

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Оптимізація параметрів сепаратора-вершковідокремлювача

Виконав: студент 2 курсу, групи МГІЗ-1-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Шишка Іван Олександрович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Астіон Василь Миколайович

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«26» грудня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Шишці Івану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація параметрів сепаратора-вершковідокремлювача

керівник роботи Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом 12.02.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для переробки молока, зокрема сепараторів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання механізації процесу сепарації молока. 2. Теоретичне обґрунтування підвищення ефективності робочого процесу сепаратора-вершковідокремлювача. 3. Експериментальні дослідження удосконаленого сепаратора. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка удосконалення. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 26.12.2023 р. _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 02.01.2024 р.	
2	Теоретичний	до 09.01.2024 р.	
3	Експериментальний	до 18.01.2024 р.	
4	Охорона праці	до 21.01.2024 р.	
5	Економічний	до 29.01.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 12.02.2024 р.	

Студент

(підпис)

Шишка І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Івлєв В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шишка І.В. Оптимізація параметрів сепаратора-вершковідокремлювача/Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Робота складається з 5 розділів: аналіз стану питання, теоретичне обґрунтування параметрів сепаратора, програма та методика експериментальних досліджень, їх результати та аналіз, охорона праці та економічна частина. В результаті досліджень отримано удосконалену конструкцію сепаратора, який відрізняється конструкцією тарілотримача, що дозволило підвищити його продуктивність. В дипломній роботі зроблено загальні висновки та складено бібліографічний список з 56 джерел.

Ключові слова: молоко, сепаратор, пакет тарілок, продуктивність, тарілотримач

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання механізації процесу сепарації молока	9
1.1 Аналіз ефективності процесу сепарації молока	9
1.2 Огляд конструкцій сепараторів вершковідокремлювачів	13
1.3 Технологічний процес сепарування молока	25
1.4 Висновки по розділу	31
2 Теоретичне обґрунтування підвищення ефективності робочого процесу сепаратора-вершковідокремлювача	33
2.1 Розробка конструкційно-технологічної схеми сепаратора	33
2.2 Обґрунтування геометричних параметрів тарілотримача	36
2.3 Визначення продуктивності сепаратора	44
2.4 Висновки по розділу	51
3 Експериментальні дослідження удосконаленого сепаратора	52
3.1 Програма та методика	52
3.2 Обробка результатів багатофакторного експерименту	57
3.3 Аналіз отриманих результатів	61
3.4 Висновки по розділу	62
4 Охорона праці	63
4.1 Загальні вимоги	63
4.2 Проект інструкції з охорони праці при роботі з сепаратором молока	64
4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	66
4.4 Висновки до розділу	67
5 Економічна оцінка удосконалення	68

5.1 Вихідні дані	68
5.2 Розрахунок показників економічної ефективності	69
5.3 Висновки по розділу	70
Загальні висновки	71
Бібліографія	73

ВСТУП

Актуальність теми. Основною продукцією молочного скотарства с.-г. підприємств є незбиране молоко, яке, як і його складові (вершки і знежирене молоко), використовується як сировина для виробництва різних молочних продуктів. Для цього в складі більшості технологічних ліній виробництва молочної продукції застосовуються сепаратори-вершковідокремлювачі. Сьогодні існує безліч конструкцій сепараторів, що відрізняються по типу привода, способу подачі молока і відводу продуктів сепарування, конструкції барабана, тарілок та ін. Незважаючи на конструктивні відмінності, усі сепаратори, що серійно випускаються, працюють за принципом тонкошарового відцентрового поділу.

При цьому молоко в пакет тарілок подається по вертикальних каналах, утворених отворами в тарілках, знизу нагору, не маючи жорсткого обрису меж, паралельних осі обертання, тому що отвори однієї тарілки частково перекривають отвори іншої, через недостатньо точне їхнє виготовлення. Крім того, при русі молока на заповнення пакета тарілок впливають різні опори, які призводять до зниження напору на верхніх тарілках і продуктивності їх окремих просторів, а найбільш великі жирові кульки, в основному, відділяються при русі в області нижніх тарілок. Це приводить до того, що нижні тарілки працюють у більш жорсткому режимі ніж верхні і спостерігається зниження продуктивності сепаратора в цілому.

Одним з пунктів Національного проекту «Відроджене скотарство» [1] є технічна і технологічна модернізація АПК, без якої неможливо повною мірою забезпечити конкурентоспроможність продукції і підвищити економічну безпеку країни. Тому робота, присвячена розробці нових конструкцій сепараторів-вершковідокремлювачів, що сприяють підвищенню їх продуктивності, є актуальною і має важливе народногосподарське значення.

Удосконаленню сепараторів-вершковідокремлювачів присвячені роботи багатьох вчених та інженерів. Ними були вивчені і викладені основні положення поділу рідин на відцентрових апаратах, розроблені методики досліджень і розрахунків, обґрунтовані різні конструкції сепараторів, покликані підвищити їхню продуктивність і якість поділу дисперсних рідин.

Однак дотепер питання підвищення продуктивності сепараторів-вершковідокремлювачів більш рівномірним заповненням просторів між тарілками є мало дослідженим і вимагає нових конструкторських рішень.

Мета досліджень - підвищення продуктивності сепаратора-вершковідокремлювача з лопатевим тарілкотримачем шляхом рівномірного заповнення просторів між тарілками молоком. Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Базуючись на розглянутих технічних рішеннях розробити конструкційно-технологічну схему і конструкцію сепаратора-вершковідокремлювача з лопатевим тарілкотримачем.
2. Теоретично дослідити продуктивність розробленого сепаратора і обґрунтувати його конструктивні, кінематичні і технологічні параметри.
3. Реалізувати дослідний зразок розробленого сепаратора та провести його експериментальні дослідження в лабораторних умовах.
4. Розглянути питання охорони праці при проведенні експериментальних досліджень та роботі розробленого сепаратора на виробництві.
5. Визначити техніко-економічну ефективність застосування удосконаленого сепаратора.

1 СТАН ПИТАННЯ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ МОЛОКА

1.1 Аналіз ефективності процесу сепарації молока

Молоко – це продукт нормальної фізіологічної секреції молочних залоз сільськогосподарських тварин, отриманий від одної або декількох тварин у період лактації при одному і більше доїннях без додавання до цього продукту або вилучення будь-яких речовин з нього. Серед сільськогосподарських тварин, що продукують молоко, основну частину становлять корови. Основними властивостями молока, як сировини є склад, ступінь чистоти, органолептичні, хіміко-біологічні та фізико-механічні властивості.

Склад молока залежить від виду тварин, породи, віку, періоду лактації, умов утримання, раціону годівлі і ряду інших факторів, тому є непостійним. Основними складовими частинами молока є: вода, молочний жир, білки, молочний цукор, солі органічних і неорганічних кислот, ферменти, вітаміни і гази.

Молоко прийнято розглядати як багатофазну полідисперсну суміш (рис. 1.1), де в ролі дисперсного середовища виступає плазма 2 з розчиненими в ній молочним цукром і солями.

У колоїдній фазі перебувають білки, а в дрібнодисперсній фазі – молочний жир у вигляді крапель 1, оточених лецитино-білковою оболонкою.

Безсумнівно, молочний жир є основною складовою молока. Його масова частка становить близько 30 % сухої речовини молока. Ефективність сепарування залежить від сезонних змін складу молока, які прямо залежать від харчової цінності кормів, лактаційного періоду і т. д.. На ефективність сепарування прямо впливають технологічні процеси, використовувані при виробництві молока, і такі технологічні фактори, як температура сепарування, кислотність молока, забруднення молока механічними домішками, розмір і щільність жирових кульок, масова частка жиру в молоці, попередня обробка, щільність і в'язкість молока. Крім того, серед основних конструктивних факторів можна виділити:

кількість і величину просторів між тарілками, форму тарілок, напрямок подачі молока в барабан, спосіб подачі молока в пакет тарілок та ін.

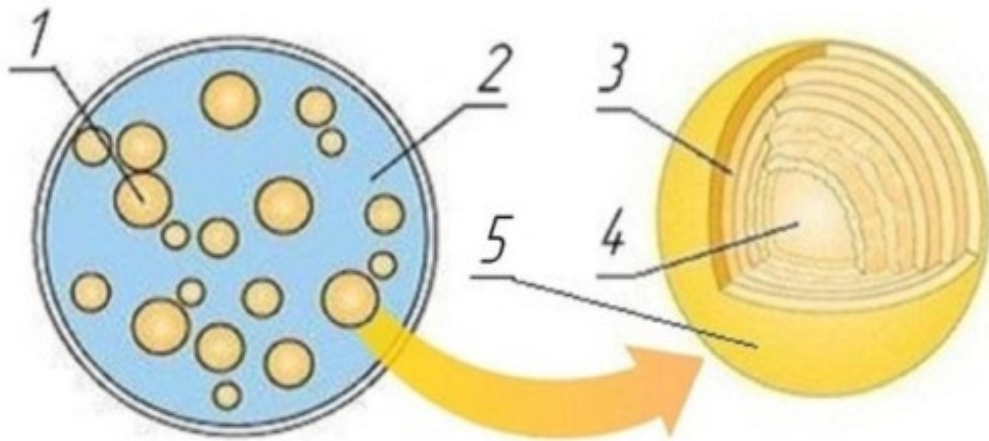


Рисунок 1.1 – Мікрометричний склад молока: 1 – жирова кулька; 2 – плазма молока; 3 – твердий молочний жир; 4 – рідкий молочний жир; 5 – лецитино-білкова оболонка

До кінематичного параметра відноситься кутова швидкість барабана. Оптимальною температурою молока при сепаруванні вважається від 35 до 45 °С. Підвищення температури молока при сепаруванні вище вказаного інтервалу сприяє денатурації білків молока, тобто зменшенню в розмірах або повне руйнування жирових кульок. При цьому частина дрібних жирових кульок потрапляє в знежирене молоко, грязьовий простір барабана сепаратора при цьому швидко заповнюється сепараторним слизом. Також має місце спінювання вершків і знежиреного молока, що, безсумнівно, приводить до погіршення виділення жиру. Сильне спінювання вершків може негативно відбитися на їхній подальшій технологічній обробці, оскільки це приводить до утворення дрібного масляного зерна (жирових грудок). При цьому частина дрібних жирових кульок, яка все-таки попадає у вершки, наприклад при виробництві масла, переходить у сколотини, що зменшує ступінь використання молочного жиру.

