=0.286$ м;
- $r=0.066$ м.

Підставимо ці значення у формулу:

$$\sqrt{R} = \sqrt{0.286} \approx 0.535$$

Тепер можемо обчислити w :

$$w = 1 \cdot 523 \cdot 0.535 - \frac{F}{0.066}$$

$$w \approx 523 \cdot 0.535 \approx 280.5 \text{ м/с}$$

При зазначених значеннях, якщо $F=0$, швидкість викиду згустку відносно сопла приблизно дорівнює **280.5 м/с**.

3.2. Розрахунок загальних витрат потужності

Для обчислення загальних витрат потужності, потужності на надання ротору кінетичної енергії та кінетичної енергії ротора проводимо загальні витрати потужності. Формула для загальних витрат потужності виглядає так:

$$N=N_1+N_2+N_3+N_4$$

де:

- N — загальна потужність (кВт);
- N_1, N_2, N_3, N_4 — потужності, які витрачаються на різні процеси.

Потужність на надання ротору кінетичної енергії

Формула для розрахунку потужності, що витрачається на надання ротору кінетичної енергії, виглядає так:

$$N_5 = \frac{A}{\tau} \cdot \frac{10^3}{3.6 \cdot 10^6}$$

де:

- τ — час розгону ротора (в секундах);
- A — кінетична енергія ротора (в Дж).

Кінетична енергія ротора. Кінетична енергія ротора визначається за формулою:

$$A = \frac{G \cdot V^2}{2}$$

де:

- G — вага барабана (в Н);
- V — швидкість обертання барабана (в м/с).

Підставляємо значення у формули, щоб здійснити енергетичний розрахунок. Щоб визначити потужність, необхідну для подолання опору тертя ротора об повітря, використовуємо наступну формулу:

$$N_2 = 1.5 \cdot \beta \cdot \rho \cdot \omega^3 \cdot R^2 \cdot \cos(\alpha)$$

Де:

- $\beta = 1.8 \cdot 10^{-9}$ (емпіричний коефіцієнт);
- $\rho = 1.2 \text{ кг/м}^3$ (густина повітря);
- $\omega = 523 \text{ рад/с}$ (кутова швидкість);
- $R = 0.31 \text{ м}$ (зовнішній радіус барабана);
- $\alpha = 50^\circ$ (кут підйому твірної кришки).

Переведемо кут α в радіани:

$$\alpha = 50^\circ = 50 \cdot \pi / 180 \approx 0.8727 \text{ рад}$$

Підставимо значення в формулу:

$$N_2 = 1.5 \cdot (1.8 \cdot 10^{-9}) \cdot (1.2) \cdot 143,489,207 \cdot 0.0961 \cdot \cos(50^\circ)$$

Розрахуємо N_2

$$N_2 \approx (3.24 \cdot 10^{-9}) \cdot 8,856,842.69 \approx 0.0288 \text{ кВт}$$

Таким чином, потужність, необхідна для подолання опору тертя ротора об повітря, приблизно становить 0.0288 кВт.

Розглянемо формулу потужності N_3 , яка витрачається на подолання тертя в приводному механізмі сепаратора:

$$N = \frac{\mu_0 \cdot m \cdot \pi \cdot g \cdot \omega \cdot d}{60 \cdot 1000}$$

де:

- μ_0 — коефіцієнт тертя;
- m — маса частин сепаратора, що обертаються (включаючи барабан та рідину), кг;
- g — прискорення вільного падіння, м/с²;
- ω — кутова швидкість обертання, рад/с;
- d — діаметр шийки веретена, м.

60 — перетворення хвилин в секунди; 1000 — перетворення ват у кіловати
Отже, формула для потужності N_4 , що витрачається на викид рідини через сопла, виглядає наступним чином:

$$N = \frac{\rho \cdot Q \cdot \omega^2 \cdot d_b^2}{2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}$$

де:

- ρ — густина рідини, кг/м³;
- Q — об'ємна витрата рідини, м³/с;
- ω — кутова швидкість обертання, рад/с;
- d — діаметр сопла, м;
- η_1 та η_2 — коефіцієнти, що враховують ефективність (або втрати) на етапах викиду рідини.

Результат цієї формули буде в ватах (Вт).

Ця формула враховує силу тертя, яка залежить від маси обертових частин, а також від кутової швидкості обертання і діаметра шийки, що створює момент тертя на поверхнях контакту.

Абсолютна швидкість рідини $\omega_{\text{абс}}$, яка виходить з барабана через сопло, розраховується за формулою:

$$\omega_{\text{абс}} = \sqrt{U^2 - 2Uw_2 \cos \beta + w_2^2 K}$$

де:

- U — колова швидкість сопла, м/с, яка визначається за формулою:

$$U = \omega R$$

де ω — кутова швидкість обертання, рад/с, і R — радіус барабана до центру сопла, м. У вашому випадку, $U = 149.6$ м/с.

- w_2 — швидкість рідини до виходу з сопла, м/с;
- β — кут між віссю сопла і дотичною до кола, що описує траєкторію руху рідини;
- K — коефіцієнт, який враховує додаткове прискорення рідини за рахунок підхвату після виходу із сопла.

$$\omega_{абс} = 1,3 \sqrt{145,8^2 + 149,6^2 - 2 \cdot 145,5 \cdot 149,6 \cdot \cos 20} = 69,4 \text{ м/с},$$

Розрахунок дозволяє врахувати вплив кута β та коефіцієнта K на кінцеву швидкість рідини, що виходить з барабана, і враховувати ефект збільшення швидкості під час руху рідини через сопло. Одержані дані зведено в таблицю 3.1. Таблиця 3.1 Дані швидкості виходу продукту з барабану за кута сопла щодо дотичної кола

№ п.п	Кут нахилу сопла, град	Абсолютна швидкість продукту, що виходить з барабану	
		м/с	%
1	15	50,3	-27,5
2	20	69,4	100
3	25	83,2	119,8
4	30	99,4	143,2
5	35	115,5	166,4
6	40	131,4	189,3
7	45	146,9	211,6
8	50	162,2	233,7
9	55	179,3	258,3
10	60	191,9	276,5

Для кута нахилу сопла 15° і відповідної абсолютної швидкості рідини 50,3 м/с визначимо відносний приріст швидкості у відсотках. З формули видно, що для обчислення приросту у відсотках можна використовувати базове значення для порівняння — при куті нахилу 20° абсолютна швидкість становить 69,4 м/с.

Формула для відсоткового приросту або зменшення швидкості виглядає так:

$$\Delta\% = \frac{\text{Швидкість при куті } 15^\circ - \text{Швидкість при куті } 20^\circ}{\text{Швидкість при куті } 20^\circ} \times 100$$

Підставимо значення:

$$\Delta\% = \frac{50.3 - 69.4}{69.4} \times 100$$

Розрахуємо при куті нахилу сопла 15° абсолютна швидкість рідини зменшується на приблизно $-27,5\%$ порівняно з паспортним значенням при куті 20° .

З даних у таблиці видно, що зі зменшенням кута нахилу сопла абсолютна швидкість виходу продукту з барабана сепаратора зменшується. Навпаки, при збільшенні кута нахилу, абсолютна швидкість на відведення продукту з барабана зростає. Це показує, що кут нахилу соплових отворів є важливим фактором, який впливає на ефективність викиду рідини, і його можна регулювати для досягнення бажаних характеристик.

Тоді:

$$N_4 = \frac{1}{102 \cdot 0,76 \cdot 0,65} \cdot \frac{0,000122 \cdot 1060 \cdot 69,4^2}{2} = 5,4 \text{ Вт}$$

$$N = 7,6 + 0,822 + 6,8 + 0,0054 = 15,22 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна сепаратора:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N \cdot 1,1}{\eta_{\text{дв}}}, \text{ кВт}$$

де: $\eta_{\text{дв}}$ - ККД двигуна

$$N_{\text{дв}} = \frac{15,22 \cdot 1,1}{0,9} = 18,4 \text{ кВт}$$

На основі цього вибираємо двигун стандартний з потужності $18,5 \text{ кВт}$.

Відповідно споживана потужність мережі електричної

$$N_{\text{мер}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\eta_{\text{дв}}}, \text{ кВт}$$

$$N_{\text{мер}} = \frac{18,5}{0,9} = 20,5 \text{ кВт}$$

Період пускового циклу сепаратора:

$$\tau_{\text{пуск}} = \frac{1,2 \cdot J_B \cdot \omega^2}{2000 \cdot k \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{пр}}}, \text{ хв}$$

де: J_B – динамічний момент інерції, барабану:

$$J_B = 70 \cdot 0,31^2 = 6,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

k – коефіцієнт використання потужності двигуна в період розгону барабана сепаратора;

$$\tau_{\text{пуск}} = \frac{1,2 \cdot 6,7 \cdot 523^2}{2000 \cdot 0,8 \cdot 18,5 \cdot 0,76} = 98 \text{ с} = 1,6 \text{ хв.}$$

Для кінематичного та силового розрахунку привода сепаратора, з урахуванням зображення, слід провести такі етапи:

3.2.1. Кінематичний розрахунок

Визначаємо частоти обертання валу приводного. Враховуючи передаточне число, визначаємо швидкість обертання барабана сепаратора. Це дозволить знайти лінійну швидкість на периферії барабана, що важливо для ефективного викиду рідини через сопло. Спочатку кутову швидкість ω обертів за хвилину, або частоти обертання вала. В механізмі є редуктор, потрібно визначити передаточне відношення та розрахувати кутову швидкість кожного з елементів передачі, виходячи з заданої швидкості на ведучому валі.

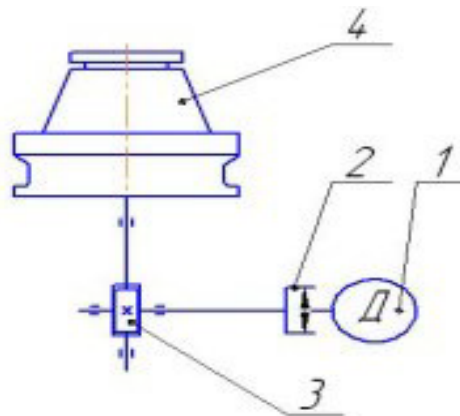


Рис. 3.1 Схема кінематична привода: 1.Електродвигун, 2. Муфта, 3. Редуктор, 4. Барабан сепаратора. Враховуючи передаточне число, визначаємо швидкість обертання барабана сепаратора. Це дозволить знайти лінійну швидкість на периферії барабана, що важливо для ефективного викиду рідини через сопло.

При силовому розрахунку проводимо обчислення моменту на ведучому валу. Враховуємо масу і розподіл обертових частин (барабан, рідина) та коефіцієнт тертя. Обчислення сили тертя в контактах, зокрема у вузлах, де є підшипники. Вона залежить від ваги частин привода і коефіцієнта тертя, як зазначалося у попередніх розрахунках. Залежно від моменту та частоти обертання на ведучому валу визначаємо необхідну потужність двигуна.

Враховуючи кут нахилу сопел, абсолютну швидкість і масу рідини, можна визначити силу, необхідну для підтримки викиду при заданих умовах. Це дозволить точніше спроектувати параметри привода для оптимальної роботи.

Загальний ККД ($\eta_{\text{заг}}$)

З формули:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{чп}} \cdot \eta_{\text{пк}}$$

де:

- $\eta_{\text{м}}=0.98$ (ККД муфти)
- $\eta_{\text{чп}}=0.8$ (ККД гвинтової передачі)
- $\eta_{\text{пк}}=0.99$ (ККД однієї пари підшипників)

Обчислимо: $\eta_{\text{заг}} = 0.98 \cdot 0.8 \cdot 0.99 = 0.77616 \approx 0.76$

Передаточне відношення гвинтової передачі ($i_{\text{гп}}$)

З формули :

$$i_{\text{гп}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{б}}}$$

де:

- $n_{\text{дв}}=1450$ об/хв
- $n_{\text{б}}=5000$ об/хв

Обчислимо:

$$i_{\text{гп}} = \frac{1450}{5000} = 0.29$$

Частота обертання валів (n)

З формули:

$$n = \frac{n_{\text{дв}}}{i_{\text{гп}}}$$

Обчислимо:

$$n = \frac{1450}{0.29} \approx 5000 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість валів (ω)

З формули:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30}$$

$$\omega = \frac{3.14 \cdot 1450}{30} \approx 152 \text{ рад/с}$$

Для барабана:

$$\omega_6 = \omega \cdot i_{\text{гп}} = 152 \cdot 0.29 \approx 44.08 \text{ рад/с}$$

Потужність на валах (P)

Обчислимо потужність:

Для $P_{\text{дв}} = 18.5 \text{ кВт}$:

$$P_6 = P_5 \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{шк}} = 18.5 \cdot 0.98 \cdot 0.99 \approx 17.9 \text{ кВт}$$

Для P_7 :

$$P_7 = P_6 \cdot \eta_{\text{гп}} \cdot \eta_{\text{шк}} = 17.9 \cdot 0.8 \cdot 0.99 \approx 14.1 \text{ кВт}$$

Результати розрахунків:

1. Загальний ККД ($\eta_{\text{заг}}$): 0.76
2. Передаточне відношення гвинтової передачі ($i_{\text{гп}}$): 0.29
3. Частота обертання валів (n): 5000 об/хв
4. Кутова швидкість валів: 152 рад/с для електродвигуна, 44.08 рад/с для барабана
5. Потужність на валах:
 - P_6 : 17.9 кВт
 - P_7 : 14.1 кВт

обчислимо обертовий момент (T) на валах, використовуючи формулу для обертового моменту. Обертовий момент на валі можна обчислити за формулою:

$$T = P / \omega$$

де:

- T — обертовий момент (в Н·м),
- P — потужність (в кВт),
- ω — кутова швидкість (в рад/с).

3.2.2. Розрахунок потужності для різних валів

1. Для електродвигуна (вал T_5):

$$\circ P_5 = 18.5 \text{ кВт} = 18.5$$

$$\bullet P_5 = 18.5 \text{ кВт}$$

$$\bullet \omega_5 = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30} = 152 \text{ рад/с (як обчислювалося раніше)}$$

$$T_5 = \frac{P_5}{\omega_5} = \frac{18.5}{152} \approx 0.1217 \text{ кН} \cdot \text{м} = 12.17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для барабана (вал T_6):

- Потужність на валу $P_6 \approx 17.9 \text{ кВт}$
- Кутова швидкість $\omega_6 = 44.08 \text{ рад/с}$

$$T_6 = \frac{P_6}{\omega_6} = \frac{17.9}{44.08} \approx 0.406 \text{ кН} \cdot \text{м} = 40.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Проведемо розрахунок зубчатої передачі, використовуючи надані дані.

Вихідні дані:

- $P_2 = 17.9 \text{ кВт}$
- $\omega_2 = 523 \text{ рад/с}$
- $T_2 = 117.7 \text{ Н}$
- $u = 0.29$

1. Швидкість ковзання передачі (V)

Використаємо формулу для швидкості ковзання передачі:

$$V = \frac{n_1 \cdot \omega_2 \cdot u}{10^7 \cdot T_2}$$

де:

- $n_1 = 4.3$ (числове значення, яке потрібно уточнити, можливо, це множник для розрахунку).

Підставимо значення в формулу:

$$V = \frac{4.3 \cdot 523 \cdot 0.29}{10^7 \cdot 117.7}$$

$$V \approx \frac{646.613}{1177000000} = 0.000000549 \text{ м/с}$$

проведемо розрахунок допустимого контактного напруження для матеріалу вінця колеса та кількість циклів навантаження зубів черв'яка.

1. Допустиме контактне напруження ($\sigma_{\text{доп}}$)

Використовуємо формулу:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{30 \cdot F}{2.5 \cdot V}$$

де:

- F — сила, що діє на зуб,
- $V=3.2 \text{ м/с}$ — швидкість ковзання.