При сепаруванні молока з низькою температурою заощаджується електроенергія, уповільнюється розвиток мікроорганізмів, жирові кульки зазнають меншому впливу, тому у своїй структурі вершки більш стабільні і меншою мірою піддані псуванню. Але істотним недоліком сепарування холодного молока є зниження ефективності відділення жиру, тому що в'язкість охолодженого молока більше, ніж підігрітого до температури від 35 до 45 °С. це пов'язано з тим, що зі збільшенням в'язкості молока знижується швидкість спливання жирових кульок і, як наслідок, можливість їх виділення з молока.

Кислотність молока, відповідно до ДСТУ 3662-97, повинна перебувати в межах від 16 до 21 °Т. Підвищена кислотність приводить до часткової коагуляції білків молока. Пластівці білка швидко заповнюють грязьовий простір барабана сепаратора, що тягне відведення жирових кульок у знежирене молоко і його забруднення механічними домішками. Щоб уникнути цього, при підвищеній кислотності молока, потрібно частіше зупиняти сепаратор на мийку або застосовувати саморозвантажні сепаратори. Щоб уникнути зменшення ефективності сепарування, рекомендується сепарувати молоко кислотністю не вище 20°Т.

Забруднення молока визначається, відповідно до ДСТУ 3662-97, по групі чистоти молока. Група чистоти молока, як сировини для подальшої переробки, відповідно до ДСТУ, повинна бути не нижче II. Підвищене забруднення молока механічними домішками приводить до зниження ефективності сепарування через швидке заповнення грязьового простору барабана сепаратора й наступного відведення жирових кульок у знежирене молоко. Збільшення механічних домішок підвищує ризик бактеріального забруднення молока, тому що оптимальна температура сепарування сприятлива для розвитку мікрофлори.

Ступінь знежирення залежить від розміру жирових кульок молока. Діаметр жирових кульок молока з різних джерел коливається від 0,5 мкм до 10,0 мкм. Продуктивність сепаратора залежить від мінімального розміру жирової кульки, яка можна відокремити на даному сепараторі. Чим менше розмір жирових кульок, тем складніше виділити їх із плазми молока. Щільність жирових

кульок визначають як середню величину щільності жиру і білкової оболонки. Відношення розміру жирової кульки до товщини оболонки обумовлюється, головним чином, його діаметром. Чим менше діаметр, тим більше частка оболонки та вище вплив білкового шару, що збільшує щільність жирової кульки. При товщині оболонки 0,02 мкм жирова кулька діаметром 1 мкм має щільність в 1,1 рази більшу, ніж жирова кулька діаметром 3 мкм. При деякому розмірі жирової кульки настає рівність щільностей плазми молока і жиру. Коли щільність жирової кульки дорівнює щільності плазми молока, то швидкість його спливання для такої кульки буде дорівнює нулю. Це значить, що жирові кульки при сепаруванні молока, імовірно, будуть відводитись в знежирене молоко.

Таким чином, ефективність сепарування молока залежить від кількості жирових кульок критичного діаметра. На їхню кількість впливає попередня механічна обробка молока, застосовувана для дроблення жирових кульок (використання відцентрових насосів для перекачування молока, гомогенізація та ін.).

Знизити втрати жиру в знежирене молоко можна за допомогою різних прийомів: збільшити температуру сепарування, знизити продуктивність сепаратора, збільшити частоту обертання барабана сепаратора і т.д. Якщо збільшити подачу або знизити частоту обертання барабана, то ефективність сепарування відповідно зменшиться. Тому подачу молока в барабан сепаратора необхідно підтримувати постійною і, у порівнянні з паспортними даними, не змінюючи частоту обертання барабана. Збільшення швидкості потоку, а також збільшення відстані між тарілками, приводить до зниження ефективності сепарування, тому що шлях жирової кульки в радіальному напрямку збільшується, а час проходження цього шляху, через зростання швидкості потоку, зменшується, і жирова кулька, навіть не критичного розміру, буде забиратися потоком знежиреного молока. Тому оптимальна відстань між тарілками сепараторів становить від 0,25 до 0,45 мм.

1.2 Огляд конструкцій сепараторів вершковідокремлювачів

Молочний відцентровий сепаратор являє собою машину для поділу і/або згущення молочних гетерогенних систем за рахунок дії відцентрових сил. Сьогодні існує безліч конструкцій молочних відцентрових сепараторів, а їх використання, насамперед, регламентується залежно від призначення (сепарування, нормалізація, очищення сирого молока, виділення сирного згустку).

Сепарування – це процес поділу сирого молока або продуктів переробки молока на дві фракції зі зниженим і підвищеним вмістом жиру. Сепарування здійснюється або за допомогою сепараторів-вершковідокремлювачів при поділі сирого молока на фракції і отримання вершків класичної (до 40 %) або підвищеної (до 85 %) жирності, або за допомогою спеціальних сепараторів, що здійснюють знежирення продуктів переробки молока, таких як склотини і молочна сироватка.

Виділення сирного згустку – це процес, при якому сирний згусток відділяється на спеціальних сирних сепараторах від сироватки.

Нормалізація – процес регулювання вмісту і співвідношення складових частин молока в сирому виді або продуктах переробки молока для досягнення показників, установлених різними нормативно-правовими документами. Нормалізація сепараторами здійснюється шляхом вилучення із продукту складових частин молока, молочних продуктів і їх окремих складових частин з метою зниження значень масової частки жиру, масової частки білка і масової частки сухих речовин. Нормалізація молока по його основних показниках проводиться за допомогою сепараторів-нормалізаторів.

Очищення сирого молока – процес видалення з сирого молока механічних домішок і мікроорганізмів із застосуванням відцентрової сили і спеціального обладнання – сепараторів-молокоочисників.

Молочний відцентровий сепаратор, призначений для поділу молока на вершки і знежирене молоко з одночасним очищенням їх від механічних і біологічних домішок, називається сепаратором-вершковідокремлювачем.

За типом привода розрізняють сепаратори-вершковідокремлювачі з ручним, електромеханічним, безредукторним і комбінованим. Частина сепараторів, використовувана в особистих підсобних господарствах, має ручний тип привода, що обумовлюється невеликим об'ємом виробництва молока. Найбільше поширення для підприємств усіх форм власності отримали сепаратори з електромеханічним приводом. Електромеханічний привод у більшості випадків має постійну частоту обертання від 6000 до 12000 хв⁻¹. Однак останнім часом стали застосовуватися приводи із плавно змінюваною частотою обертання барабана з метою регулювання жирності вершків. Останні наукові праці показують можливість застосування безредукторного привода, наприклад, соплового. Застосування комбінованого типу привода включає можливість використання або ручного, або електромеханічного типу.

За способом подачі молока і відводу продуктів сепарування прийнято піділювати сепаратори-вершковідокремлювачі залежно від продуктивності на відкриті із продуктивністю до 0,3 кг/с, напівзакриті (напівгерметичні) із продуктивністю від 0,3 до 1,0 кг/с і закриті (герметичні) із продуктивністю більше 1,0 кг/с. Відкритими називаються сепаратори, у яких подача молока в барабан і відвід продуктів сепарування на виході здійснюється відкритим потоком і не ізольовано від доступу повітря. Напівзакритими називаються сепаратори, у яких молоко подається в барабан відкритим потоком, а відвід продуктів сепарування здійснюється під тиском по закритих трубопроводах. При цьому процес сепарування не ізольований від доступу повітря. Барабани таких сепараторів оснащені пристроєм для виводу продуктів сепарування під тиском, тобто напірними дисками. Закритими називаються сепаратори, у яких подача й відвід молока з барабана здійснюється по закритих трубопроводах, герметично з'єднаних з випускними патрубками. Тут процес сепарування ізольований від доступу повітря.

За способом видалення з барабана домішок механічного і біологічного походження сепаратори-вершковідокремлювачі можуть бути або з ручним пе-

ріодичним або з відцентровим пульсуючим вивантаженням осаду. Ручне вивантаження осаду передбачає деяку періодичність (у середньому 30...40 хв) і потребує розбирання і очищення корпусу барабана після зупинки сепаратора. У саморозвантажних сепараторів очищення може бути здійснено або через деякий проміжок часу за допомогою скидних вікон у корпусі барабана (визначається продуктивністю сепаратора і об'ємом шламового простору, передбачає короткочасне призупинення роботи сепаратора), або з використанням пульсуючого скидання (конструктивна відмінність).

За конструкцією барабана сепаратори-вершковідокремлювачі розділяють на тарілчасті і камерні. Барабан тарілчастих сепараторів укомплектований пакетом тарілок, які ділять потік оброблюваної рідини на паралельні тонкі шари. Барабан камерних сепараторів має реберну вставку (при одній камері) або комплект концентричних циліндричних вставок, що розділяють його об'єм на кільцеві камери, по яких оброблювана рідина протікає послідовно.

За формою поверхні тарілок розрізняють конічні, гофровані і криволінійні. Криволінійні тарілки можуть бути виконані параболічними, гіперболічними і по дузі кола. Найбільше поширення одержали конічні тарілки, як найбільш прості у виготовленні з урахуванням складності протікання технологічного процесу.

За напрямом подачі молока в барабан розрізняють з верхньою або нижньою подачею. За способом подачі молока в пакет тарілок сепаратори класифікуються: по каналах, утворених отворами в тарілках; по каналах, утворених лопатями тарілко-тримача. Дослідження ряду авторів визначили, що від рівномірності подачі молока в простір між тарілками барабана залежить і продуктивність сепаратора. Найбільш рівномірний розподіл спостерігається при подачі молока в пакет тарілок по каналах, утворених лопатями тарілотримача.

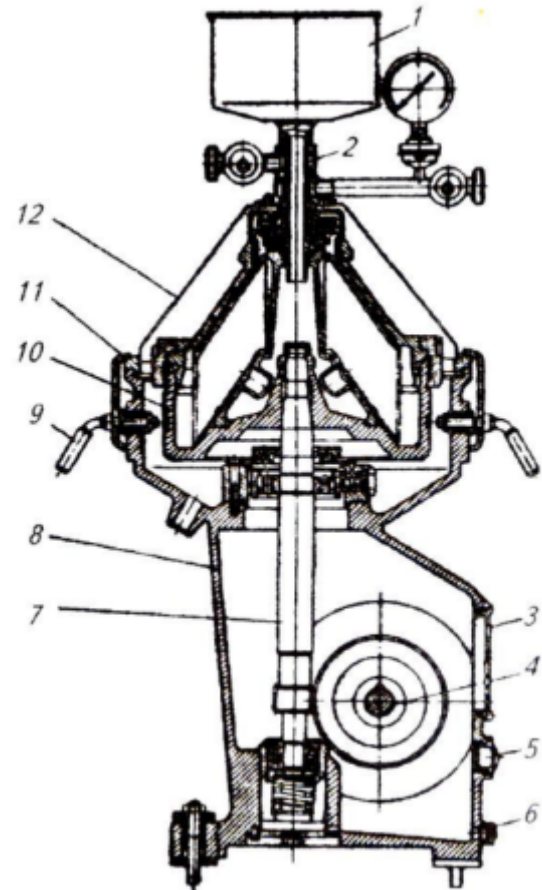
За формою лопатей тарілотримача розрізняють прямолінійні і криволінійні. При цьому лопаті можуть бути або радіальними, або відігнуті протилежно напрямку обертання барабана. Через вищі динамічні навантаження доцільно

застосування криволінійних лопатей, відігнутих протилежно напрямку обертання, що забезпечують плавну зміну швидкостей потоку і його напрямку руху.

Відомий напівзакритий сепаратор Г9-ОСП, який має станину 8 (рис. 1.2) зі змонтованим у ній приводом, що складаються із вертикального 7 і горизонтального 4 валів.



а



б

Рисунок 1.2 – Сепаратор Г9-ОСП: а) загальний вид; б) конструктивна схема: 1 – приймач молока; 2 – приймально-вивідний пристрій; 3 – кришка; 4 – вал горизонтальний; 5 – показчик рівня мастила; 6 – пробка; 7 – вал вертикальний; 8 – станина; 9 – гвинт упорний; 10 – барабан; 11 – планка; 12 – ковпак

У чаші станини на вертикальному валу встановлений барабан 10, закритий зверху зафіксованим на станині планками 11, полегшеним ковпаком 12. На ковпаку розміщений приймально-вивідний пристрій 2 із приймачем молока 1. У станину вмонтовані показчик рівня мастила 5, вікно із кришкою 3 і отвір із

пробкою 6. На горизонтальному приводному валу розташовані відцентрова фрикційна муфта з бандажем 13, привод тахометра 1, шестірня 5 показника кількості обертів барабана. Головним недоліком даного сепаратора є нерівномірність заповнення просторів між тарілками, що знижує його продуктивність.

Відомий сепаратор-вершковідокремлювач ОСН-С (рис. 1.3) напівзакритого типу з автоматичним вивантаженням осаду.

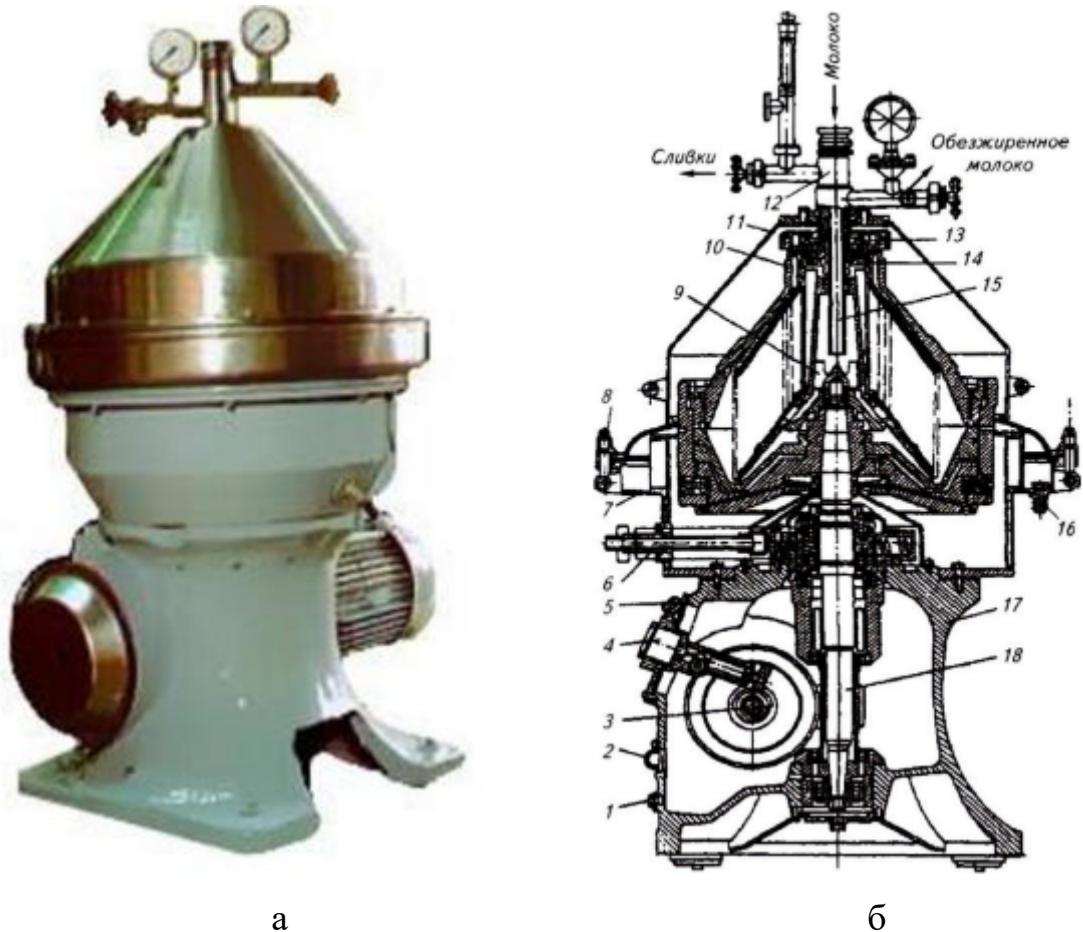


Рисунок 1.3 – Сепаратор ОСН-С: а) загальний вид; б) конструктивна схема: 1 – пробка зливальна; 2 – показчик рівня мастила; 3 – вал горизонтальний; 4 – тахометр; 5 – пробка заливна; 6 – трубка підведення води; 7 – приймач осаду; 8 – затискач; 9 – гайка; 10 – барабан; 11 – кришка; 12 – приймально-вивідний пристрій; 13 - диск напору відвійок; 14 – диск напору вершків; 15 – трубка центральна; 16 – штуцер підведення води; 17 – станина; 18 – вал вертикальний

Складається зі станини 17 з розташованими на ній показчиком рівня мастила 2, зливальною пробкою 1, заливною пробкою 5, тахометром 4; приймально-відвідного пристрою 12, приймача осаду 7, горизонтального вала 3, трубки 6 для підведення води, гайки 9, затискача 8, штуцера підведення води 16, кришки 11, розташованого на вертикальному валу 18 барабана 10.