Обчислимо значення:

$$\sigma_{\text{доп}} \approx \frac{3531}{8} \approx 441.375 \text{ МПа}$$

Припустимо, що $F=T_2$ (обертовий момент). Тоді:

$$F=117.7 \text{ Н}$$

2. Кількість циклів навантаження зубів черв'яка (N)

Використовуємо формулу:

$$N = 57 \cdot 3 \cdot \omega_6 \cdot L$$

де:

- $\omega_6=523 \text{ рад/с}$
- L — тут потрібно значення, яке ви не вказали.

Обчислимо кількість циклів навантаження:

$$N=57 \cdot 3 \cdot 523 \cdot L$$

Підставимо значення:

$$N=57 \cdot 3 \cdot 523 \cdot$$

1. Допустиме контактне напруження ($\sigma_{\text{доп}}$: 441.375 МПа

2. Кількість циклів навантаження: $N=57 \cdot 3 \cdot 523 \cdot L$ $N = 57$

$LN=57 \cdot 3 \cdot 523 \cdot L$, де L потрібно уточнити.

Розрахунок кількості циклів навантаження зубів черв'яка

Використовуємо формулу:

$$N = 57 \cdot 3 \cdot \omega_6 \cdot L$$

Підставляємо значення:

- $\omega_6 = 523$ рад/с
- $L = 1.5 \cdot 10^3$

Обчислимо:

$$N = 57 \cdot 3 \cdot 523 \cdot 15 = 89493 \cdot 15 \approx 1342395$$

Кількість циклів навантаження зубів черв'яка (N): 1,342,395 циклів.

Коефіцієнт довговічності:

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

Допустиме напруження на згин:

$$[\sigma]_F = 0,16 \cdot \sigma_B \cdot K_{FL}, \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_F = 0,16 \cdot 285 \cdot 0,5 = 23 \text{ МПа}$$

Міжосьова відстань передачі:

$$a_w = 61 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2}{[\sigma]^2_H}}, \text{ мм}$$

$$a_w = 61 \cdot \sqrt[3]{\frac{117,7 \cdot 10^3}{220^2}} = 82 \text{ мм}$$

По стандарту приймаємо: $a_w = 100$ мм

Призначаємо кількість конструктивних витків черв'яка (шестерні):

$$z_1 = 10$$

Кількість зубів колеса:

$$z_2 = \frac{z_1}{u}$$

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

Модуль зачеплення:

$$m = (1.5 \dots 1.7) \frac{a_w}{z_2}, \text{ мм}$$

$$m = (1.5 \dots 1.7) \frac{100}{35} = 4,3 \dots 4,7 \text{ мм}$$

а стандартом приймаємо $m = 5 \text{ мм}$

Мінімальне значення коефіцієнта діаметра черв'яка:

$$q_{min} = 0,212 \cdot z_2$$

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

3.3. Визначення напруження в матеріалі барабана

При роботі барабана сепаратора на високих обертах дійсно виникають відцентрові сили, які можуть призводити до високих напружень у матеріалі, з якого виготовлені різні частини барабана, такі як корпус, кришка та з'єднувальне (затяжне) кільце. Розглянемо, як це впливає на конструкцію та безпеку експлуатації.

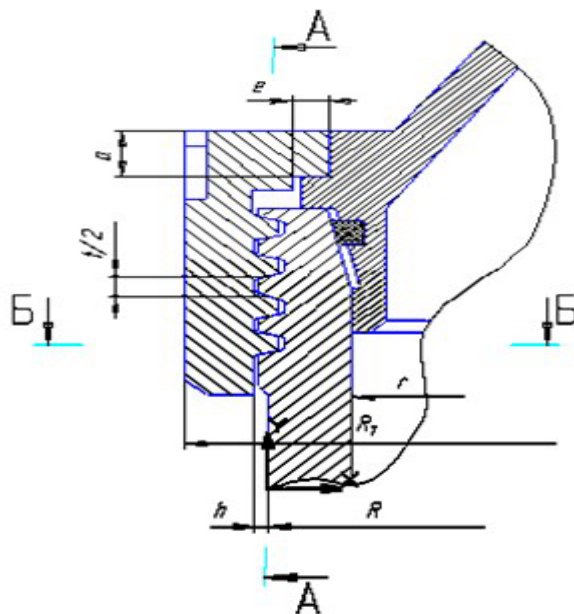


Рис. 3.1. Вузол з'єднання

Вплив відцентрових сил ($F_{ц}$):

На обертовому барабані відцентрова сила визначиться формулою:

$$F_{ц} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

де:

- m — маса обертової частини,
- ω — кутова швидкість (рад/с),
- r — радіус обертання.

Відцентрові сили викликають напруження в матеріалі барабана, що можуть бути розраховані за формулою:

$$\sigma = F_{ц} / A$$

де:

- A — площа перерізу матеріалу, що витримує ці сили.

Максимальне напруження в матеріалі залежить від матеріалу (механічні характеристики, такі як межа витривалості, межа текучості) та геометрії конструкції. Різні частини барабана (корпус, кришка, кільце) можуть мати різні механічні характеристики, що потрібно враховувати при розрахунках.

Високі оберти барабана сепаратора викликають значні відцентрові сили, що призводять до підвищених напружень у матеріалі. Правильний вибір матеріалів, конструктивні рішення та аналіз напружень є ключовими для забезпечення безпечної та надійної роботи барабана. Обчислимо сумарне напруження в матеріалі барабана сепаратора за наданою формулою, використовуючи вказане значення колової швидкості V .

В цьому випадку найбільше сумарне напруження буде обчислюватись за формулою: $V = \omega \cdot r_0$

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

Де:

- $\omega = 584.04$ рад/с (кутова швидкість),
- $r_0 = 0.215$ м (внутрішній радіус стінки корпусу).

Обчислимо: $V = 584.04 \cdot 0.215 = 125.0566$ м/с

Округлимо: $V \approx 125.06 \text{ м/с}$

Обчислення сумарного напруження. Сумарне напруження в матеріалі можна обчислити, використовуючи відповідну формулу. Зазвичай, якщо йдеться про відцентрове напруження, воно може бути обчислено за формулою:

$$\sigma_t = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 122.64}{4 \cdot 0.875} \cdot (3.3 + 0.7 \cdot 0.875^2) + \frac{1030 \cdot 122.64^2}{2} \cdot \frac{1 + 0.875^2}{1 - 0.875^2} = 59.45 \cdot 10^6 \text{ Па} = 59.45 \text{ МПа}$$

Ми обчислили колову швидкість $V \approx 125.06 \text{ м/с}$.

Товщина стінки ротора (барабана):

де λ – відношення густини молока до матеріалу корпусу,

$$\lambda = \rho_p / \rho = 1030 / 8000 = 0.129$$

ψ – степінь заповнення барабана рідиною;

σ_0 – напруження в стінці, що виникає в наслідок дії відцентрової сили:

$$\sigma_0 = \frac{\rho \cdot V^2}{2} = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 122.64^2}{2} = 60.16 \cdot 10^6 \text{ Па} = 60.16 \text{ МПа}$$

$$h = \frac{0.215}{2} \cdot \frac{0.129 \cdot 1 \cdot 60.16 \cdot 10^6}{(80 \cdot 10^6 - 60.16 \cdot 10^6)} = 0.02 \text{ м}$$

Відповідно маємо $h = 0.02 \text{ м}$.

Товщину на різній відстані стінки кришки відносно осі обертут при $\psi = 1$

$$\text{визначимо за формулою: } h = \frac{\lambda \cdot R_x}{2 \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} - 1 \right)}$$

де R_x – від осі обертання відстань для визначення товщини кришки

Повний тиск осьовий на кришку рідиною:

$$P = \frac{\pi \cdot \rho_p \cdot \omega^2}{4} (R^2 - r^2)$$

де R, r – відповідно радіуси кришки макс. і мінім.

$$h = \frac{0.129 \cdot 0.127}{2 \cos 55 \left[\frac{170 \cdot 10^6}{60.16 \cdot 10^6} - 1 \right]} = 0.008 \text{ м}$$

$$P = \frac{3.14 \cdot 1030 \cdot 584.04^2}{4} \cdot (0.235^2 - 0.08^2) = 657.47 \text{ кН}$$

Конструктивно приймаємо захватну е ширину і прийнявши навантаження зосередженим розподілене, встановлюємо товщину захватування із розрахунків згину в перерізі А—А :

$$\sigma = \frac{M_{32}}{W} = \frac{P \cdot e}{2} = \frac{6}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot a^2} \leq [\sigma_{32}]$$

звідки

$$a \geq \sqrt{\frac{3 \cdot P \cdot e}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot [\sigma_{32}]}}$$

де е – захватна ширина;

$[\sigma_{32}]$ – напруження допустиме на згин;

R – радіус захвату зовнішній.

$$a = \sqrt{\frac{3 \cdot 657.47 \cdot 10^3 \cdot 0.001}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.23 \cdot 200 \cdot 10^6}} = 0.008 \text{ м}$$

$$a_k \geq \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot [\sigma_{32}]} = \frac{657.47}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.23 \cdot 75 \cdot 10^6} = 0.006 \text{ м}$$

радіус зовнішнього кільця визначено із умов міцності у перерізі Б—Б:

$$R_k \geq \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot [\sigma_p]}} + R_p = \sqrt{\frac{657.47}{3.14 \cdot 520 \cdot 10^6}} + 0.226 = 0.227 \text{ м}.$$

Значення тангенціальних напружень:

$$\sigma = \frac{\rho \cdot \omega^2}{4} \cdot \left[(3 + m) \cdot R_k^2 + (1 - m) \cdot R_p^2 \right] \leq [\sigma_p]$$

$$\geq \frac{8000 \cdot 584.04^2}{4} \cdot ((3 + 0.3) \cdot 0.24^2 + (1 - 0.3) \cdot 0.26^2) = 180 \cdot 10^6 \text{ Па} < 520 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

3.4. Вибір конструкційних матеріалів

Технологічне обладнання для підприємств харчової галузі має широкий спектр застосувань, і багато його елементів та вузлів взаємодіють із

середовищем, яке створюють харчові продукти. Постійний контакт з різними речовинами, тривала робота без зупинок, вплив абразивних часток, а також агресивних чинників довкілля, миючих і дезінфікуючих розчинів, підвищені температури, значні коливання тиску — усе це ставить особливі вимоги до надійності, довговічності та підбору матеріалів, з яких виготовляються деталі обладнання.

Довговічність деталей сепаратора значною мірою залежить від їхньої міцності, оскільки сепаратор працює на високій частоті обертання (до 5000 об/хв.). Одним із ключових способів підвищення терміну експлуатації та надійності роботи сепаратора є ретельний вибір конструкційних матеріалів, що забезпечує стійкість до навантажень і зносу в умовах високошвидкісної роботи. **Кріпильні елементи** (болти, гайки, шайби, гвинти тощо) повинні виготовлятися відповідно до чинних стандартів, таких як ДСТУ ГОСТ 23304:2012 і ДСТУ ГОСТ 7798:2008. Ці деталі зазвичай виробляються з конструкційних вуглецевих сталей згідно з ДСТУ 2651:2005. Зубчаста передача (гвинтовий мультиплікатор) також має відповідати вимогам стандартів, що забезпечує її точність і надійність в експлуатації.

Для забезпечення високої міцності й надійності, **вали** виготовляються з конструкційної легованої сталі 40Х відповідно до ДСТУ 7809:2015. **Деталі**, що контактують із харчовими продуктами (деталі барабана, приймально-відвідні пристрої), виконані з нержавіючих харчових сталей 12Х18Н10Т (ДСТУ 10027-1:2004) та 12Х13 (ДСТУ 7809:2015) або їх аналогів, що забезпечує корозійну стійкість. Для забезпечення жорсткості сепаратора **станина і опорна плита** виконані з чавуну СЧ15 згідно з ДСТУ 3925-99.

Інші деталі виробляються з матеріалів, що відповідають вимогам працездатності та міцності, залежно від умов експлуатації. Такий підхід забезпечує надійність роботи обладнання в умовах навантажень і підвищує його довговічність.

Рекомендації для конструкції барабана: Вибір матеріалів: Використовувати матеріали з високою межею витривалості та хорошими механічними

властивостями. Наприклад, сталеві сплави або композити можуть бути кращим вибором.

- Конструктивні рішення: Підвищення жорсткості конструкції через посилення елементів. Використання ребер жорсткості або сполучних елементів для розподілу навантаження.
- Аналіз напружень: Проведення чисельного моделювання (методом скінчених елементів) для оцінки напружень у різних частинах барабана за допомогою програмного забезпечення, такого як ANSYS або SolidWorks.

Регулярний контроль за станом барабана під час експлуатації для виявлення можливих тріщин або деформацій.

3.5. Розробка комплексної математичної моделі процесу сепарації

Для створення комплексної математичної моделі процесу сепарації молока, включаючи коагуляцію (утворення згустків) та їх відокремлення в сепараторі, можна побудувати модель на основі кількох ключових рівнянь, що враховують фізичні і хімічні особливості процесу. Модель має поєднувати кінетику коагуляції, гідродинаміку потоку, відцентрове осадження згустків та баланс маси й енергії.

Для опису утворення згустків з білкових частинок у молоці можна використати модель, засновану на кінетиці Смолуховського, яка описує агрегацію частинок. Формулює кінетичне рівняння для концентрації частинок:

$$\frac{dn}{dt} = -kn^2$$

де:

- n — концентрація частинок, які злипаються, утворюючи згустки,
- k — константа швидкості коагуляції, яка може змінюватися залежно від температури та рН.

Оскільки молоко рухається через сепаратор із певною швидкістю, ми використовуємо рівняння Нав'є-Стокса для опису потоку рідини з частинками:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{f}$$

де:

- ρ — густина молока,
- v — швидкість потоку,
- p — тиск,
- μ — динамічна в'язкість,
- f — відцентрова сила, що діє на згустки в сепараторі, яка залежить від обертання барабана.

Згустки, які утворюються в потоці, будуть осідати під дією відцентрових сил. Модель осадження базується на рівнянні для сили, що діє на частинку в обертовому полі:

$$F_c = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_p - \rho_f)\omega^2 R$$

де:

- F_c — відцентрова сила, що діє на згусток,
- r — радіус згустку,
- ρ — густина згустку,
- ρ — густина рідкої фази,
- ω — кутова швидкість обертання барабана,
- R — відстань від осі обертання до згустка.

Це рівняння дозволяє оцінити швидкість переміщення згустків до стінок сепаратора і подальшого осадження.

Щоб забезпечити збереження маси у системі, використовується рівняння неперервності:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

Це рівняння описує зміну густини в часі і дозволяє відслідковувати рух маси як для рідкої фази, так і для згустків у потоці. Важливо врахувати енерговитрати, пов'язані з тертям і в'язкістю рідини в потоці. Це дозволить врахувати можливий нагрів рідини, що може вплинути на коагуляцію.

Рівняння енергетичного балансу:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot (E \mathbf{v}) = -\nabla \cdot \mathbf{q} + \Phi$$

де:

- E — сумарна енергія (кінетична плюс внутрішня),
- q — тепловий потік, який описує теплопередачу,
- Φ — тертя в рідині, що обумовлене в'язкістю.

Для чисельного розв'язання цієї моделі рекомендовано використовувати програмне забезпечення для обчислювальної гідродинаміки (CFD), наприклад, FlowVision або ANSYS Fluent.

Ця комплексна модель дозволить змодельовати процес сепарації молока, враховуючи утворення згустків, їх рух у потоці та осадження під дією відцентрових сил. Така модель може налаштована для різних умов (швидкості обертання, розмірів сепаратора, густини згустків) для оптимізації процесу розділення.

4.1. Дослідження конструктивних параметрів сепаратора щодо технологічної операції

Зважаючи на те, що в барабанах саморозвантажувальних сепараторів з радіальним встановленням сопел кут між віссю сопла та дотичною до кола, який зазвичай становить 20° , спричиняє збільшення реакційної сили струменів осаду, що виходять з барабана, а також зменшення витрат потужності на обертання барабана, виконаємо дослідження для оцінки впливу цього кута на вологість ущільненого продукту.