Молоко по центральній трубці 15 подається в обертовий барабан 10, проходить через отвори тарілко-тримача і вертикальні канали пакета тарілок, розподіляється в просторах між тарілками і розділяється на вершки, що відтискуються до осі обертання барабана, і молочні відвійки, що відтискуються до периферії барабана. Вершки і молочні відвійки виводяться, відповідно, через камери напірних дисків 14 і 13. Поршень барабана при цьому закритий. В об'ємі під поршнем перебуває вода. Домішки, що виділяються з молока, відтискуються до периферії барабана, де накопичуються і ущільнюються. Розвантажують сепаратор в один або два етапи. При одноетапному розвантаженні осад вивантажують без перекриття пристрою подачі молока. При цьому вивантажується лише частина осаду, щоб уникнути втрати молока. При двоетапному розвантаженні перекривається подача молока, видаляється рідина з пакета тарілок, а потім відкриваються щілини для вивантаження осаду.

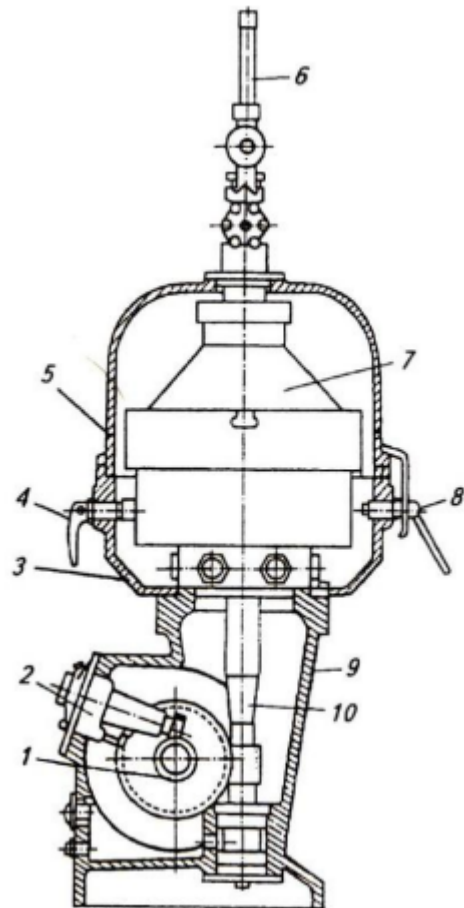
Головним недоліком даного сепаратора, як і в Г9-ОСП, є нерівномірність заповнення просторів між тарілками, що знижує його продуктивність.

Відомий сепаратор-вершковіддільник напівзакритого типу з ручним вивантаженням осаду Ж5-ОСТ2Т-3, призначений для безперервного поділу молока на вершки і знежирене молоко з одночасним очищенням від механічних домішок і молочного слизу. Включає станину 9 (рис. 1.4) із приводним пристроєм, приймально-випускний пристрій 6, барабан 7, тахометр 2. Приводний пристрій складається з відцентрової фрикційної муфти, вертикального 10 і горизонтального 1 валів.

Молоко надходить в обертовий барабан по центральній трубці. З вертикальних каналів, утворених отворами проміжних тарілок, молоко розподіляється в просторах між тарілками і розділяється на вершки і знежирене молоко під дією відцентрової сили.



а



б

Рисунок 1.4 – Сепаратор Ж5-ОСТ2Т-3: а) загальний вид; б) конструктивна схема: 1 – вал горизонтальний; 2 – тахометр; 3 – чаша; 4 – гальмо; 5 – кришка; 6 – приймально-випускний пристрій; 7 – барабан; 8 – стопор; 9 – станина; 10 – вал вертикальний

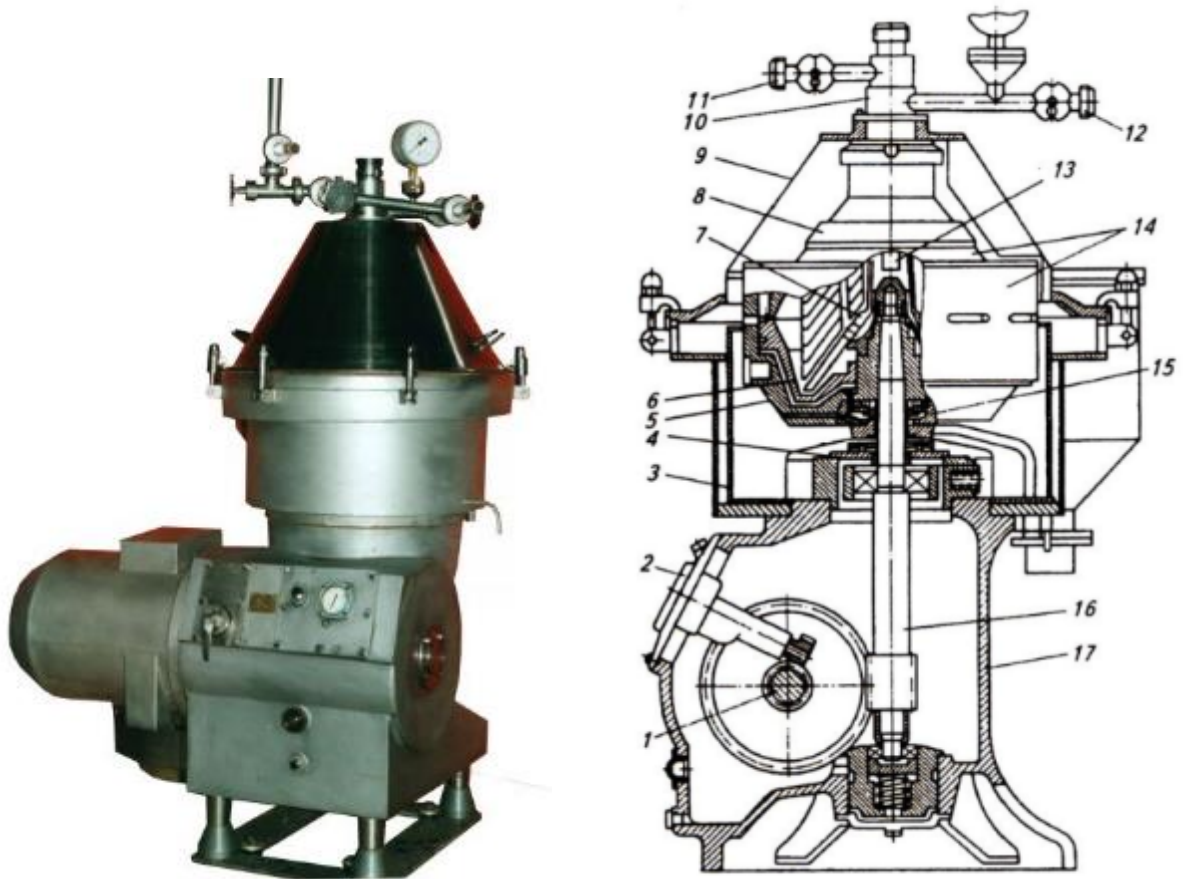
Знежирене молоко рухається по нижніх поверхнях тарілок до периферії барабана, а вершки по верхніх поверхнях тарілок до осі обертання барабана піднімаються по зовнішніх каналах тарілко-тримача нагору і попадають у напірну камеру, звідки захоплюються диском і виводяться в трубопровід для вершків

через приймально-випускний пристрій. Потік знежиреного молока проходить під тиском між внутрішньою поверхнею кришки барабана і зовнішньою поверхнею розділової тарілки і попадає в камеру для знежиреного молока, звідки захоплюється диском і виводиться в трубопровід для знежиреного молока через приймально-випускний пристрій.

Головним недоліком даного сепаратора, як і раніше розглянутих, є нерівномірність заповнення просторів між тарілками, що знижує його продуктивність.

Відомий молочний сепаратор для поділу теплого незбираного молока на вершки та знежирене молоко з одночасним очищенням їх від забруднення із частковим автоматичним відцентровим вивантаженням осаду А1-ОЦР-5 (рис. 1.5).

Складається зі станини 17 і розміщеними на ній тахометром 2, приймачем осаду 3, барабаном 14, приймально-вивідним пристроєм 10, кришкою сепаратора 9 і гідровузла 15. У станині на обертовому вертикальному валу розміщений барабан, що полягає з підстави 5, тарілотримача 7 з пакетом тарілок, поршня 6, кришки 8, зтяжного кільця й напірної камери. Приймач осаду закріплений на верхньому торці станини. Приймально-вивідний пристрій складається з живильної трубки 13 і системи, що полягає з лінії відводу вершків з витратоміром і лінії відводу знежиреного молока з манометром. Після набору барабаном робочої частоти обертання відкривають кран підведення води й заповнюють гідросистему сепаратора. Молоко подається в барабан по трубопроводу й розділяється на фракції, що надходять у відповідні камери напірних дисків, і під тиском виводяться у відповідні трубопроводи. Грязьовий осад відтискується до периферії барабана, звідки автоматично віддаляється. Особливістю даного сепаратора є його здатність до часткового розвантаження, при яким під дією відцентрової сили з барабана віддаляється лише осад, а молоко залишається в барабані. Передбачене як повне, так і часткове вивантаження осаду.



а

Рисунок 1.5 – Сепаратор А1- ОЦР-5: а) загальний вид; б) конструктивна схема: 1 – вал горизонтальний; 2 – тахометр; 3 – приймач осаду; 4 – верхня опора; 5 – вставка; 6 – поршень; 7 – тарілко-тримач; 8 – кришка барабана; 9 – кришка сепаратора; 10 – приймально-вивідний пристрій; 11 – лінія відводу вершків; 12 – лінія відводу знежиреного молока; 13 – трубка подачі; 14 – барабан; 15 – гідровузол; 16 – вал вертикальний; 17 – станина

Головним недоліком даного сепаратора також є нерівномірність заповнення просторів між тарілками, що знижує його продуктивність.

Відомий сепаратор-вершковіддільник РЗ-ОПС, що складається з редуктора 1 (рис. 1.6) з ручним приводом, барабана 2 і приймально-вивідного пристрою. Приймально-вивідний пристрій забезпечує рівномірну подачу молока в барабан, відвід знежиреного молока та вершків і містить у собі поплавкову камеру 6 з поплавцем 5, приймач 4 молока із краном 3, патрубки 7, 8 відводу,

відповідно, вершків і знежиреного молока. Молоко із приймача 4 молока через кран 3 і поплавкову камеру 6 з поплавцем 5 подається в барабан 2, у якому через центральну трубку і отвори тарілко-тримача заповнює простір між тарілками. Поплавець 5 забезпечує подачу постійної кількості молока в барабан 2.

В барабані 2 під дією відцентрових сил відбувається поділ молока на вершки і знежирене молоко: вершки піднімаються нагору і через отвори в розділовій тарілці потрапляють в патрубок відводу вершків 7, а знежирене молоко в патрубок відводу знежиреного молока 8. Головним недоліком даного сепаратора є нерівномірність заповнення пакета тарілок по висоті, що знижує його продуктивність.

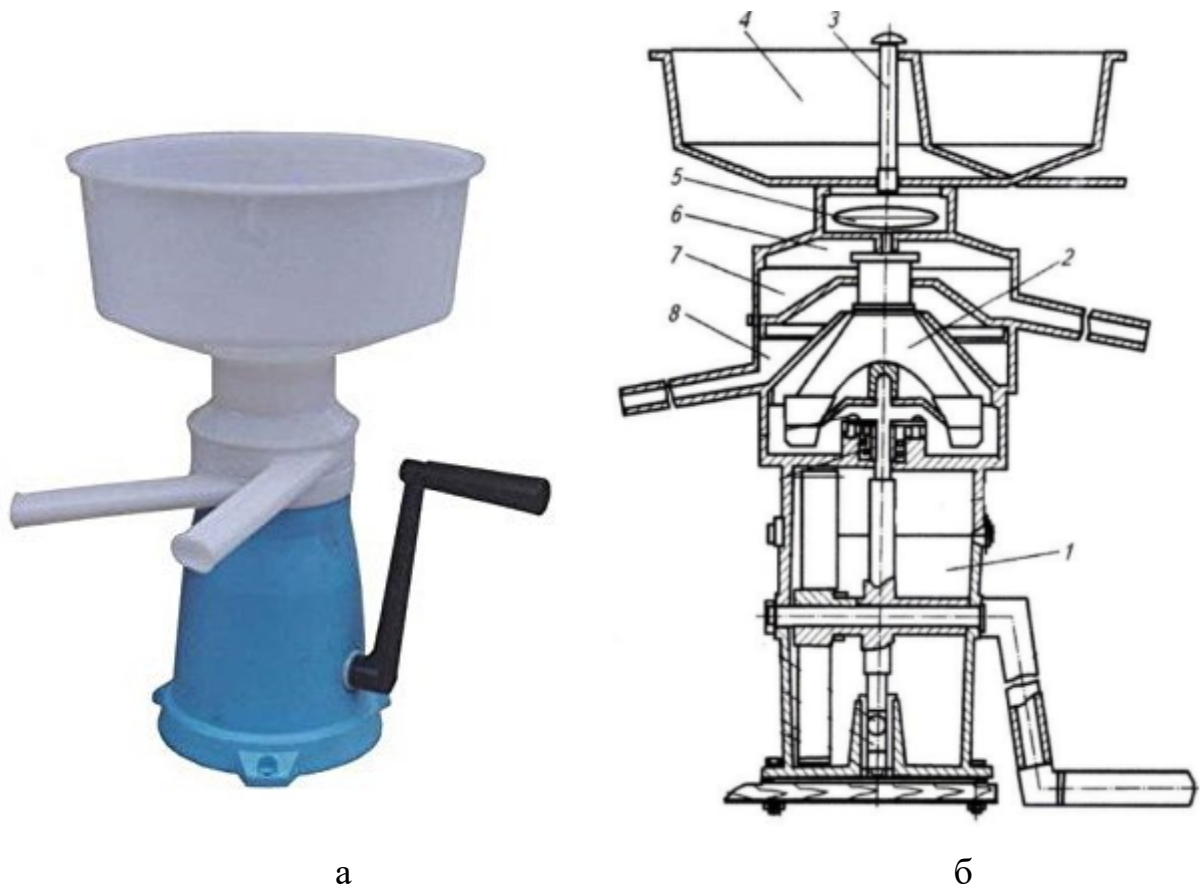


Рисунок 1.6 – Сепаратор РЗ-ОПС: а) загальний вид; б) конструктивна схема: 1 – редуктор; 2 – барабан; 3 – кран; 4 – приймач молока; 5 – поплавець; 6 – камера поплавкова; 7 – патрубок відводу вершків; 8 – патрубок відводу знежиреного молока

Відомий сепаратор «Мотор Січ СЦМ-80», виконаний у корпусі 5 (рис. 1.7), усередині якого встановлені електродвигун 7 привода і барабан 4. На корпусі розташовані поплавкова камера 9 з поплавцем 3, молокоприймач 2 із краном 1, приймачі відвійок і вершків, відповідно 10 і 11, вимикач 6. Електродвигун закріплено в корпусі 5 шпильками 8 через амортизатори 9. Технологічною особливістю даного сепаратора є конструкція барабана 4, а саме: набір тарілок двох типів. Для створення рівномірного потоку, отвори в тарілках зміщені стосовно випуклостей на конічних поверхнях тарілок, потрібних для утворення зазору.

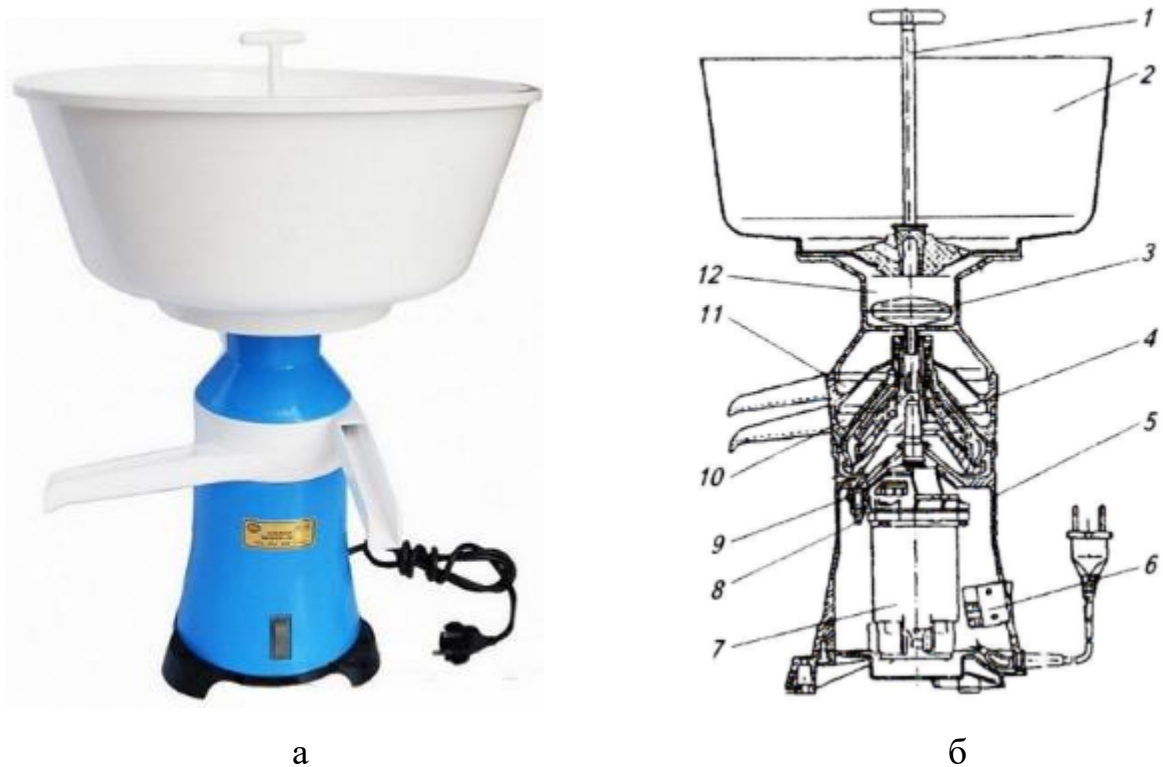


Рисунок 1.7 – Сепаратор «Мотор Січ СЦМ-80»: а) загальний вид; б) конструктивна схема: 1 – кран; 2 – молокоприймач ; 3 – поплавець; 4 – барабан; 5 – корпус; 6 – вимикач; 7 – електродвигун; 8 – шпилька; 9 – амортизатор; 10 – приймач відвійок; 11 – приймач вершків; 12 – поплавкова камера

Відомий сепаратор побутовий електричний ПРІД-50-12, призначений для поділу незбираного молока на вершки і знежирене молоко з одночасним очищенням від домішок. У конструкції даного сепаратора застосовані елементи,

що створюють зручності при експлуатації, а саме: регулювання жирності вершків без зупинки барабана і запам'ятовування встановленого режиму сепарування. Складається з корпусу 1 (рис. 1.8) із блоком керування 3, вимикачем 7 і регулятором 8 частоти обертання барабана, електродвигуна 2, молокоприймача 11, крана 12 із пробкою 13, поплавкової камери 14 з поплавцем 15, приймача вершків і відвійок, відповідно 16 і 17. Регулювання барабана по висоті здійснюється за допомогою гвинта 4 і гайки 5. Електроживлення підводить через вимикач 7 по шнуру 6. Кріплення сепаратора здійснюється за допомогою шпильки 10 і гайки 9.