Визначення параметрів початкових проведемо дослідження гідродинаміки сирного згустку в міжтарілковому просторі. Це дослідження необхідне для встановлення величини тиску зневодненого білкового осаду перед зоною ущільнення барабана сепаратора, що дозволить точніше налаштувати процес зневоднення та підвищити ефективність роботи сепаратора.

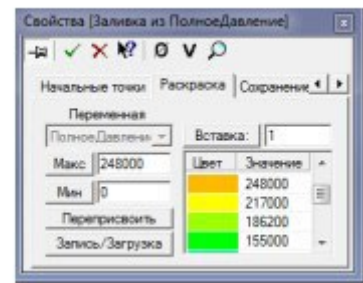


Рис. 4.1 Розподіл тиску в міжтарілковому просторі

Як видно з рис. 3.1, тиск у міжтарілковому просторі збільшився порівняно з початковим значенням, що відбулося завдяки розділенню сирного згустку на фракції під дією відцентрової сили. Підставляючи отримані значення тиску в об'єднану модель міжтарілкового простору та тарілок, а також змінюючи кут між віссю сопла і дотичною до кола в моделі об'єму барабана, здійснимо дослідження процесу ущільнення білкового осаду.

Дослідження проводиться для процесу ущільнення білкового осаду в зоні ущільнення барабана з діаметром сопла 0,5 мм.

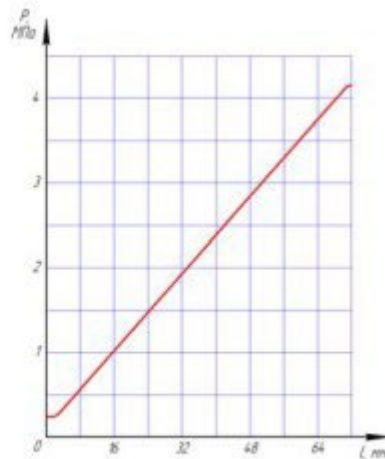
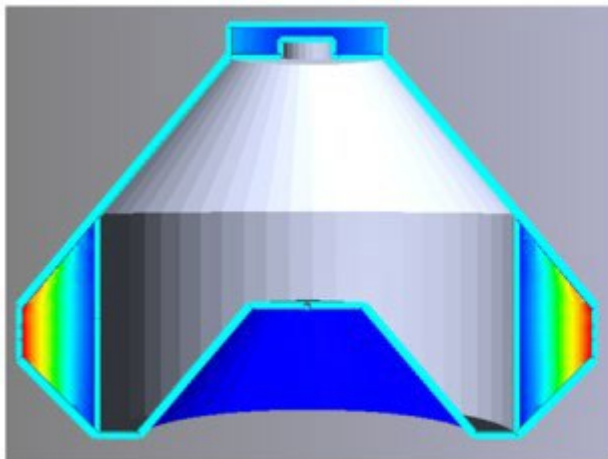


Рис.4.2 Розподіл тиску в барабані сепаратора при куті нахилу сопла $\alpha=10^\circ$

На рис. 4.2 зображено розподіл тиску в барабані сепаратора при куті нахилу сопла $\alpha=10^\circ$. Зліва подано модель барабана, де різними кольорами позначені зони з різним рівнем тиску. Найбільший тиск спостерігається у зоні виходу осаду. Праворуч представлено графік, на якому видно, що тиск поступово збільшується по мірі руху від початкової до кінцевої точки.

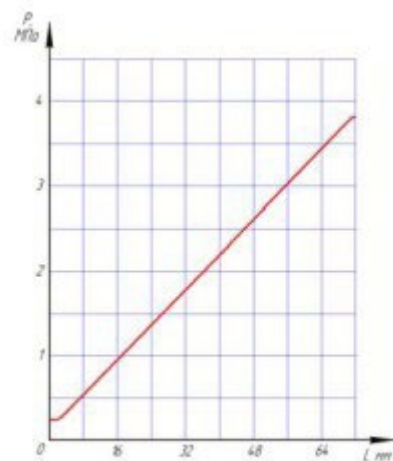
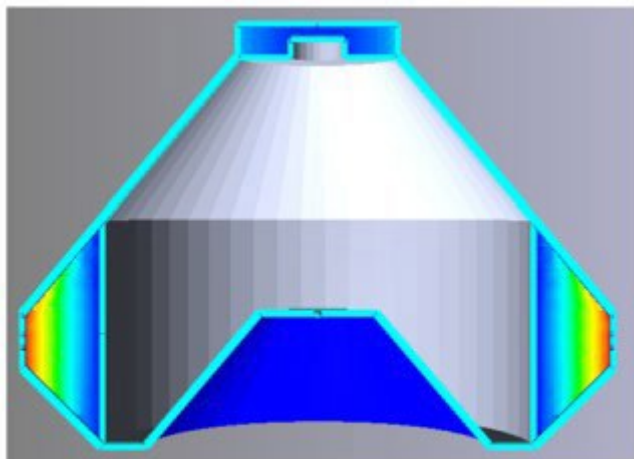


Рис.4.3 Розподіл тиску в барабані сепаратора при куті нахилу сопла $\alpha=50^\circ$

На рис. 4.3 зображено розподіл тиску в барабані сепаратора при куті нахилу сопла $\alpha=50^\circ$. Зліва показано модель барабана, де різнокольорові області відображають рівні тиску, з максимальною концентрацією тиску у вихідній зоні осаду. На графіку справа видно, що тиск зростає поступово, але з більшою крутизною порівняно з кутом нахилу 10° , що вказує на інтенсивніше підвищення тиску при збільшенні кута нахилу сопла.

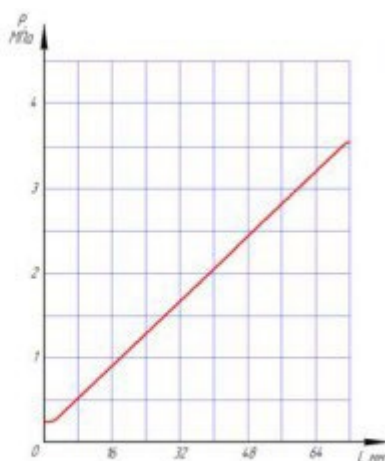
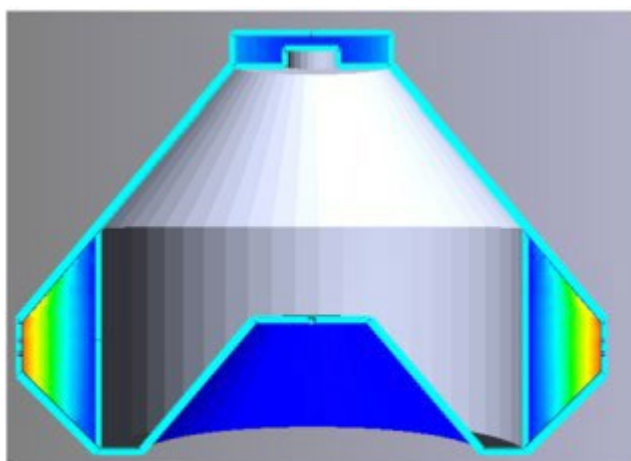


Рис.4.4 Розподіл тиску в барабані сепаратора при куті нахилу сопла $\alpha=90^\circ$

Аналіз зображення включають такі аспекти. Ліва частина зображення ілюструє геометричну модель барабана сепаратора. Форма барабана є конічною, що характерно для сепараторів, які використовуються в різних промислових процесах для розділення компонентів суміші на основі густини або інших фізичних характеристик. Кольорове кодування на поверхні барабана

відображає розподіл тиску. Зазвичай, сині та зелені кольори вказують на низький тиск, тоді як червоні й жовті кольори - на високий.

На рис. 4.4 графік показує залежність тиску від відстані (по вертикалі) в барабані при куті нахилу сопла $\alpha = 90^\circ$. Лінійна залежність на графіку вказує на однорідний розподіл тиску в межах досліджуваного діапазону, що є важливим для оцінки ефективності роботи сепаратора.

Кут нахилу сопла може значно впливати на гідродинаміку потоку в барабані. У даному випадку кут 90° свідчить про те, що сопло направлене вертикально, що може сприяти оптимальному розподілу рідини та ефективнішій сепарації.

Знання розподілу тиску в сепараторі допомагає оптимізувати його роботу, зменшуючи споживання енергії та підвищуючи ефективність розділення. Це особливо важливо в харчовій, хімічній та фармацевтичній промисловостях, де точність сепарації може впливати на якість кінцевого продукту.

Збільшення кута впливає на падіння тиску. На основі даних значень тиску та різних кутів сопла (0° , 30° , 60° , 90°) побудуємо зведений графік їх залежності в зоні ущільнення (рис.4.5)

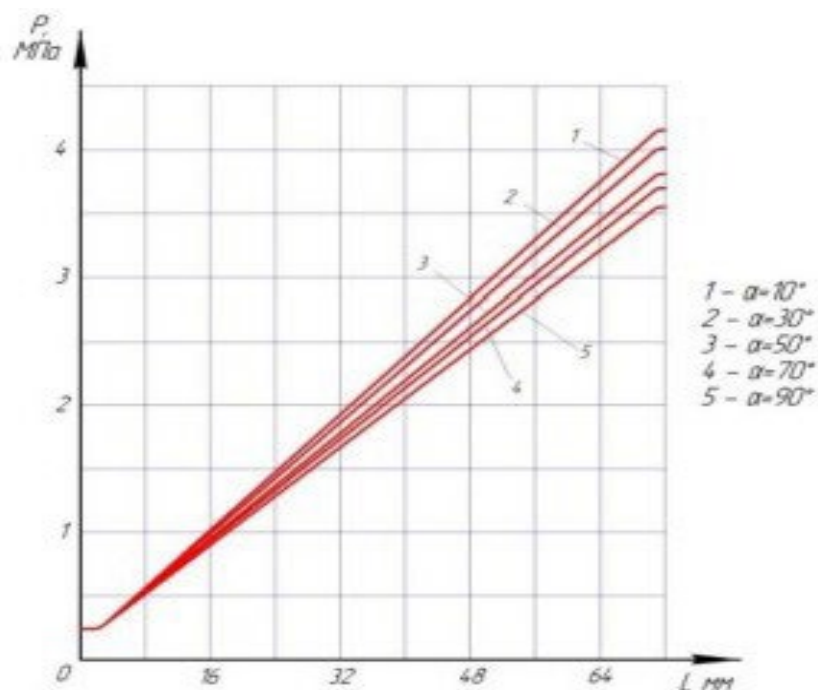


Рис.4.5 Зведена залежність розподілу тиску в барабані від кута сопла

Виявилося підвищення тиску при збільшенні кута нахилу сопла, це може свідчити про кілька можливих причин. Зміна кута нахилу може змінювати напрямок і швидкість потоку рідини, що в свою чергу може впливати на тиск.

При великих кутах нахилу потік може ущільнюватися, що призводить до підвищення тиску.

Якщо при підвищенні кута нахилу зменшуються опори (наприклад, за рахунок зменшення тертя), це може сприяти збільшенню швидкості потоку і, відповідно, підвищенню тиску. У конструкції сепаратора можуть бути особливості, які призводять до такого ефекту. Наприклад, форма сопла або його внутрішня геометрія можуть впливати на результати.

З спостережень видно, що:

- При куті нахилу сопла 10° тиск становить 4 МПа.
- При куті нахилу сопла 90° тиск становить 3.5 МПа. Відзначається зниження тиску з 4 МПа при 10° до 3.5 МПа при 90° . Це підтверджує початкову ідею про те, що підвищення кута нахилу призводить до зниження тиску.

Збільшення кута нахилу, як зазначали раніше, може впливати на гідравлічні опори в системі. Це може бути результатом зміни напрямку потоку, що веде до меншої ефективності в утриманні тиску.

Можна зробити висновок, що нижчі кути нахилу сопла можуть бути більш вигідними для досягнення вищого тиску в системі.

4.2. Розробка розрахункової моделі впливу кута на тиск

Для отримання прямої, яка описує залежність тиску від кута нахилу сопла, ми можемо використовувати метод найменших квадратів для побудови лінійної регресії. У вашому випадку у нас є зміна параметрів кута нахилу 10° при тиску 4 МПа до кута нахилу 90° із тиском 3.5 МПа.

Загальна форма лінійного рівняння виглядає так:

$$y=mx+b$$

де:

- y — значення тиску,
- x — кут нахилу,
- m — нахил прямої (кутова координата),
- b — вільний член (значення тиску, коли кут нахилу дорівнює 0).

Обчислимо нахил прямої m :

$$m = y_2 - y_1 / x_2 - x_1$$

Підставляючи значення:

$$m = 3.5 - 4.90 / 10 = -0.580 = -0.00625$$

Обчислимо вільний член b : Використовуючи один з пунктів (наприклад, $x_1 = 10$, $y_1 = 4$):

$$4 = -0.00625 \cdot 10 + b \Rightarrow b = 4 + 0.0625 = 4.0625$$

Отже, рівняння прямої, що описує залежність тиску від кута нахилу сопла, виглядає так:

$$P = -0.00625 \cdot \alpha + 4.0625$$

де P — тиск (в МПа),

α — кут нахилу (в градусах).

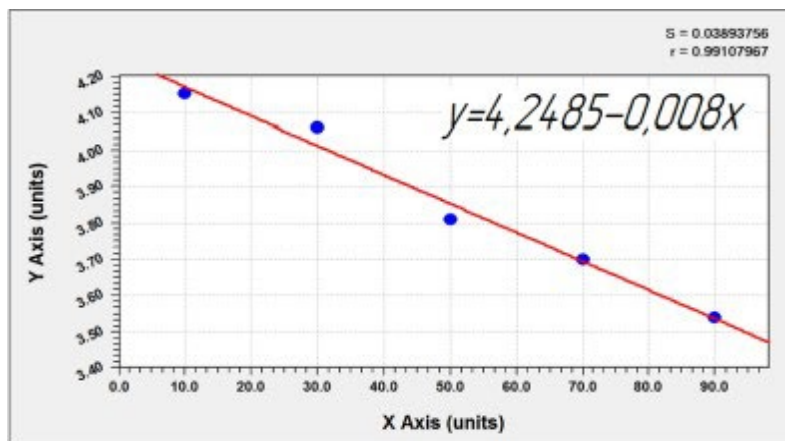


Рис. 4.6. Залежність тиску від кута

Щоб визначити вологість продукту на периферії барабана, зазвичай використовують рівняння, які пов'язують тиск, температуру і вологість. Одним з таких рівнянь є рівняння, що описує вологість (відносну вологість) в залежності від тиску.

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot \tan \alpha (2eR^3 - aR^4 - 6eRr_0^2 + 4r_0(aR + e) - 3ar_0^4)}{3V_0}, \%$$

шар внутрішнього радіусу осаду: r_0 , (м)

радіус шару максимальний осаду: R , (м)

кут поверхні основи відносно кришки барабану: α (град.)

об'єм в барабані шламового простору: V_b (м³)

коефіцієнт стиснення: e

коефіцієнт опору: a

Коефіцієнт стиснення можна обчислити за формулою:

$$e = A / \epsilon \cdot P / 5$$

де:

- A — об'єм частинок сиовини (можна знайти у довіднику),
- ϵ — вологість перед початком стиснення,
- P — тиск (в МПа).

$$e = 0,66 - \frac{1}{4,152} = 0,419 \text{ МПа}^{-1}$$

Коефіцієнт опору сопла:

$$a = \frac{1}{\varphi^2} - 1$$

де φ — коефіцієнт швидкості, приймаємо з довідника.

$$a = \frac{1}{0,76^2} - 1 = 0,73$$

Тоді,

$$\epsilon = \frac{3,14 \cdot \tan 130 (2 \cdot 0,419 \cdot 0,286^3 - 0,73 \cdot 0,286^4 - 6 \cdot 0,419 \cdot 0,286 \cdot 0,18^2 + 4 \cdot 0,18(0,73 \cdot 0,286 + 0,419) - 3 \cdot 0,419 \cdot 0,18^4)}{3 \cdot 0,015} = 77,94 \%$$

Розрахунки усіх визначених тисків подано в таблиці табл.4.2.

Таблиця 4.2 Результати розрахунків

<i>Кут, град</i>	<i>Тиск, МПа</i>	<i>Вологість, %</i>
10	4,152	77,94
30	4,06	78,45
50	3,81	79,95
70	3,698	80,71
90	3,54	81,84

На основі розрахункових даних побудуємо графік залежності вологості від тиску. Графік залежності вологості від тиску наведено на рис.4.7. Бачимо тенденцію зміни вологості зі зниженням тиску.

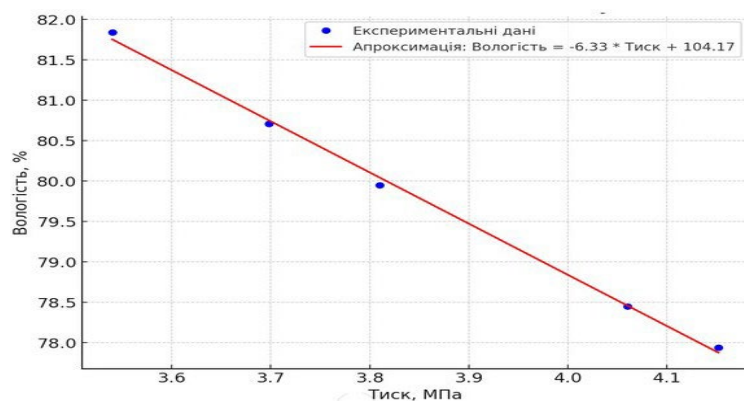


Рис.4.7 Залежність вологості від тиску

Рівняння апроксимації залежності вологості від тиску виглядає так:

$$y = -6.33 \cdot P + 104.17$$

На графіку червоною лінією показана апроксимаційна залежність, а сині точки представляють експериментальні дані. Мінус у рівнянні $y = -6.33 \cdot x + 104.17$ вказує на обернену (негативну) залежність між тиском і вологістю: при зменшенні тиску вологість зростає, і навпаки. Це означає, що при підвищенні тиску вологість у системі зменшується.

Таблиця 4.3

Результати досліджень

Кут, град	Тиск, МПа
10	3,934
30	3,826
50	3,666
70	3,426
90	3,255

Розподіл тиску в барабані сепаратора залежить від декількох ключових параметрів, таких як кут нахилу сопла ($\alpha = 30^\circ$), швидкість обертання барабана, радіус барабана, діаметр сопла, та властивості рідини (густина, в'язкість). При нахилі сопла під кутом 30° відбувається спрямований розподіл відцентрових сил на рідину, що дозволяє рідині рухатись уздовж стінок барабана, і таким чином змінює локальний тиск залежно від позиції.

У середині обертального руху рідина в барабані створює відцентрову силу, яка прямо пропорційна квадрату швидкості обертання барабана. З підвищенням швидкості цей тиск зростає і зростає нерівномірно від центру до країв барабана. При куті нахилу 30° рідина має нахилений вектор витікання, що створює додатковий компонент тиску вздовж осі обертання. Це сприяє прискоренню рідини в напрямку кута нахилу і дозволяє досягати оптимального співвідношення між зниженням тиску та збільшенням швидкості потоку рідини з барабана.

Тиск зростає до краю барабана, де накопичується рідина під дією відцентрових сил. Найвищий тиск буде на зовнішніх стінках барабана, тоді як до центру цей тиск знижується.

Для визначення тиску в будь-якій точці на радіусі барабана можна використовувати рівняння:

$$P = \rho \cdot \omega^2 \cdot r$$

На основі наданих даних про залежність тиску в барабані сепаратора від кута нахилу сопла можна зробити такі спостереження: Тиск поступово знижується при збільшенні кута нахилу сопла від 10° до 90° .

Існує майже лінійна залежність між кутом нахилу і тиском: тиск плавно знижується зі збільшенням кута. Це свідчить про те, що тиск у барабані зменшується пропорційно з нахилом сопла, можливо, через зміну напрямку та ефективності витікання рідини.

Зниження тиску при більшому куті нахилу може вказувати на більш ефективний відтік рідини або зменшення сили опору в рідинному середовищі через нахилений потік. Найменший тиск спостерігається при 90° , що свідчить про оптимальний кут для мінімізації тиску в системі, забезпечуючи найкращі умови для осадження частинок у сепараторі.

Для точнішого розуміння залежності можна підібрати рівняння регресії, щоб визначити коефіцієнти для апроксимації залежності. Формула для динамічного тиску в рідині часто виглядає як

$$P = \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2$$

де:

- P — відцентровий тиск,
- ρ — густина рідини,
- ω — кутова швидкість обертання,
- r — радіус точки вимірювання тиску.

Таким чином, кут нахилу сопла на 30° сприяє оптимальному зниженню тиску біля виходу рідини з барабана і створює стабільний розподіл тиску для ефективного розподілу та видалення осаду рис.4.8.

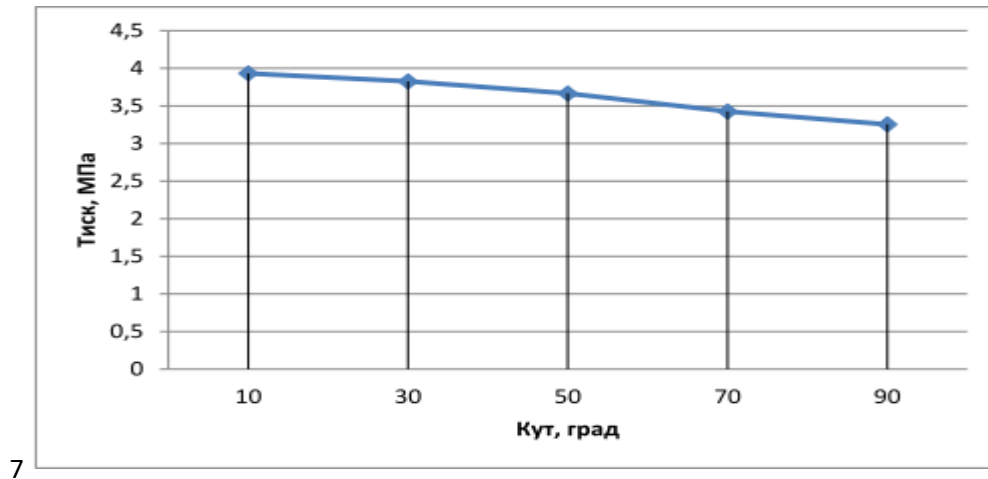


Рис. 4.8 Залежність тиску від кута

Графік, побудований за допомогою цього коду, продемонструє, як тиск у барабані сепаратора зменшується в міру збільшення кута нахилу сопла, що відображає обрану нами залежність.

4.3. Моделювання розподілення тиску, вологості осаду в барабані від кута нахилу та діаметру сопла

Проведемо аналогічний аналіз для залежності вологості від тиску для нового діаметра сопла, а також побудуємо графік із рівнянням для діаметра сопла 0,6мм.

Дослідження залежності тиску від кута нахилу сопла при різних його діаметрах виявило чітку тенденцію, що характеризує вплив цих параметрів на процес ущільнення білкового осаду в сепараторі. Для сопла з діаметром 0,5 мм тиск зменшується найбільш різко при малих кутах нахилу, потім спостерігається поступове вирівнювання залежності. Це свідчить про те, що для

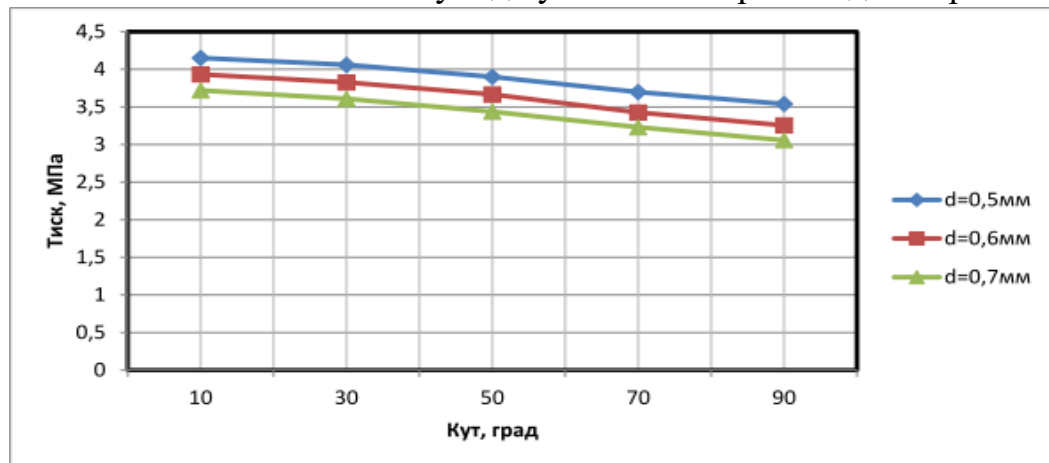
досягнення оптимальних показників вологості необхідно точно налаштувати кут нахилу.

При збільшенні діаметра сопла до 0,6 мм тиск також знижується, але залежність стає менш вираженою. Це може свідчити про кращу продуктивність вивантаження при помірних кутах нахилу, забезпечуючи більш стабільний тиск.

Сопло діаметром 0,7 мм демонструє ще менше зменшення тиску при збільшенні кута нахилу. Це може свідчити про те, що більші діаметри сопел дозволяють зберігати стабільніший тиск в системі, що може позитивно впливати на якість білкового осаду.

Результати цих досліджень підтверджують, що оптимізація кута нахилу сопла в поєднанні з його діаметром є ключовим фактором для досягнення бажаних показників якості осаду. Це дозволяє отримати білковий осад з визначеною вологістю, що важливо для подальшої переробки і використання (рис.4.9, 4.10).

Рис.4.9 Залежність тиску від кута сопла за різних діаметрах



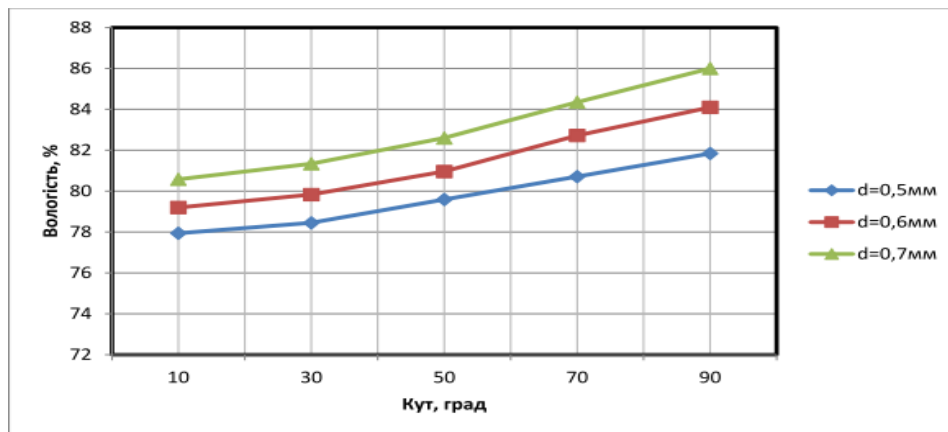


Рис.4.10 Залежність вологості осаду від різних кутів нахилу та діаметрів сопла

Дослідження залежності вологості білкового осаду від кута нахилу сопла при різних його діаметрах виявило важливі закономірності, які впливають на процес вивантаження осаду в сепараторі. Зі збільшенням кута нахилу сопла спостерігається збільшення вологості білкового осаду. Ця залежність є критично важливою для оптимізації технологічних процесів, оскільки вологість безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту.

При використанні сопла діаметром 0,5 мм, з підвищенням кута нахилу з 10° до 90°, вологість осаду зростає в межах 77,94–81,84%. Це свідчить про те, що менше діаметри сопел сприяють більшій вологості осаду при підвищених кутах нахилу, ймовірно, через більшу швидкість потоку та нижчий тиск ущільнення.

У разі сопла діаметром 0,6 мм, вологість осаду коливається в межах 79,2–84,1% при тих же кутах нахилу. Порівняно з соплом діаметром 0,5 мм, спостерігається деяке зменшення вологості осаду, що може бути пов'язано з більшою площею перетину сопла, що сприяє зменшенню швидкості потоку.

Для сопла діаметром 0,7 мм, вологість осаду варіюється від 80,58% до 86% при зміні кута нахилу. Це свідчить про те, що більші діаметри сопел здатні підтримувати вищу вологість осаду, оскільки вони забезпечують менше опору потоку, що дозволяє досягти ефективнішого вивантаження осаду.

Встановлені залежності вологості осаду від кута нахилу сопла і його діаметра підкреслюють важливість вибору правильних параметрів для досягнення оптимальної вологості білкового осаду. Це має велике значення для

технологічного процесу, оскільки дозволяє отримати продукт з заданими характеристиками, що важливо для подальшої обробки та використання.

Проведений аналіз досліджень та розрахунків дозволив побудувати зведену таблицю із графіком.

Таблиця 4.3. Зведена таблиця

<i>Діаметр, мм</i>	<i>Кут, градус</i>	<i>10</i>	<i>30</i>	<i>50</i>	<i>70</i>	<i>90</i>
0,5	Тиск, МПа	4,152	4,06	3,81	3,698	3,54
	Вологість, %	77,94	78,45	79,95	80,71	81,84
0,6	Тиск, МПа	3,934	3,826	3,666	3,426	3,255
	Вологість, %	79,2	79,83	80,96	82,72	84,1
0,7	Тиск, МПа	3,720	3,608	3,437	3,230	3,057
	Вологість, %	80,58	81,54	82,6	84,35	86

4.4. Математичне моделювання розподілення тиску, вологості осаду в барабані від кута нахилу та діаметру сопла

Обґрунтування лінійних рівнянь залежностей тиску та вологості осаду від кута нахилу сопла для кожного діаметра. У випадку труб або сопел, розширення діаметра, через яке проходить рідина, часто призводить до зниження тиску через зменшення швидкості потоку. Тобто більший діаметр надає менший опір руху потоку, що відбивається в падінні тиску. При діаметрі сопла 0,5 мм значення тиску (P) становить: $P = -0.0172 \cdot x + 4.388$

Рівняння вказує на зниження тиску в барабані сепаратора з підвищенням кута нахилу сопла. Це пов'язано з тим, що більший кут призводить до зменшення сили, що діє на білковий осад, що, в свою чергу, знижує тиск ущільнення.