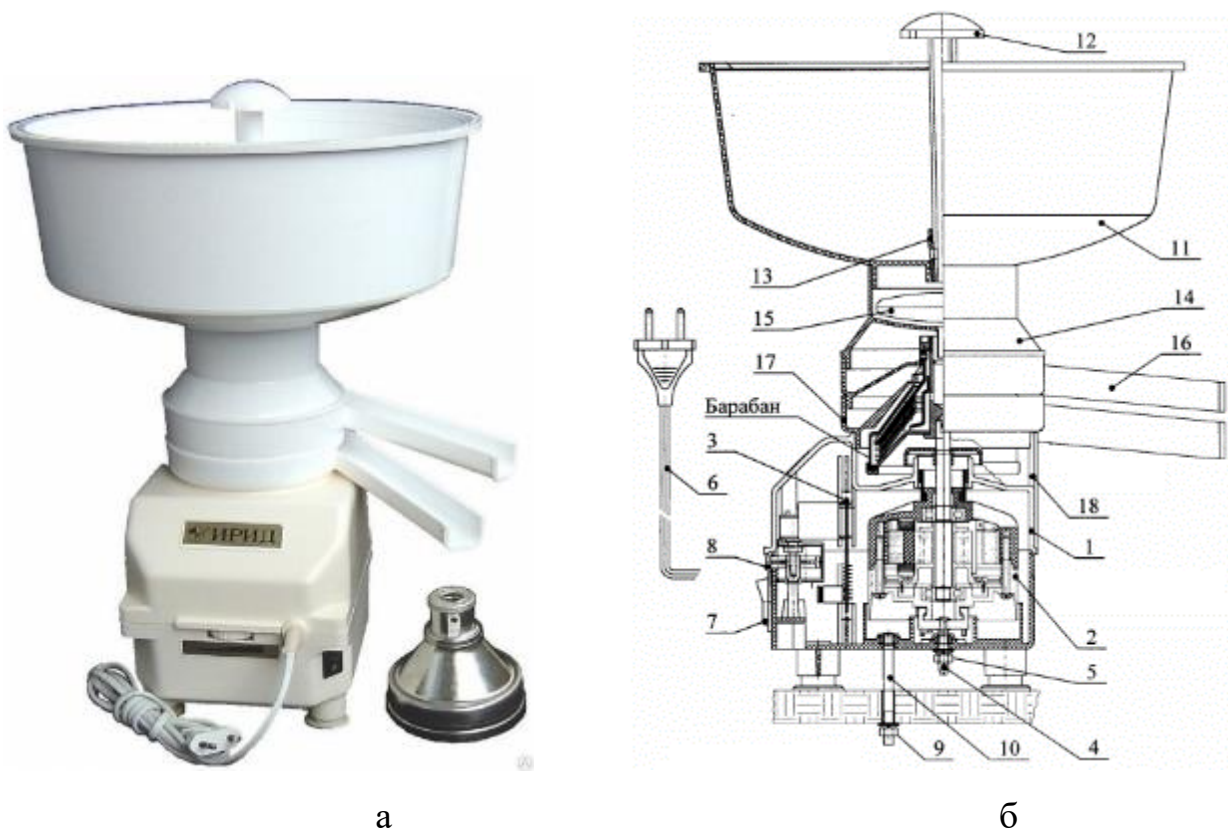


Рисунок 1.8 – Сепаратор ПІД-50-12: а) загальний вид; б) конструктивна схема: 1 – корпус; 2 – електродвигун; 3 – блок керування; 4 – гвинт; 5 – гайка; 6 – шнур; 7 – вимикач; 8 – регулятор частоти обертання; 9 – гайка; 10 – шпилька; 11 – молокоприймач; 12 – кран; 13 – пробка крана; 14 – поплавкова камера; 15 – поплавець; 16 – приймач вершків; 17 – приймач відвійок

1.3 Технологічний процес сепарування молока

Обґрунтований вибір технологічних операцій і їх оптимальної кількості в складі лінії первинної обробки і переробки молока визначається видом продукції, що випускається, господарств із різною формою власності і їх реалізацією. З урахуванням реалій теперішнього часу розрізняють три схеми реалізації молока і молочних продуктів споживачеві залежно від виду кінцевого продукту:

–доїння з первинною обробкою молока (в основному фільтрування і охолодження) і далі реалізація на підприємства молочної промисловості. Дана схема характерна для особистих приватних, селянсько-фермерських господарств, а також тваринницьких підприємств, що здійснюють виробництво молока-сировини;

–доїння з первинною обробкою молока (очищення або фільтрування, охолодження, пастеризація) і далі реалізація на підприємства молочної промисловості. Дана схема характерна для тваринницьких підприємств, що здійснюють виробництво молока-сировини, у виді нерозвиненості власного переробного виробництва;

–доїння з первинною обробкою і переробкою молока і далі використання для особистих потреб або реалізація через торговельні мережі. Дана схема характерна для особистих підсобних, селянсько-фермерських господарств, а також тваринницьких підприємств, що здійснюють виробництво різних видів молочної продукції.

Перша схема має сьогодні найбільше поширення, однак не використовує всього можливого фінансового потенціалу від виробництва молока, тому що реалізація його як сировини, знижує його вартість через монополістичне ціноутворення молокоприймальних структур підприємств молочної промисловості, що здійснюють збір.

Друга схема має поширення тільки на великих тваринницьких підприємствах і виконується по заздалегідь досягнутій домовленості з підприємствами

молочної промисловості. Дана схема має перевагу перед першою схемою, тому що при проведенні ряду технологічних операцій первинної обробки молока сприяє стабілізації якісних показників і підвищенню ціни реалізації молока підприємствам молочної промисловості.

Третя схема є найрозвиненішою і найбільш перспективною для розвитку сільськогосподарського товаровиробника, тому що ґрунтується переважно на закінченому виробничому циклі. Основними технологічними операціями при виробництві молока і молочної продукції є: доїння, облік, транспортування, зважування, охолодження, очищення, фільтрування, сепарування, нормалізація, пастеризація, стерилізація, дозрівання, збивання та ін. При цьому при роботі із третьої схеми реалізації молока і молочних продуктів споживачеві залежно від виду кінцевого продукту, а це вершки і продукти його переробки, невід'ємною операцією є сепарування молока.

Сепаратори-вершковідокремлювачі повинні задовольняти ряду вимог і мають наступні критерії оцінки: мінімальне значення фактора поділу (індекс продуктивності) не менш $7,4 \cdot 10^3$, об'ємна пропускну здатність по воді, знежирення молока не менш 0,05 %, споживана потужність не більш 80 Вт (для відкритих сепараторів-вершковідокремлювачів із продуктивністю до 500 л/год), регулювання об'ємного відношення вершків до знежиреного молока (для сепараторів-вершковідокремлювачів із продуктивністю від 50 до 1000 л/год від 1:4 до 1:10). Крім того, доцільне введення такого критерію оцінки, як рівномірність заповнення просторів між тарілками, що безпосередньо впливає на продуктивність. Усі перераховані критерії оцінки, в остаточному підсумку, можуть бути враховані рівнем знежирення молока F_3 і продуктивністю F_{II} .

Аналіз роботи існуючих конструкцій сепараторів дозволив розробити узагальнену структурно-функціональну схему технологічного процесу сепарування молока (рис. 1.9), який має комплекс функцій: X_i – функція зовнішнього впливу (фізико-хімічні властивості молока); Y_i – функція стану пристрою (нерегульовані параметри); Z_i – функція керованого впливу (регульовані параметри).