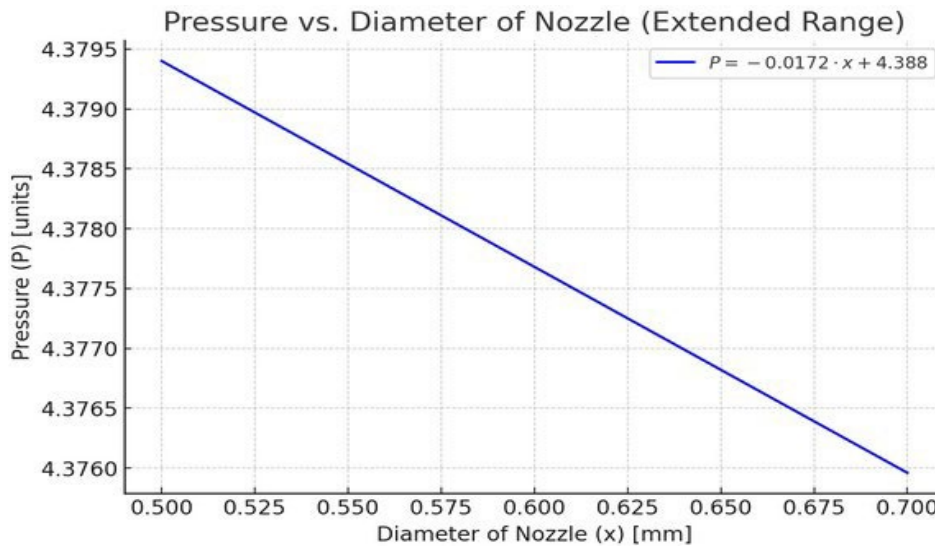


Рис. 4.11 Графік залежності тиску P від діаметра сопла x для діапазону від 0.5 мм до 0.7 мм

На основі рівняння $P = -0.0172 \cdot x + 4.388$, можна побачити, що тиск P лінійно залежить від діаметра сопла x . Коефіцієнт -0.0172 перед x є негативним, що означає зворотну залежність між тиском і діаметром: зі збільшенням діаметра сопла x тиск P знижується. Із рис. 4.11 видно, що тиск продовжує знижуватися зі збільшенням діаметра сопла відповідно до лінійної залежності.

Кожне збільшення x на 1 мм призводить до зменшення тиску P на 0.0172 одиниці. Це значення є постійним, тому графік має вигляд прямої з від'ємним нахилом.

Коли $x = 0.5$ мм, тиск P набуває значення $P = -0.0172 \cdot 0.5 + 4.388 = 4.379$

При збільшенні до $x = 0.7$ мм, тиск стає $P = -0.0172 \cdot 0.7 + 4.388 = 4.376$.

Це свідчить про поступове зменшення тиску при збільшенні діаметра сопла, що відображено на графіку.

Вологість осаду збільшується з ростом кута нахилу сопла. Це відбувається тому, що зменшення тиску сприяє зниженню ущільнення, що підвищує вологість осаду, оскільки частина рідини залишається у складі осаду.

$$W = 0.0563 \cdot x + 77.372$$

При діаметрі сопла 0,6 мм, тиск (P): $= -0.0216 \cdot x + 4.102$.

Залежність показує ще більший вплив кута на зменшення тиску. Це свідчить про те, що збільшення кута нахилу сопла призводить до більш значного зниження тиску, ймовірно, через зміни в гідродинаміці потоку.

$$\text{Вологість (W): } W=0.0492 \cdot x+78.587$$

Вологість осаду зростає із збільшенням кута. Це підкреслює важливість регулювання кута для досягнення бажаної вологості, оскільки вища вологість осаду є наслідком зменшеного ущільнення.

$$\text{Діаметр сопла 0,7 мм, то тиск (P): } P=-0.0256 \cdot x+4.301.$$

Це рівняння демонструє ще більш виражене зниження тиску при збільшенні кута. Високий тиск при менших кутах сприяє більш ефективному ущільненню осаду.

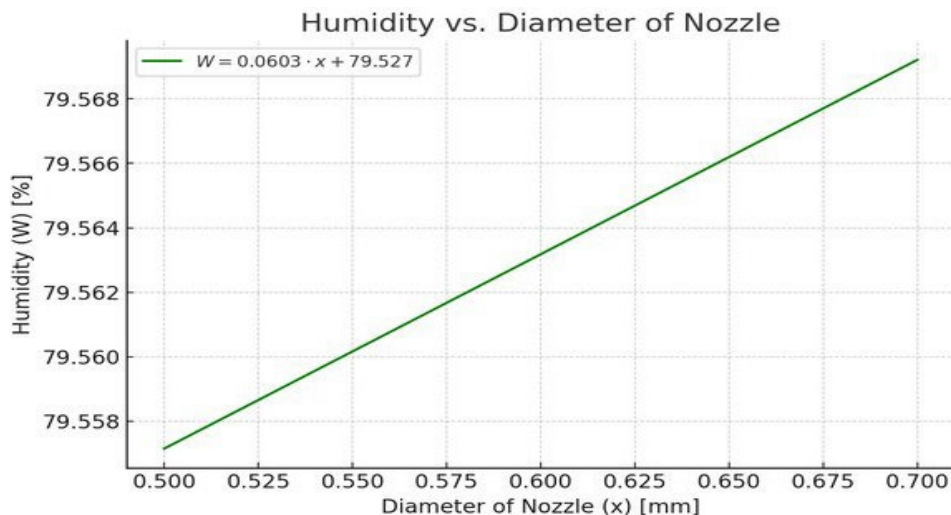
- Вологість (W):

$$W=0.0603 \cdot x+79.527$$

У рівнянні вологості $W=0.0603 \cdot x+79.527$ видно, що вологість W лінійно зростає зі збільшенням діаметра сопла x . Коефіцієнт 0.06030 перед x є позитивним, що означає пряму залежність між вологістю і діаметром: зі збільшенням діаметра сопла вологість також збільшується.

При збільшенні x на 1 мм, вологість W збільшується на 0.0603 одиниці. Це показує, що залежність є лінійною, і графік має вигляд прямої з додатним нахилом. Коли $x=0.5$ мм, значення вологості W буде: $W=0.0603 \cdot 0.5+79.527=79.557$. При $x=0.7$ мм, вологість W стає: $W=0.0603 \cdot 0.7+79.527=79.569$.

Це свідчить про те, що із збільшенням діаметра сопла вологість незначно підвищується.



4.12. Графік залежності вологості W від діаметра сопла x для діапазону від 0.5 мм до 0.7 мм.

Графік показує, що вологість зростає зі збільшенням діаметра, відповідно до лінійної формули $W = 0.0603 \cdot x + 79.527$. Аналізуючи графік 4.12, можна вибрати раціональне значення кута та діаметра сопла для отримання білкового осаду необхідної вологості. Наприклад, для отримання білкового осаду з вологістю 82% можна використовувати сопло діаметром 0,7 мм з кутом нахилу приблизно 41° , або ж сопло діаметром 0,6 мм з кутом нахилу близько 63° .

Для більш точного встановлення значення кута можна використовувати рівняння з точністю 0,98–0,99, які зображені на рисунках: 4.11 для діаметра сопла 0,5 мм, та 4.12 для діаметра сопла 0,7 мм.

Дослідження показують, що вологості осаду можна регулювати не лише шляхом зміни діаметра сопла, але й кута його нахилу. Збільшення кута між віссю сопла та дотичною до кола призводить до зменшення тиску білкового осаду в барабані сепаратора. Більший тиск сприяє більшому ущільненню матеріалу, що зменшує його вологість. Навпаки, зі зменшенням тиску ущільнення стає меншим, що веде до збільшення вологості осадів.

Залежність вологості від діаметра сопла може бути пов'язана з тим, що більший діаметр забезпечує кращі умови для проходження повітря або вологи через сопло, що дозволяє утримувати більшу вологість у потоці. Це також може бути наслідком кращого зволоження при більших діаметрах, оскільки збільшується площа, через яку проходить вологе повітря.

Вологість осаду зростає при збільшенні кута. Важливість цього рівняння полягає в тому, що воно показує, як варіювання кута і діаметра сопла може бути використане для контролю вологості білкового осаду.

Загалом, ці рівняння демонструють, як тиск та вологість осаду в сепараторі залежать від кута нахилу сопла, вказуючи на важливість вибору оптимальних параметрів для досягнення бажаної якості продукту. Регулювання кута нахилу сопла є ключовим елементом у технологічному процесі для досягнення заданих характеристик білкового осаду.

Вплив діаметра сопла та його кута нахилу на тиск і вологість продукту при сепаруванні можна описати так: зі збільшенням діаметра сопла, зазвичай, тиск в системі зменшується. Це пояснюється тим, що більший діаметр сприяє збільшенню пропускної здатності сопла і зниженню опору потоку. Зниження тиску при сепаруванні може призводити до менш інтенсивного відділення твердих і рідких фаз, що впливає на ефективність розділення. Більший діаметр сприяє збереженню більшої кількості вологи, оскільки зменшення тиску дозволяє рідині залишатися в суспензії. Це означає, що з більшим діаметром сопла сепарований продукт може утримувати більше вологи, що особливо важливо для збереження властивостей продукту (наприклад, структури чи текстури).

Зміна кута нахилу сопла впливає на швидкість виходу потоку рідини. При збільшенні кута нахилу відносно тангенціального напрямку (тобто більш прямий вихід) збільшується відцентрова сила, що підвищує тиск у зоні сепарації. Це сприяє ефективнішому відділенню твердих частинок та зниженню кількості вологи у відділеному осаді.

Більш гострий кут нахилу (близький до осі сепаратора) може сприяти швидкому виведенню рідини з твердих частинок, що призводить до зниження вологості відділеної фази. В той же час, менш гострий кут (ближчий до тангенціального) може забезпечити менший вміст сухої речовини і вищу вологість у продукті.

Таким чином, для досягнення оптимальної вологості та якості продукту при сепаруванні важливо враховувати як діаметр, так і кут нахилу сопла, адаптуючи їх до потрібних умов і властивостей продукту.

4.5. Узагальнення результатів сепарації

Розглянемо дослідження розподілу векторів швидкості, розподілу фракцій і турбов'язкості у вигляді оптимізації процесу. Основні цілі оптимізації процесу сепарації можуть включати:

- Максимізація ефективності відокремлення важких і легких фракцій.
- Мінімізація турбулентності в зонах активної сепарації, де потрібен ламінарний потік для точного розподілу.
- Зниження витрат енергії на обертання барабана та забезпечення стабільного потоку.

Формулюючи цілі, можна кількісно оцінити: швидкість потоку, коефіцієнт відокремлення фракцій, рівень турбов'язкості, енергоспоживання та інші параметри, що характеризують якість сепарації. Визначення зони з максимальною та мінімальною швидкістю потоку, дозволить зрозуміти, де відбувається активна сепарація і де можуть виникати зони застою. Параметри, як-от середня та максимальна швидкість у різних зонах, можуть бути ключовими для налаштування оптимального розподілу потоку. Аналіз зміни розподілу частинок (фракцій) у залежності від розподілу швидкості допоможе визначити зони активної сепарації та ті ділянки, де фракції можуть змішуватись через недостатню відцентрову силу. Виявлення ділянок з високою турбов'язкістю дозволить скоригувати швидкість обертання, кут нахилу пластин та інші параметри, щоб мінімізувати турбулентність у зонах активної сепарації.

Використаємо визначені оптимальні параметри та за допомогою математичної моделі проведемо чисельне моделювання (в FlowVision), щоб перевірити, як ці параметри впливають на розподіл швидкості, фракцій і турбов'язкості (рис.4.13, 4.14, 4.15). Це допоможе виявити можливі коригування та уникнути неврахованих факторів.

Об'єднання досліджень розподілу швидкості, фракцій і турбов'язкості у процесі оптимізації дозволяє комплексно покращити сепарацію, досягти стабільного потоку та мінімізувати турбулентність, що сприяє ефективному відокремленню компонентів. Це підхід, який базується на поєднанні математичного моделювання, багатокритеріальної оптимізації та практичних експериментів для створення високоефективного процесу сепарації.

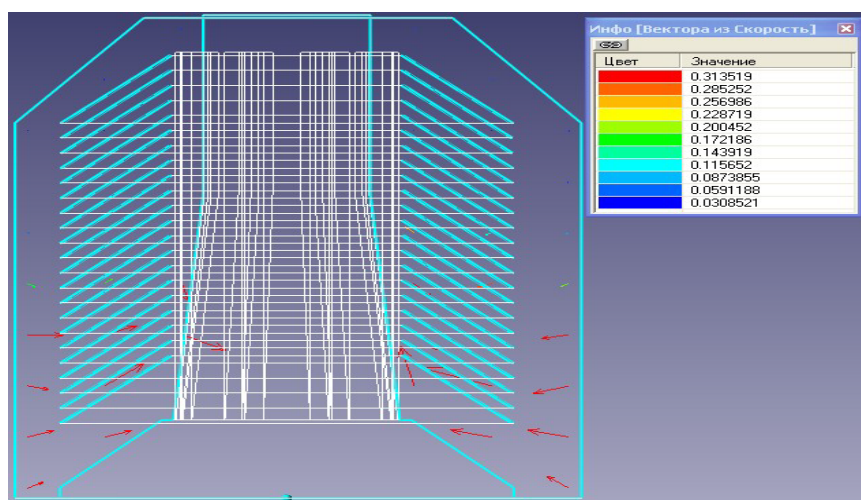


Рис.4.13 Розподілення векторів швидкості

У цьому випадку, на рисунку 4.13 показано розподіл векторів швидкості всередині барабана сепаратора. Вектори швидкості демонструють, як рідина рухається між пластинами барабана. Це моделювання дозволяє оцінити ефективність сепарації, а також визначити оптимальні параметри для розподілу потоку всередині барабана. Такий аналіз може допомогти в налаштуванні кутів нахилу, швидкості обертання і конструкції тарілки для покращення процесу сепарації. Якщо є певні ділянки з низькою швидкістю, це може свідчити про можливі зони накопичення осаду або неефективного відділення компонентів. Щоб виділити зони активної сепарації в моделюванні барабана сепаратора, зверніть увагу на області з високою швидкістю потоку, що зазвичай позначені червоним або жовтим кольором. Це ті зони, де рідина рухається швидше, що сприяє інтенсивному розшаруванню компонентів. Зони з високими швидкостями – (червоним кольором) найактивніша зона сепарації, де створюється максимальне відцентрове прискорення, що сприяє швидкому

поділу рідкої та твердої фаз. Зазвичай ці зони знаходяться ближче до краю тарілки або в області ближче до зовнішньої частини барабана.

Присутні перехідні зони – (жовтий або зелений кольори) де швидкість потоку трохи нижча, але процес сепарації ще триває. Ці зони розташовуються на проміжку між активною сепарацією і ділянками з нижчими швидкостями. Вони також важливі, оскільки забезпечують стабільне відокремлення дрібніших часток.

Зони з низькими швидкостями – (синій або світло-блакитний колір) де швидкість потоку мінімальна, і сепарація тут не відбувається активно. Такі зони зазвичай ближче до центральної осі барабана. Вони важливі для збору осаду і можуть свідчити про ефективність системи відведення осаду з сепаратора.

Розуміння розташування цих зон дозволяє налаштувати конструкцію барабана або швидкість його обертання для максимальної ефективності.

Розподіл фракцій навколо тарілок свідчить про ефективну роботу сепаратора, де легші та важчі частинки розміщуються у відповідних зонах. Однак, для кращої ефективності сепарації, варто розглянути налаштування параметрів конструкції тарілок для більш чіткого розподілу фракцій у потоці. Проведемо аналіз в комплексному пакеті FlowVision.

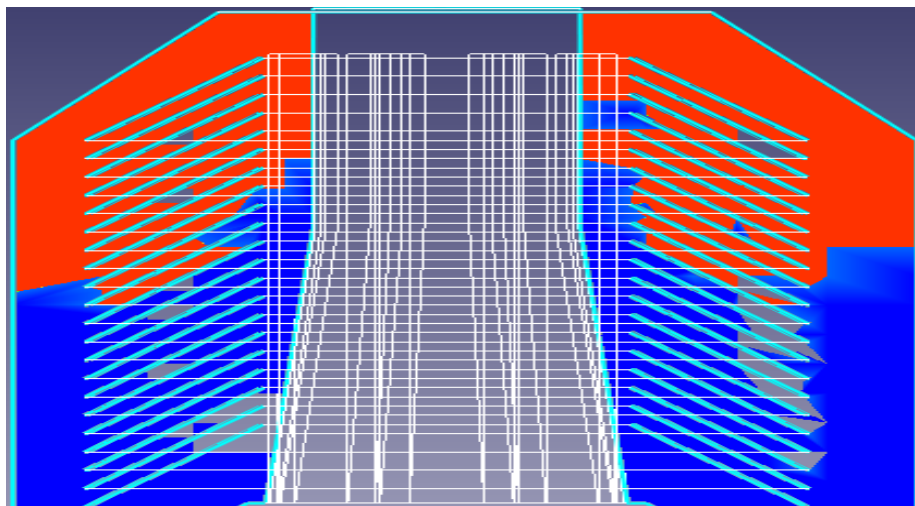


Рис.4.13: Розподіл фракцій

Опис розподілу фракцій показує чіткий поділ на зони, зокрема, червоні та сині області навколо тарілок. Це свідчить про поділ фракцій різної густини чи розміру частинок, де важчі частинки осідають швидше, а легші частинки залишаються в потоці. Зони червоного кольору вказують на високу

концентрацію фракцій, які накопичуються у цих областях через особливості потоку або конструкції сепаратора. Верхні зони, позначені червоним, містять легші фракції, які залишаються в потоці через меншу густину або розмір. Сині області свідчити про більш важкі або більші фракції, які осідають ближче до основи тарілок або нижніх зон сепаратора.

Розподіл векторів швидкості та розподіл фракцій тісно пов'язані між собою, оскільки вони спільно визначають ефективність роботи барабана сепаратора. Вектори швидкості показують напрямок і величину швидкості потоку рідини всередині барабана. У процесі сепарації відцентрова сила, яка виникає в результаті обертання барабана, змушує важчі фракції (наприклад, тверді частинки) рухатись до зовнішньої частини барабана, тоді як легші фракції залишаються ближче до центру. Чим вища швидкість потоку, тим сильніше впливає відцентрова сила на частинки, забезпечуючи їхнє швидше і ефективніше розшарування. У цих зонах фракції чітко відокремлюються під дією відцентрової сили. Тому розподіл векторів швидкості напряму впливає на місце розташування зон активної сепарації і на якість поділу фракцій.

Легкі та важкі фракції рідини поведуть себе по-різному в залежності від швидкості потоку. В місцях, де швидкість потоку знижується (зони з нижчими значеннями швидкості, позначені синім кольором), фракції, що вже розділилися, можуть почати накопичуватися або зливатися, що може спричинити зниження ефективності процесу.

Аналіз розподілу векторів швидкості допомагає оптимізувати роботу барабана, регулюючи швидкість обертання, кут нахилу пластин і конструкцію внутрішніх елементів. Це дає змогу спрямувати потік так, щоб максимізувати зони активної сепарації і забезпечити оптимальний розподіл фракцій. Якщо швидкість потоку розподілена правильно, це призводить до точнішого розподілу фракцій, мінімізуючи змішування та збільшуючи ефективність процесу.

Отже, взаємозв'язок між розподілом векторів швидкості та розподілом фракцій полягає у впливі швидкості потоку на процес розшарування. Швидкість визначає, де і з якою інтенсивністю будуть відокремлюватись важчі

та легші частинки, що зрештою впливає на загальну продуктивність і якість роботи сепаратора.

Для аналізу розподілу турбов'язкості (рис.4.14) розглянемо основні характеристики та закономірності, які можуть впливати на ефективність сепараційного процесу.

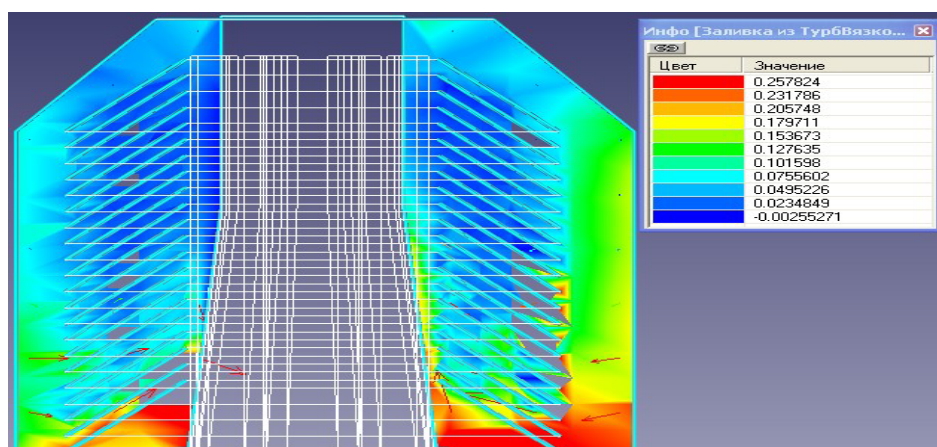


Рис.4.14:Розподіл турбов'язкості

Високі значення турбов'язкості (червоний, жовтий) вказують на області, де турбулентність потоку найбільш виражена. Зони високої турбов'язкості можуть спричиняти перемішування частинок, що ускладнює процес осадження. У сепараційних процесах такі області можуть негативно впливати на ефективність розділення фракцій, оскільки частинки можуть утримуватися в потоці замість осідання на тарілках.

Низькі значення турбов'язкості (от синій) зазвичай свідчать про спокійний потік з мінімальними турбулентними рухами. Такі зони сприяють осадженню частинок, оскільки в них потік рухається більш рівномірно. У сепараторі, зони низької турбов'язкості часто розташовані ближче до центру або між тарілками, де потік стабілізується. Це забезпечує сприятливі умови для відокремлення частинок за рахунок зниження турбулентних сил.

Виявлені області з надмірною турбов'язкістю поблизу тарілок, можна спробувати змінити нахил тарілок або оптимізувати конструкцію сепаратора, щоб зменшити турбулентність. Це дозволить створити більш керований потік та знизити перемішування частинок. Іншим варіантом може бути додавання додаткових елементів для стабілізації потоку, що зменшить турбулентні зони в місцях, де потрібно забезпечити стабільне осадження.

Розподіл турбов'язкості відіграє важливу роль у процесі сепарування. Зони високої турбов'язкості можуть негативно впливати на осадження, тоді як зони низької турбов'язкості сприяють ефективному розділенню фракцій. Оптимізація конструкції для рівномірного розподілу турбов'язкості дозволить покращити ефективність сепаратора і забезпечити стабільний процес відокремлення частинок. Додавання розподілу турбов'язкості дає більш повну картину процесів, що відбуваються всередині барабана сепаратора, оскільки турбов'язкість характеризує внутрішнє тертя в рідині через турбулентні потоки. Турбов'язкість визначає, наскільки турбулентним є потік рідини. Вона впливає на рівень змішування фракцій, що, в свою чергу, впливає на чіткість і ефективність поділу. У зонах з високою турбов'язкістю частинки різних фракцій можуть перемішуватися, що ускладнює їх розподіл. Навпаки, у зонах з низькою турбов'язкістю потік є більш ламінарним, що полегшує розділення фракцій під дією відцентрової сили.

Турбов'язкість є важливим показником у зонах активної сепарації. В цих зонах, де швидкість потоку є високою, також може спостерігатися підвищена турбулентність, що призводить до збільшення турбов'язкості. Підвищена турбов'язкість може негативно впливати на сепарацію, якщо призводить до змішування фракцій. Однак, за певних умов, помірна турбов'язкість може сприяти швидкому видаленню осаду, допомагаючи важчим фракціям переміщатися до зовнішніх стінок барабана.

Контроль турбов'язкості дозволяє зменшити небажані турбулентні потоки, що можуть перешкоджати поділу фракцій. Турбов'язкість безпосередньо пов'язана з розподілом швидкості. Зазвичай в зонах з високими швидкостями і різкими змінами напрямку швидкості спостерігається підвищена турбулентність, що сприяє збільшенню турбов'язкості. Водночас це ускладнює розподіл фракцій, оскільки виникає змішування. Розуміння і контроль турбов'язкості допомагають знайти оптимальний баланс між швидкістю і стійкістю потоку, що підвищує ефективність сепарації.

На основі розподілу турбов'язкості можна вдосконалити конструкцію барабана сепаратора, додаючи або змінюючи розташування внутрішніх

перегородок або пластин для зменшення турбулентності в ключових зонах. Це дозволяє мінімізувати вплив турбулентності на процес розподілу фракцій, залишаючи лише ті ділянки з турбулентністю, які можуть сприяти більш ефективному відокремленню осаду.

Побудуємо графіки для процесу сепарації молока з урахуванням утворення згустків, їхнього руху та осадження під дією відцентрових сил, які ілюструють основні параметри процесу (рис.4.15 і 4.16).

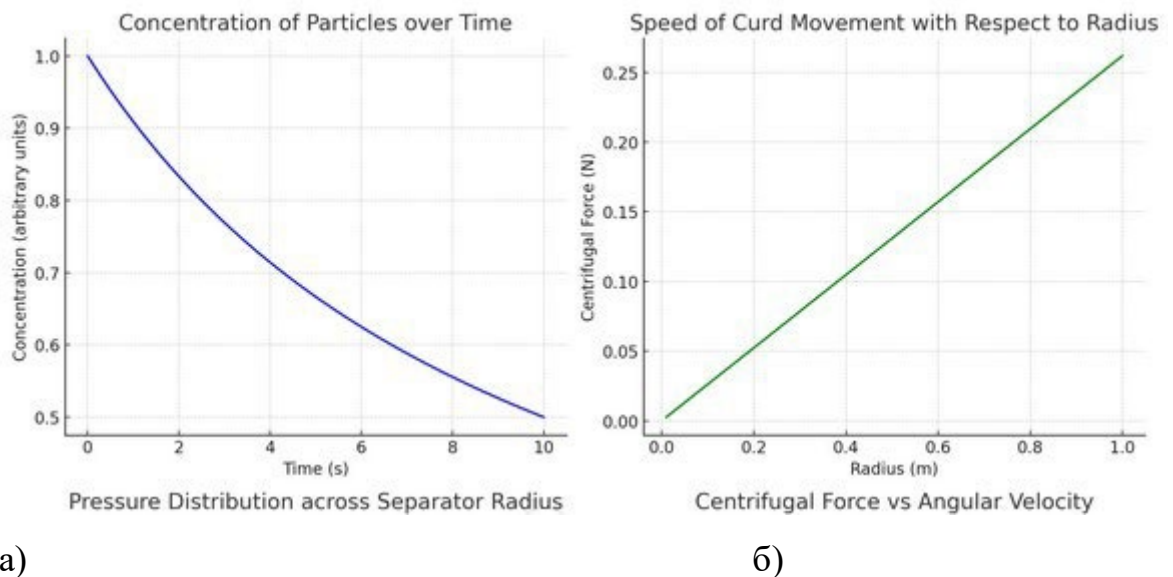


Рис. 4.15. Концентрація згустків у часі (а) та Швидкість руху згустків залежно від радіуса сепаратора (б)

На рис.4.15 (а) подано концентрацію згустків у часі — показує зменшення концентрації частинок у часі через коагуляцію (внаслідок агрегації частинок). Показує концентрацію згустків в умовних одиницях, яка зменшується з часом через процес коагуляції. Швидкість руху згустків залежно від радіуса сепаратора (рис.4.15 б) — показує, як згустки під дією відцентрових сил рухаються до стінок сепаратора, збільшуючи силу з віддаленням від центру. Представляє відцентрову силу (в Ньютонах), яка діє на згустки, збільшуючись із радіусом.

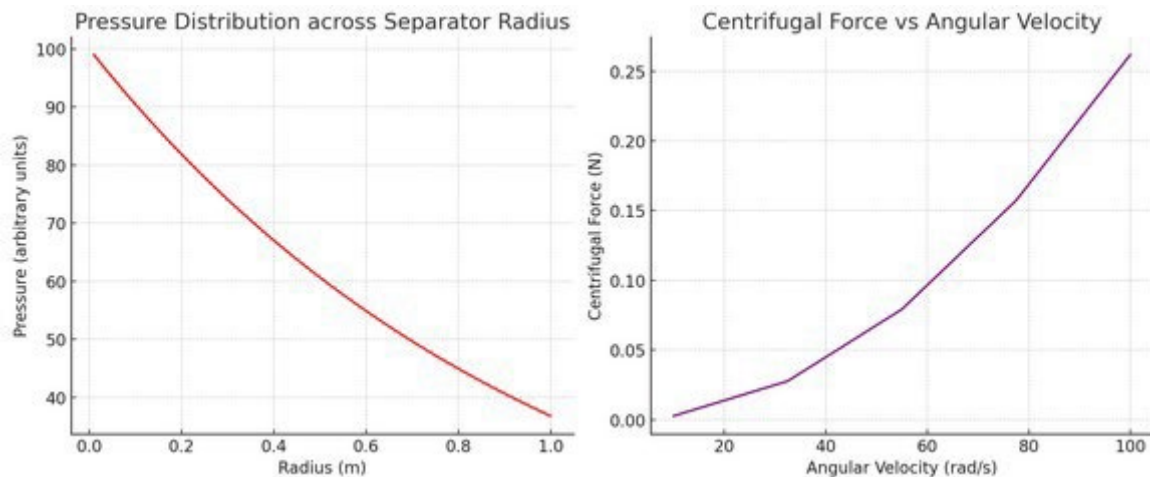


Рис. 4.16. Розподіл тиску по радіусу сепаратора (а) та відцентрова сила залежно від швидкості обертання (б)

Побудовані графіки для моделювання процесу сепарації молока з урахуванням основних параметрів розподілу тиску по радіусу сепаратора — тиск зменшується від центру до периферії сепаратора, ілюструючи градієнт тиску, який впливає на рух частинок (рис.4.16а). Показує тиск у сепараторі в умовних одиницях, що зменшується від центру до периферії. Відцентрова сила залежить від швидкості обертання — зображає, як відцентрова сила зростає зі збільшенням швидкості обертання, що дозволяє краще відділяти згустки (рис.4.16б). Показує відцентрову силу (в Ньютонах) для різних значень кутової швидкості.

Ці графіки можуть служити основою для більш глибокого аналізу впливу параметрів процесу на сепарацію молока. Параметри допомагають оцінити вплив коагуляції, відцентрових сил, тиску, та швидкості обертання на процес сепарації згустків у молоці.

5. Заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.1 Розроблення заходів з охорони праці і техніки безпеки у надзвичайних ситуаціях

Вивчення і вирішення проблем, зв'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов, у яких протікає праця людини - одна з найбільш важливих задач у розробці нових технологій і систем виробництва. Вивчення і виявлення можливих причин виробничих нещасливих випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів і вимог, спрямованих

на усунення цих причин дозволяють створити безпечні і сприятливі умови для праці людини. Комфортні і безпечні умови праці - один з основних факторів що впливають на продуктивність і безпеку праці, здоров'я працівників. Дані аспекти досить широко розглянуті в законодавчих і підзаконних документах України, це: закони України, різні санітарні норми (СН), санітарні норми і правила, ГОСТи, ДСТУ. До найбільш важливих і відповідно найчастіше вживаних належать ГОСТи та СНіПи: "Медико- біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і харчових продуктів" (1.08.89, № 5061-89), "Санітарні норми проектування промислових підприємств" (СН 245-71), ГОСТ 12.0.001–82 "ССБТ. Основні положення", ГОСТ 12.0.002–80 "ССБТ. Терміни і визначення", ГОСТ 12.0.004–79 "ССБТ. Організація навчання робітників безпеки праці. Загальні положення", ГОСТ 12.1.005–82 "ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони", ГОСТ 12.1.019–79 "ССБТ. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту", ГОСТ 12.1.030–81 "ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення", ГОСТ 12.1.003–83 "ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки", ГОСТ 12.1.004–85 "ССБТ. Пожежна безпека. Загальні вимоги".

Умови роботи в цеху є складними: висока вологість та концентрація в повітрі парів різного роду хімічних речовин, які застосовуються при митті тари.

Особливість формування технологічного процесу та експлуатації машини обумовлює наступні типи небезпечних факторів для обслуговуючого персоналу: електричний, механічний, тепловий, хімічний. Обслуговуючий персонал в обов'язковому порядку повинен бути забезпечений гумовим захисним взуттям і рукавицями для захисту від теплових та хімічних опіків. У випадку попадання на шкіру мицного розчину слід в негайному порядку промити шкіру спочатку прохолодною водою, а потім слабким розчином оцтової кислоти.