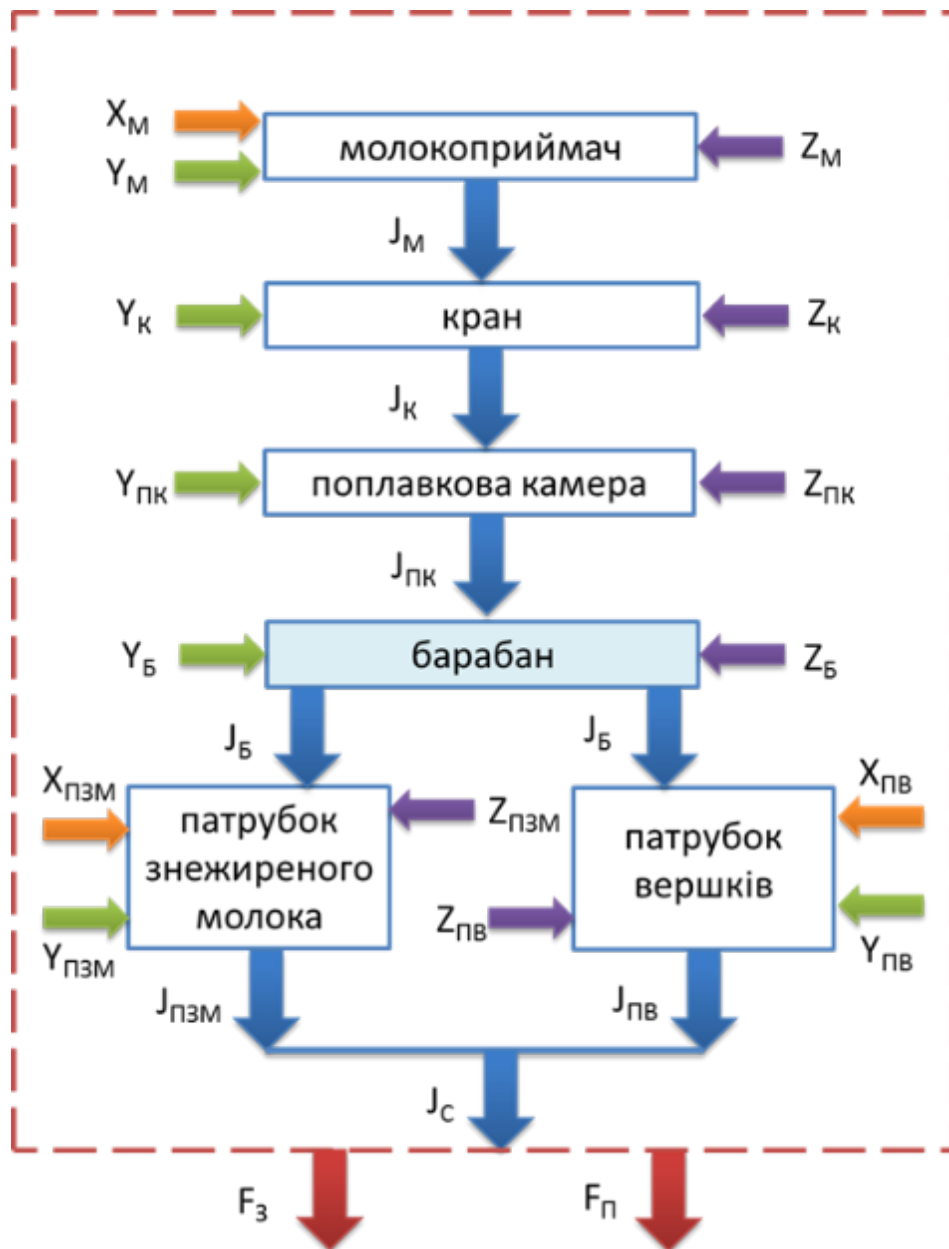


Рисунок 1.9 – Структурно-функціональна схема технологічного процесу сепарування молока: X_i – функція зовнішнього впливу; Y_i – функція стану пристрою; Z_i – функція керованого впливу; J_i – результуюча функція; F_i – критерій оцінки; індекси: М – молокоприймач; К – кран; ПК – поплавкова камера; Б – барабан; ПЗМ – патрубок знежиреного молока; ПВ – патрубок вершків; С – сепаратор; З – ступінь знежирення; П – продуктивність

Функція технологічного процесу сепарування молока визначиться наступною залежністю:

$$F_C = f(J_C) = f(J_M, J_K, J_{ПК}, J_B, J_{ПЗМ}, J_{ПВ}), \quad (1.1)$$

де $J_M, J_K, J_{ПК}, J_B, J_{ПЗМ}, J_{ПВ}$ – результуюча функція відповідно сепаратора, молокоприймача, крана, поплавкової камери, барабана, патрубкa знежиреного молока, патрубкa вершків.

Результуючі функції окремих пристроїв, згідно з рис. 1.9, можна представити у вигляді:

$$J_M = f_M(X_M, Y_M, Z_M) \quad (1.2)$$

$$J_K = f_K(Y_K, Z_K) \quad (1.3)$$

$$J_{ПК} = f_{ПК}(Y_{ПК}, Z_{ПК}) \quad (1.4)$$

$$J_B = f_B(Y_B, Z_B) \quad (1.5)$$

$$J_{ПЗМ} = f_{ПЗМ}(X_{ПЗМ}, Y_{ПЗМ}, Z_{ПЗМ}) \quad (1.6)$$

$$J_{ПВ} = f_{ПВ}(X_{ПВ}, Y_{ПВ}, Z_{ПВ}), \quad (1.7)$$

де $X_M, X_{ПЗМ}, X_{ПВ}$ – функція зовнішнього впливу відповідно молокоприймача, патрубкa знежиреного молока, патрубкa вершків;

$Y_M, Y_K, Y_{ПК}, Y_B, Y_{ПЗМ}, Y_{ПВ}$ – функція стану відповідно молокоприймача, крана, поплавкової камери, барабана, патрубкa знежиреного молока, патрубкa вершків;

$Z_M, Z_K, Z_{ПК}, Z_B, Z_{ПЗМ}, Z_{ПВ}$ – функція керованого впливу відповідно молокоприймача, крана, поплавкової камери, барабана, патрубкa знежиреного молока, патрубкa вершків.

Так як результуючі функції попереднього пристрою є, крім того, вхідними параметрами для наступного пристрою, то функція (1.1) з урахуванням (1.2) - (1.7) прийме вид

$$F_C = \begin{cases} f_{ПЗМ}(f_B(f_{ПК}(f_K(f_M(X_M, Y_M, Z_M)Y_K, Z_K)Y_{ПК}, Z_{ПК})Y_B, Z_B)X_{ПЗМ}, Y_{ПЗМ}, Z_{ПЗМ})) \\ f_{ПВ}(f_B(f_{ПК}(f_K(f_M(X_M, Y_M, Z_M)Y_K, Z_K)Y_{ПК}, Z_{ПК})Y_B, Z_B)X_{ПВ}, Y_{ПВ}, Z_{ПВ})) \end{cases} \quad (1.8)$$

Функція (1.8) являє собою математичну модель оптимального керування роботою сепаратора.

Так як барабан сепаратора є найбільш відповідальним пристроєм, де безпосередньо проводиться поділ молока на фракції. Тому необхідно виявити можливість підвищення продуктивності і зниження енергоємності сепарування з урахуванням вимог по ступеню знежирення за рахунок більш рівномірного завантаження пакета тарілок по висоті. Для цього розроблено структурна схема технологічного процесу роботи барабана з урахуванням можливості упорядкування потоку молока по висоті пакета тарілок, тобто більш рівномірного заповнення просторів між тарілками (рис. 1.10).

Для повного опису технологічного процесу роботи барабана необхідно враховувати всі фактори, що виявляють вплив на результуючу функцію. Функція зовнішнього впливу $X_B = X_M$ являє собою фізико-хімічні властивості молока, які від молокоприймача до барабана залишаються незмінними і визначаються наступними технологічними факторами: X_{B1} – температурою, X_{B2} – жирністю, X_{B3} – щільністю, X_{B4} – в'язкістю, X_{B5} – кислотністю, X_{B6} – групою чистоти. Деякі значення перерахованих факторів мають змінюваний характер у певному інтервалі значень.

Функція стану барабана Y_B являє собою групу його нерегульованих параметрів і визначається наступними конструктивними параметрами: Y_{B1} – об'ємом

барабана, Y_{B2} – кутом нахилу твірної поверхні тарілок, Y_{B3} – кількістю тарілок, Y_{B4} – діаметром тарілок, Y_{B5} – зазором між тарілками, Y_{B6} – кількістю каналів.