Всі двигуни, насоси і корпус машини повинні бути заземленими. Всі електричні з'єднання повинні бути добре заізолюваними. Небезпечні ділянки слід закрити захисними загорожами.

Технологічні трубопроводи повинні забезпечувати герметичність. Підтікання є недопустимим фактором, оскільки створює додаткові небезпечності для обслуговуючого персоналу (слизька підлога, підвищена вологість). Зростає імовірність падіння і отримання травм, а також ураження електричним струмом.

При експлуатації транспортерів для порожньої та наповненої тари слід забезпечити відсутність фізичного контакту робітників з їх рухомими елементами, що досягається за рахунок встановлення захисних бортиків біля полотна та захисних кожухів на елементах приводу.

Для цього застосовуються лампи денного освітлення, закриті матовим склом. Тістомісильна машина безпосередньої механічної безпеки не становить, проте в умовах підвищеної вологості актуальними є ізоляція всіх електричних контактів і надійне заземлення корпусу машини. Аналогічні вимоги ставляться при експлуатації машини контролю якості закупорення, яка крім вищезазначених повинна також відповідати вимогам безпеки обладнання, яке має механічну частину (стосується до інспекційного транспортера, на якому тара перевертається на 180°)

При несправності ламп пульта, що сигналізують, працювати на машині забороняється.

Всі обертові частини машини при роботі повинні бути закриті кожухами. Забороняється працювати на машині при знятих чи відкритих кожухах. Запірна арматура (вентилі, крани, клапани), ущільнювальні пристрої і з'єднання трубопроводів повинні бути в справному стані і мати надійні ущільнення, що не допускають пропускання рідини, стиснутого повітря і вуглекислого газу. Проходи навколо машини й у зоні обслуговування не повинні захащуватися сторонніми предметами.

Роботи, зв'язані з ремонтом чи санітарну обробку машини, повинні здійснюватися тільки після відключення електроенергії і повного зняття тиску стиснутого повітря у вузлах машини. Забороняється робити які-небудь ремонтні роботи чи збирання машини під час її роботи.

Електроустаткування повинне експлуатуватися в справному стані.

Корпуса складових частин машини повинні роздільно, кожна складова частина машини, заземлюватися із внутріщевим контуром заземлення відповідно до правил експлуатації електроустановок. Напруги електричних ланцюгів керування і сигналізації повинні бути не більшими від 42 В, 50 Гц.

Періодичний огляд і обслуговування повинні забезпечувати справний стан: перемичок заземлення, електричних з'єднань корпусу електродвигуна, сполучних коробок, мікрровимикачів і пульта з корпусами складових частин машини, знаків заземлення і попереджувачих знаків "Обережно! Електрична напруга", нанесених на кришки сполучних коробок і вивідного пристрою електродвигуна, болтів і контактних поверхонь затисків заземлюючих складових частин машини.

До обслуговування електроустаткування можуть допускатися особи обслуговуючого електротехнічного персоналу, що мають необхідну кваліфікацію по техніці безпеки відповідно до Правил техніки безпеки при експлуатації і знаючі призначення й принцип роботи машини.

Вимогами з безпечної експлуатації електронасосів передбачається якісне складання і забезпечення точності монтажу. При складанні насосу слід старанно встановлювати ущільнюючі прокладки, кільця і манжети. Основними небезпечними для людей факторами роботи насосів є вібрації та можливість ураження електричним струмом внаслідок надмірної вологості. Для мінімізації і уникнення шкідливої дії вищезазначених чинників передбачається встановлення віброізоляції і заземлення.

Для забезпечення безпечної роботи під час експлуатації і ремонту маніпулятора-вкладача необхідно дотримуватись наступних мір безпеки:

Основними мірами захисту персоналу, передбаченими для даної машини, є ізоляція електричних контактів, заземлення корпусу машини, захист рухомих частин за допомогою захисної перегородки.

Основними вимогами, які слід забезпечити в цехах з надмірним рівнем вологості і випарів є забезпечення достатнього рівня вентиляції і якісне освітлення. Оптимальні і допустимі температури, відносна вологість і швидкість руху повітря встановлюються для робочої зони виробничих

приміщень з врахуванням надлишків наявного тепла, важливості виконуваної роботи і сезонів року. Температура, відносна вологість і швидкість руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати нормам СНіП. При кондиціонуванні виробничих приміщень повинні дотримуватися оптимальні параметри мікрокліматичних умов.

Норми проектування СНіП 11-4-79 повинні дотримуватися при проектуванні освітлення приміщень знову споруджуваних і реконструйованих будинків і споруджень різного призначення, місць провадження робіт поза будинками, площадок промислових підприємств і зовнішнього висвітлення.

Освітлення виробничих приміщень повинне відповідати вимогам СНіП "Природне і штучне освітлення. Норми проектування" і "Санітарним вимогам до проектування підприємств бродильної промисловості".

У виробничих приміщеннях найбільше прийнятно природне освітлення: світловий коефіцієнт (СК) повинний бути в межах 1:6 - 1:8. У побутових приміщеннях СК повинний бути не менше 1:10. Коефіцієнт природного освітлення (КЕО) повинний бути передбачений з урахуванням характеру праці і зорової напруги.

При недостатнім природному освітленні варто застосовувати штучне освітлення - переважно люмінесцентні лампи. У приміщеннях з важкими умовами чи праці не мають постійних робітників місць варто використовувати лампи накаливання. Штучне освітлення повинне бути представлене загальним у всіх цехах і приміщеннях, а у виробничих при необхідності - місцевим чи комбінованим.

При проектуванні і монтажі нового устаткування треба забезпечити: основні проходи в місцях постійного перебування працюючих шириною не менше 1,5 м; проходи біля віконних прорізів, доступних з рівня підлоги, або площадки - не менше 1 м; проходи для огляду і регулювання апаратів і приладів - не менше 0,8 м; проходи для огляду трубопроводів і апаратів, які не треба регулювати - не менше 0,7 м; ширина проходів між автоматичними і механізованими лініями (по їх осях) і головних проїздів - не менше 2,4 м.

Розриви між окремими машинами, верстатами, ємкостями, розміщеними в одному ряду - не менше 0,35 м.

бслуговуючий персонал технологічного обладнання цеху піддається інтенсивному впливу електромагнітних полів (нормується ГОСТ 12.1.006-84). ГОСТ 12.1.006-84 поширюється на електромагнітні поля (ЕМП) діапазону частот 60кГц-300ГГц і встановлює припустимі рівні ЕМП на робочих місцях персоналу, що здійснює роботи з джерелами ЕМП.

Допустимі рівні впливу ЕМП варто оцінювати в діапазоні частот 60кГц-300МГц по напруженості електричної і магнітної складовий поля; у діапазоні частот 300МГц-300ГГц - по поверхневій щільності потоку енергії (ППЕ) випромінювання т створюваної їм енергетичному навантаженню (ЕН).

У цеху розміром $18 \times 60 \times 4,5$ м потрібно створити освітленість $E_n = 300$ лк. Коефіцієнт відбиття стелі $\rho_{\text{шт}} = 70 \%$ і стін $\rho_z = 50 \%$. Для освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ у світильниках ЛДОР.

Знаходимо індекс приміщення

$$i = \frac{AB}{H_P(A+B)} = \frac{18 \cdot 60}{4,5(18+60)} = 3,07.$$

Приймаємо коефіцієнт запасу $k = 1,6$ і коефіцієнт нерівномірності освітлення

$$z = E_{\text{ср}} / E_{\text{мин}}$$

При індексі $i = 3,07$ з табл. 1 одержимо $\eta = 62 \%$.

Світильники розміщаємо в чотири ряди ($N_p = 4$).

Визначаємо необхідний світловий потік ламп у кожному ряді:

$$\Phi_P = \frac{E_H Szk}{N_p \eta} = \frac{300 \cdot 1080 \cdot 1,1 \cdot 1,6}{4 \cdot 0,62} \approx 230000 \text{ лм.}$$

Якщо у світильнику установити по двох лампи ЛБ ($n = 2$) потужністю 40 Вт і світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 3000$ лм, то необхідне число світильників у ряді складе

$$N = \frac{\Phi_P}{n \Phi_{\text{л}}} = \frac{230000}{2 \cdot 3000} = 38.$$

Таблиця 5.1 - Коефіцієнти використання η

Тип світильник а	Значення коефіцієнтів відбиття			Значення η , %, при індексах приміщення і											
	$\rho_{\text{пот}}$	$\rho_{\text{с}}$	$\rho_{\text{пол}}$	1	1,1	1,2	1,5	1,7	2	2,2	2,5	3	3,6	4	5
Астра	70	50	10	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
УДП, ДРЛ	70	50	10	47	50	53	56	58	66	62	63	66	67	69	70
УДП, ДРЛ	50	30	10	41	43	47	50	53	56	57	59	60	61	63	66
ЛДОР	70	50	10	43	45	47	51	54	56	58	60	62	63	64	67

5.2. Інженерний захист персоналу та населення при надзвичайних ситуаціях

Згідно з класифікацією надзвичайних ситуацій, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України 15.07.1998 р. №1099 надзвичайні ситуації (НС) на території України поділяються на:

- НС техногенного;
- НС природного;
- НС соціально-політичного;
- НС воєнного характеру.

Крім того, з такою класифікацією добре узгоджується класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів, встановлена ГОСТ 12.0.003-74. Територіальний принцип полягає в організації цивільної оборони на території областей, міст і районів, сільських місцевостей відповідно до адміністративного поділу території. Згідно з цим, відповідальність за стан цивільної оборони на тих територіях несуть виконавчі органи влади, а начальниками Цивільної оборони, які безпосередньо здійснюють керівництво цивільною обороною є голови виконавчих органів влади.

Начальником цивільної оборони України є Прем'єр-Міністр України. Безпосереднє керівництво цивільною обороною України здійснює Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій (МНС України), яке підпорядковане Прем'єр-Міністру. При МНС України створена Академія цивільного захисту, де

навчаються керівний склад вищих органів влади, керівний склад цивільної оборони і великих підприємств, а також викладачі цивільної оборони вузів.

МНС України підпорядковані аварійно-рятувальні загони, спеціалізовані формування цивільної оборони (4 загони), територіальні формування, а також начальники цивільної оборони областей і управління з питань НС та у СЗН від НЧК облдержадміністрації.

Одним із основних засобів захисту населення у надзвичайних обставинах мирного та воєнного часів є укриття людей у захисних спорудах, розташованих за місцем проживання, роботи та навчання.

Захисні споруди залежно від захисних властивостей розподіляються на:

сховища;

протирадіаційні укриття (ПРУ);

простіші укриття.

Сховищами називають інженерні споруди герметичного зразка, які забезпечують надійних захист людей від уражаючих факторів ядерного вибуху, отруйних та сильнодіючих отруйних речовин (ОР, СДОР), бактеріальних засобів (БЗ), а також високих температур і обвалів будівель. За місцем розташування сховища можуть бути вбудованими під будинками (у підвалах) і побудованими поза будинками. У мирний час їх використовуються під господарські приміщення. Сховище складається із основних і допоміжних приміщень. До основних відносяться приміщення для людей, тамбури, шлюзи. Допоміжними вважаються фільтровентиляційні установки, системи водопостачання, освітлення, опалення, санітарні кімнати і т.ін. Повітря у сховища постачається за допомогою фільтровентиляційних установок (ФВУ), які працюють у трьох режимах роботи:

1. Режим чистої вентиляції – зовнішнє повітря очищається від радіоактивного пилу;

2. Режим фільтровентиляції – окрім радіоактивного пилу, повітря також очищається від отруйних речовин (ОР) та бактеріальних засобів (БЗ);

3. Режим повної ізоляції із регенерацією внутрішнього повітря – очищення повітря від вуглекислого газу (CO_2) та збагачення його киснем (O_2).

ФВУ може працювати як від електричної мережі, так і в ручному режимі. Система водопостачання забезпечує людей водою для життя та гігієнічних потреб, вона підключена до міської мережі водопостачання. У разі припинення подачі води у сховищах повинен бути аварійний запас води з розрахунку 3 л на добу на одну особу.

Система освітлення працює від загальної електромережі. За відсутності струму використовуються ліхтарики, свічки. Система опалення працює від загальної опалювальної мережі та інших теплових приладів.

Протирадіаційні укриття (ПРУ) призначені для захисту людей від зовнішнього гама-випромінювання та безпосереднього попадання радіоактивного пилу в органи дихання людини, на шкіру та одяг, а також світлового випромінювання ядерного вибуху. При належній міцності конструкції ПРУ в стані частково захистити від дії ударної хвилі та уламків зруйнованих будинків. Захисні властивості ПРУ в тому, що стосується проникаючої радіації, оцінюються коефіцієнтом послаблення випромінювання, який вказує, у скільки разів рівень радіації на відкритій місцевості вищий від рівня радіації у сховищі, і залежить від матеріалу, з якого побудовано ПРУ. Простіші укриття-щілини викопують на глибину до 180-200 см, шириною 100-120 см, по дну – 80 см, із входом під кутом 90° до поздовжньої осі. Довжина визначається з розрахунку 0,5 м на одну особу. Роль та значення щілин в умовах аварії на АЕС або застосування ядерної зброї підвищується. Щілина може бути відкритою або перекритого типу. Перекриті щілини – це вдосконалені щілини, обладнані перекриттям із дерев'яних колод довжиною 240 см, боки яких обшиваються дошками. На перекриття насипається 50-60 см землі. Захисні властивості місцевості залежать від її рельєфу, від форм місцевих предметів та їхнього розташування щодо осередку вибуху. Кращий захист забезпечують вузькі, глибокі яри. Височини із крутими схилами, земляні насипи, котловини, копри є добрим захистом від впливу уражаючих факторів ядерного вибуху.

5.3. Організація рятувальних робіт на території забрудненої СДОР

При виникненні техногенної аварії на компресорній установці (аміак) або фільтрувальної станції (хлор), у цеху хімкомбінату і будь-якого ОНХ, що використовує хімічні речовини необхідно:

Оповістити працюючих на території об'єкта і людей, що живуть або працюють у районі аварії.

Процедура оповіщення розроблена заздалегідь і проводиться в такий спосіб: на всіх хімічно небезпечних об'єктах є інструкція для чергових і диспетчерів про порядок і черговість подачі сигналів, виклику на об'єкт керівного й особового складу невоєнізованих формувань ЦО, висилки транспорту і посильних.

Сигнал про аварію з викидом (виливом) СДОР, що надійшов диспетчеру підприємства, негайно доводиться до начальника ЦО об'єкта — першого керівника. Одночасно оповіщуються робітники, службовці, місцевий штаб ЦО і служби цивільної оборони. Повідомляють у міліцію і пожежну частину. Вмикаються звукові сирени в масштабі району або міста — сигнал “Увага всім!”.

Відповідно до рішення начальника ЦО об'єкта організуються роботи з ліквідації осередку ураження. У першу чергу для проведення аварійно-відбудовних і рятувальних робіт залучаються свої об'єктові формування: охорони суспільного порядку, протипожежні, медичні, протихімічного і протирадіаційного захисту, а потім, у залежності від масштабу аварії, прибувають і включаються в роботу формування міста або області.

Ізолювати район аварії в радіусі 200 м і більше (задача міліції).

Терміново організувати евакуацію працюючих із цеху або всього населення на відстань до 5 км з урахуванням кількості і характеру СДОР і напрямку вітру. Евакуація може бути вертикальною — на 5-10 поверхи при виході хлору і горизонтальною в інших випадках.

Спеціальна служба і ланки хімічної розвідки проводять оцінку масштабів аварії, виявляють вид СДОР і концентрацію її на місцевості. Керівництво об'єкта, штаб ЦО оцінюють обстановку, прогноз і виносять своє рішення.

Наявність і індикацію СДОР у повітрі можна визначити за допомогою різноманітних приладів (газоаналізаторів та ін.). Наприклад, при використанні універсального газоаналізатора (УГ-2) по зміні кольору індикаторного порошку можна визначити вид СДОР:

- а) при наявності хлору — порошок стає червоного кольору;
- б) при наявності аміаку — синього;
- в) при наявності сірководню — коричневого.

Першу медичну допомогу в перші хвилини надають люди в порядку само- і взаємодопомоги — виносять на свіжий струмінь повітря з забрудненого помешкання, при необхідності роблять штучне дихання, зігрівають, промивають шкірні покриви і видимі слизові. Крім того, першу медичну допомогу надають СП, СД, ОСД і медробітники МНС, закріплені за даним об'єктом. Про це необхідно докладно знати.

Обсяг першої медичної допомоги при хімічному ураженні.

Якнайраніше надягання протигаза на себе і на ураженого. При цьому звернути увагу на шкіру обличчя, якщо на ньому є сліди ОР, СДОР (краплі, маслянисті плями), необхідно опрацювати її вмістом ППП-8, тобто провести фрагмент часткової санітарної обробки і тільки потім надягати протигаз. Протигази повинні відповідати характеру СДОР:

- при ОР типу зарин, зоман, V-гази й ін. ФОР, а також ОР шкірнонаривної дії можуть застосовуватися будь-які фільтруючі протигази: ЦП-4, ЦП-5, ЦП-7, загальновійськові;
- при аварії з виходом хлору, аміаку краще застосовувати ізолюючі протигази (ІП-46), хоча можна звичайні фільтруючі на короткий час;
- для захисту від чадного газу (СО) використовують фільтруючі протигази з приєднаними до них гопкалітовими патронами;

- можливе використання промислових протигазів із коробками різноманітних марок — “А”, “У”, “Г”, “Е”, “КД”, “БКФ”, “М”, “З”. Такі протигази захищають далеко не від усіх СДОР, а конкретно від якої-небудь ОР, що виробляється або використовується на даному підприємстві. Час дії коробки від 1 до 3 годин, у залежності від концентрації СДОР і марки коробки.

При необхідності і наявності таких можна скористатися шланговими протигазами (ПШ-1, ПШ-2). Декілька слів про останні.

Шлангові протигази — найбільш прості прилади ізолюючого типу. Принцип їхньої дії складається в тому, що повітря для дихання забирається з чистої зони на визначеній відстані від працюючої людини (від 10 до 40 м) або попередньо очищується. Ними зручно користуватися при виконанні ремонтних і очисних робіт усередині різноманітних ємкостей, підземних сховищ і підвальних помешкань, де накопичуються пара СДОР. По засобі подачі повітря для дихання шлангові протигази діляться на самовсмоктуючі (ПШ-1) і з примусовою подачею повітря (ПШ-2). Останній має електроручну повітродувку і може обслуговувати відразу двох людей.

Крім того, для захисту від СДОР на багатьох об'єктах широко використовують промислові фільтруючі респіратори. Вдихуване повітря очищається від домішок паро- і газоподібних СДОР у респіраторах за рахунок протікання фізико-хімічних процесів, а від аерозольних домішок — завдяки фільтрації його через волокнисті матеріали. З цією метою застосовуються респіратори протигазові патронного типу (із фільтруючих елементів у виді патрона) — РПГ-67, і респіратор універсальний — РУ-60М.

Такими фільтруючими респіраторами можна скористатися при аварії з виходом в атмосферу таких СДОР: ацетон, бензол, ефіри, оксид сірки, сірководень, аміак, пара ртуті й ін. Тривалість захисної дії від 0,5 години до 15-20 годин.

Промисловістю, зокрема ВНПО “Респіратор” м. Донецька, серійно випускаються респіратори фільтруючого й ізолюючого типу, що дозволяють автономно перебувати людині в забрудненій СДОР атмосфері, надавати

допомогу при дихальній недостатності зокрема у вугільній промисловості. До них відносять “Гірськорятувальники – 10, 11”, “Саморятувальники ізолюючі” – СІ-15, СІГ-1, С-90, ШСС-1у; “Респіратори ізолюючі регенеративні” – Р-ЗОА, Р-34, Р-35.

Введення антидотів — здійснюється якнайшвидше (у лічені секунди, хвилини), за показниками в залежності від виду ОР (СДОР) і наявності такого взагалі:

- при ураженнях ФОР — тарен у табл. під язык або атропін із шприц-тюбика у вигляді ін’єкції;
- при ураженні СДОР загальноотруйної дії (синильна кислота, хлорціан) використовується антидот амлінітрит в ампулах. Ампулу в синій марлевій обгортці роздавити пальцями і терміново помістити під шолом-маску протигаза ураженого ближче до носа. Денце ампули повинно бути звернене догори, щоб рідина витікала і змочувала марлеву обгортку;
- при ураженнях ОР подразної дії — роздавити ампулу з протидимною сумішшю і помістити під маску протигаза.

Часткова санітарна обробка за допомогою вмісту ІПП-8. Вона особливо ефективна при ураженнях СДОР нервово-паралітичної і шкірноаривної дії. При відсутності стандартного пакета ІПП-8 використовувати підручні засоби. При частковій санобробці обробляти не тільки відкриті ділянки шкіри, але і прилягаючі до них частини одягу — комірець, манжети і т.д.

При необхідності виконання штучного дихання (ШД). У зоні зараження його проводять ручними методами; постраждалих повинні знаходитися в протигазі (частіше застосовують метод Калістова за допомогою лямок). За межами осередку хімічного ураження можна використовувати ротові засоби ШД. У випадку ураження СДОР задушливої дії при розвитку набряку легенів — задишка, синюшність, виділення значної кількості слизу — ШД будь-яким засобом протипоказане (!). Повинна проводитися киснева терапія за допомогою дихальних приладів.

При зупинці серця або різкому порушенні його діяльності проводиться непрямий масаж серця з урахуванням конкретної обстановки (техніка ШД і масажу серця докладно вивчені в темі № 9 “Основи реанімації”).

У більшості випадків, особливо при ураженнях СДОР задушливої дії, що постраждали необхідно виносити з осередку ураження, тобто необхідно максимальне обмеження фізичних навантажень постраждалим (тому що швидко розвивається набряк легенів — ядуха). Всіх постраждалих виносять на свіжий струмінь повітря, на спеціально обране підняте місце, зручне для вантаження на транспорт і подальшої евакуації з ОХУ.

Всі названі вище пункти першої медичної допомоги повинні добре засвоїти члени сандружин, робітники хімічних об’єктів, населення, що мешкає в районі хімічно небезпечних об’єктів і, природно, студенти, що вивчають курс “БЖД і ЦО”.

Заходи безпеки при проведенні аварійно-рятувальних робіт. Рятувальники повинні працювати в захисних засобах: захисні костюми, ізолюючі протигази ІП-46, гумові чоботи і рукавички, шоломи з нагрудником, окуляри. Входити в осередок із навітряної сторони. У районі ОХУ суворо дотримуватися правил техніки безпеки: забороняється знімати засоби захисту, приймати їжу, воду, курити, розстібати одяг, сидати або лягати на зараженій місцевості.

При аварії з виходом хлору уникати низинних місць. Місця розливу хлору (із цистерн) заливати “вапняним молоком”, каустиком.

У зоні парів аміаку не курити! Вибухонебезпечно! Ємкість поливати при пожежі з великої відстані — вибух!

Не припускати попадання рідкого аміаку або хлору у водойми: усе живе загине.

Порядок роботи санітарних дружин (СД) в осередку хімічного ураження.

СД працюють в ОХУ частіше в складі рятувальних загонів. Командир СД, отримавши завдання і з’ясувавши обстановку, у свою чергу зобов’язаний:

- перед уведенням санітарної дружини в осередок ураження ознайомити її з обстановкою в осередку, повідомити, які ОР або СДОР викликали НС;

- дати команду на прийом відповідного антидоту особовим складом СД;

- вказує орієнтири і межі ділянки осередку ураження, виділеного для роботи СД;

- визначає місце роботи і дій кожної ланки СД;

- повідомляє гаданий обсяг першої медичної допомоги, порядок роботи носилкових ланок, вказує шляхи і напрямки виносу і місця розміщення уражених перед вантаженням на транспорт, вказує найближчі лікарні;

- повідомляє порядок поповнення антидотів, медичного майна і засобів захисту, витрачених у ході робіт;

- вказує місце свого перебування, порядок зв'язку, місце збору по закінченні робіт і багато іншого.

Ознайомившись з обстановкою, члени СД приймають антидот із профілактичною метою, надягають і старанно перевіряють один в одного засоби захисту органів дихання і шкіри і негайно направляються до місця роботи.

Медичну допомогу надають у першу чергу ураженим, що знаходяться на відкритій місцевості. Потім члени СД оглядають будинки, підвали, сховища й укриття, де населення могло вкриватися при виникненні НС. У першу чергу допомога надається дітям, вагітним жінкам, що не мають протигазів, і особам, що отримали комбіноване ураження. Дозування антидоту визначається індивідуально, але дітям дошкільного віку обов'язково в половинному розмірі. При наявності травми (механічної або термічної) і ураження СДОР перша медична допомога повинна надавати насамперед проти дії отруйної речовини (антидоти, протигаз, санобробка тощо) і тільки після цього допомога з приводу травми.

Командир СД постійно підтримує зв'язок із начальниками інших формувань ЦО і МНС, забезпечує взаємодію з ними, веде контроль за особовим складом своєї СД із метою попередження теплових ударів, особливо в жаркий час. При появі хиткої ходи й ін. ознак (запаморочення, нудота тощо) формування варто вивести з осередку.

Повна санобробка включає проведення обробки тіла розчинами, що дегазують, із наступним обмиванням під душем (36-38°C) водою з милом, із зміною натільної білизни, одяги і взуття. Брудні одяг, взуття і спорядження (протигази, сумки, рукавички, чоботи й ін.) піддаються дегазації на спеціальних площадках відділення санобробки при суворому дотриманні заходів безпеки.

Висновки. Велике значення має підвищення стійкості молокозаводу в надзвичайних ситуаціях природного і техногенного характеру та здатність його випускати продукцію в запланованому обсязі та асортименті. Природні катаклізми, що можуть призвести до стихійних лих, виробничі аварії та катастрофи, забруднення місцевості небезпечними хімічними речовинами - все це може спричинити не тільки руйнування і знищення матеріальних цінностей, але й загибель людей.

Ось чому одним з головними завдань ЦЗ є підвищення стійкості роботи об'єктів народного господарства, тобто забезпечення безперервності випуску продукції при будь-яких надзвичайних ситуаціях. Важливу роль в забезпеченні стійкості роботи заводу відіграє здатність його інженерно-технічного комплексу протистояти в надзвичайних ситуаціях, що забезпечує персоналу підприємства безпечні умови роботи та безперервність випуску продукції.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження встановлено, що вологість білкового осаду залежить від діаметра сопла та кута його нахилу. Збільшення кута нахилу супроводжується зменшенням тиску в барабані сепаратора, що, у свою чергу, впливає на ущільнення та вологість осадів.

Для досягнення білкового осаду з вологістю 82% рекомендовано використовувати сопло діаметром 0,7 мм з кутом нахилу приблизно 41° або сопло діаметром 0,6 мм з кутом нахилу близько 63°. Це підкреслює важливість правильного вибору параметрів для досягнення заданої якості продукту.

Зменшення діаметра сопла дозволяє регулювати ступінь згущення осаду, проте сопла меншого діаметра є більш вразливими до забивання, що може негативно вплинути на ефективність сепарації.

Використання рівнянь та моделювання встановили високу точність (0,98–0,99) кута нахилу для різних діаметрів сопел, що сприяє підвищенню якості кінцевого продукту.

Отже, результати дослідження можуть бути використані для оптимізації режимів роботи сепаратора, що призведе до покращення якості білкового осаду і, як наслідок, підвищення ефективності виробничого процесу. Це відкриває нові можливості для вдосконалення конструкцій сепараторів і покращення технологій у харчовій промисловості.

Також в ході дослідження встановлено, що для виділення білкового осаду з сирного згустку найбільш перспективними є сепаратори типу ОСЯ з безперервним вивантаженням осаду. Однак недоліком цих сепараторів є неможливість отримати кінцевий продукт з наперед заданою вологістю.

Для усунення зазначеного недоліку запропоновано модернізацію конструкції вузла вивантаження осаду шляхом регулювання кута між віссю сопла та дотичною до кола. Це призводить до зміни тиску ущільнення осаду, що дозволить отримати продукт з заданою вологістю.

Список використаної літератури

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» галузі знань 0505 «Машинобудування та металообробка» напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка»

для студентів спеціальностей «Обладнання переробних і харчових виробництв», «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» ден. Форми навч . / Уклад.: В.М. Таран, В.Г. Мирончук,

С.І.Блаженко, О.М.Прохоров, В.В.Пономаренко, О.А.терещенко-К.:НУХТ,2010.-46 с.

2. Технологічне обладнання для виробництва виробів з борошна: Навчальний посібник. Ч.1. Хлібопекарське виробництво; Сухенко Ю.Г., Стадник І.Я., 72 Василів В.П., Сухенко В.Ю. За ред.проф. Ю.Г.Сухенка. — К.: ЦП "КОМПРИНТ", 2015. — Ч.1. — 388 с.
3. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю. Метод інтенсивного формування фазового контакту компонентів при змішуванні. Volumul include materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 85 ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. Chișinău : UASM, 2018. Vol. 51. P. 78–82.
4. І.Я. Стадник, В.А. Піддубний, О.В. Хареба, В.М. Федорів, В.В. Підгорний «Сучасні технології та енергетичні потоки при формуванні борошняних напівфабрикатів» монографія – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 392 с
5. Закалов О.В. Технологічне обладнання харчових виробництв / Закалов О.В.,Закалов І.О.-Тернопіль:Видавництво ТДТУ, 2000.-406 с.
6. Стадник І.Я., Зварич Н.М. Оцінка хімічної обстановки при хімічно небезпечних об'єктах викидом небезпечних хімічних речовин та застосуванні хімічної зброї. Методичні вказівки, м. Тернопіль, ТНТУ, 32с.
7. 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.
8. Гаврилко П., Піддубний В., Стадник І., Гуштан Т., Краєвська С., Каганець-Гаврилко Л Визначення розрахункових навантажень виробничих механізмів і машин та технологічні розрахунки виробництва борошняних виробів /навч.методичний посібник:.. Ужгород: РІК-У, 2023. 468 с.
9. Стадник, В.А. Піддубний Вдосконалення технологічного процесу та обладнання для формування виробів- 1 частина: Монографія. / Стадник І.Я, Піддубний В.А. –Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019.-290с.
10. Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises / Oleh Kravets, Mariia Shynkaryk, Viktor Kravets // Scientific Journal of TNTU. — Tern.:

11. Шинкарик М. М. Комплексний підхід до оцінки якості технологічного процесу виробництва сиру кисломолочного неперервним способом / М. М. Шинкарик, О.І. Кравець, Паперняк Р.В.// Зб. тез доп. XIV Міжнародної науково-практичної конференції Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем 23-24 травня 2024 р. м. Чернігів, 2024. С. 310-312.

12. Piddubnyi, V., Stadnyk, I., Kravets, O., Chahaida, A., Hushtan, T., Kahanets-Havrylko, L., Karpovych, I., Tupitska, O., Kostiuk, T., & Rozbytka, T. (2023). Characteristics of mucous-forming polysaccharides extracted from flax seeds. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2023. Vol. 17, P. 677–693

13. Igor Yaroslavovych Stadnyk, Juilia Pankiv, Petro Havrylko, Halina Karpyk
Researching of the concentration distribution of soluble
Layers when mixed in the weight condition // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food*