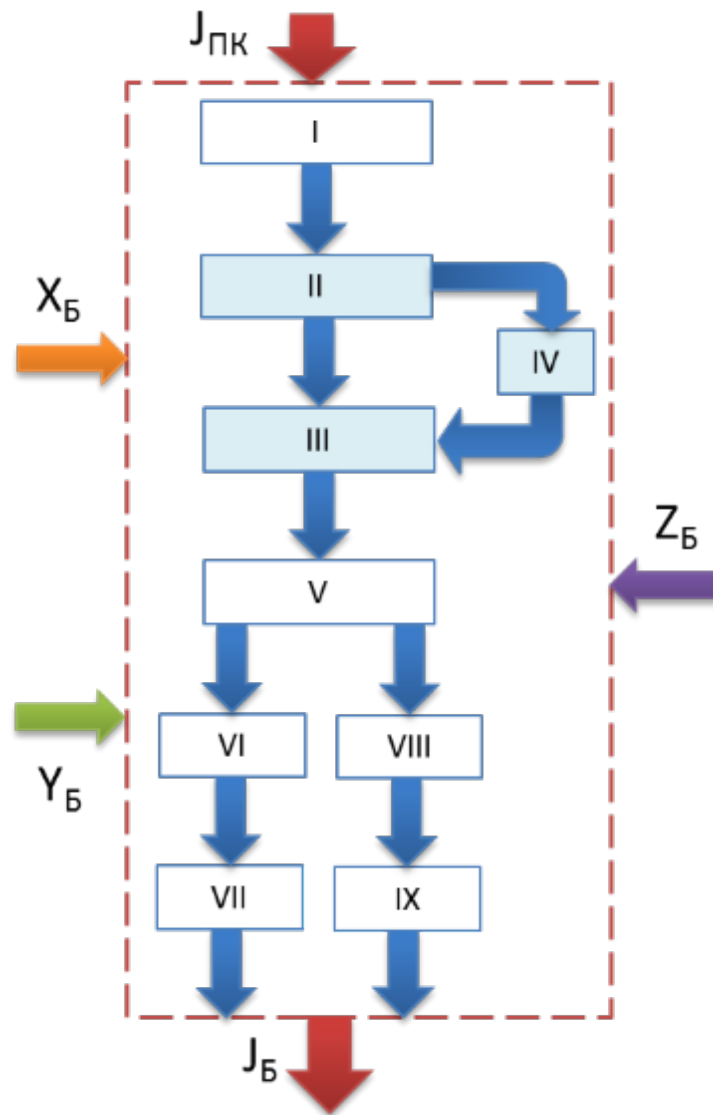


Рисунок 1.10 – Структурна схема технологічного процесу роботи барабана: I – подача потоку молока по центральній трубі; II – подача потоку молока по каналах лопатевого тарілко-тримача; III – розподіл потоку молока між тарілками; IV – упорядкування потоку молока по висоті пакета тарілок; V – поділ потоку молока на потоки вершків і знежиреного молока; VI – транспортування потоку знежиреного молока; VII – вивід потоку знежиреного молока; VIII – транспортування потоку вершків; IX – вивід потоку вершків

Функція керованого впливу роботою барабана $Z_{Б}$ являє собою групу його регульованих параметрів і визначається наступними конструктивними й

кінематичними параметрами: Z_{B1} – подачею молока, Z_{B2} – кутом входу на зовнішню лопать, Z_{B3} – кутом входу на внутрішню лопать, Z_{B4} – кутом сходу із зовнішньої лопаті, Z_{B5} – кутом сходу із внутрішньої лопаті, Z_{B6} – площею прямокутного отвору тарілко-тримача, Z_{B7} – кутовою швидкістю барабана.

Розроблені структурно-функціональні схеми технологічного процесу сепарування молока і технологічного процесу роботи барабана, а також аналіз існуючих конструкцій і конструктивних схем сепараторів-вершковіддільників з розробленою їхньою класифікацією послужили підставою для розробки конструктивної схеми сепаратора з лопатевим тарілко-тримачем, що дозволяє підвищити продуктивність поділу молока на вершки й знежирене молоко з дотриманням вимог по якості.

1.4 Висновки по розділу

1. Молоко є продуктом тваринного походження з вмістом великої кількості компонентів, які практично повністю засвоюються організмом людини. Найціннішим у молоці є молочний жир, якого в середньому утримується близько 3,8 % у вигляді жирових кульок. Вершки є похідною при сепаруванні молока і відрізняються від нього підвищеною концентрацією молочного жиру – не менш 9 %, де побічною продукцією є знежирене молоко.

2. До основних факторів, що впливають на ефективність сепарування молока, відносяться технологічні (температура, кислотність, забруднення, щільність, жирність, розмір і кількість жирових кульок), конструктивні (кількість і величина просторів між тарілками, форма тарілок, напрямок подачі молока в барабан, спосіб подачі молока в пакет тарілок, геометричні параметри напрямних лопатей) і кінематичні (кутова швидкість барабана).

3. Аналіз існуючих конструкцій і конструктивних схем сепараторів-вершковідокремлювачів дозволив виявити відмінні риси. Основним недоліком існуючих конструкцій сепараторів є нерівномірність заповнення просторів між тарілками, що знижує їхню продуктивність. Існуючі конструктивні схеми сепараторів з лопатевими тарілко-тримачами не виключають турбулізацію потоку молока, що приводить до його пульсації і віднесенню жирових кульок потоком знежиреного молока.

4. Розроблений структурно-функціональний опис технологічного процесу сепарування молока і структурна схема технологічного процесу роботи барабана, які дозволили визначити математичну модель (функція (1.8)) оптимального керування роботою сепаратора з лопатевим тарілотримачем з урахуванням упорядкованості потоку молока по висоті пакета тарілок і рівномірного заповнення просторів між тарілками залежно від функцій зовнішнього і керуючого впливу, а також стану пристрою.

На основі проведеного огляду сформульовано мету досліджень, а саме підвищення продуктивності сепаратора-вершковідокремлювача з лопатевим тарілотримачем шляхом рівномірного заповнення просторів між тарілками молоком. Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні задачі:

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СЕПАРАТОРА-ВЕРШКОВІДОКРЕМЛЮВАЧА

2.1 Розробка конструкційно-технологічної схеми сепаратора

На підставі узагальнення даних, розглянутих у попередньому розділі, пропонується конструкційно-технологічна схема сепаратора-вершковідокремлювача, яка забезпечить підвищення продуктивності при припустимому ступеню знежирення за рахунок того, що підвідні канали тарілотримача барабана сепаратора виконані з розширенням до периферії і розташовані по дузі кола протилежно напрямку обертання барабана.

Запропонований сепаратор (рис. 2.1) включає привод, розміщений у корпусі 1, барабан 2, приймально-відвідний пристрій пристрій 4, що складається з крана 5, розміщеного в молокоприймачі 6 поплавкової камери 7 з поплавцем 3, патрубку вершків 8 і патрубка знежиреного молока 9.

Барабан сепаратора-вершковіддільника (рис. 2.2) має кришку 7, центральну трубку 8 із днищем 11, на якому зі знімним пакетом тарілок 9 розміщений пустотілий лопатевий тарілотримач 10, у якого у верхній частині по висоті пакета тарілок 9 виконані прямокутні отвори 12, що сполучаються з підвідними каналами 2, утвореними лопатями 3 і 4. Кожна тарілка 9, установлена на лопатевому тарілотримачі 10, має проріз 1 по числу підвідних каналів 2. Лопаті 3 і 4 тарілотримача 10 виконані з розширенням до периферії і розташовані по дузі кола протилежно напрямку обертання барабана.

У кришці 3 барабана є отвори 5 і 6 для виводу відповідно вершків і знежиреного молока. Сепаратор працює наступним чином. У молокоприймач 6 (рис. 2.1) заливається молоко, що підлягає сепаруванню, при цьому кран 5 перебуває в положенні «закрито». Потім здійснюється пуск привода, розташованого в корпусі 1, який передає обертаючий момент барабану 2. При досягненні

ним номінальних обертів здійснюється подача молока, за допомогою крана 5 перевівши його в положення «відкрито».

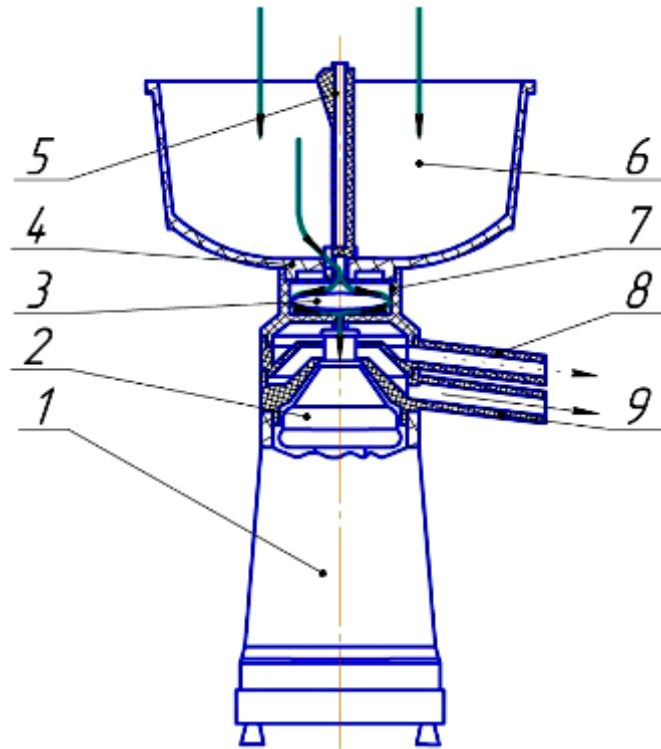


Рисунок 2.1 – Конструкційна схема сепаратора-вершковідокремлювача:
1 – корпус; 2 – барабан; 3 – поплавець; 4 – приймально-вивідний пристрій; 5 – кран; 6 – молокоприймач; 7 – поплавкова камера; 8 – патрубок вершків; 9 – патрубок знежиреного молока

Молоко надходить у поплавкову камеру 7, де підтримується постійний рівень молока за допомогою поплавця 3, який у верхньому положенні перекриває насадок молокоприймача 6. Молоко через насадок поплавкової камери 7 подається в центральну трубку 8 (рис. 2.2) і попадає в прямокутні отвори 12. Потім, пройшовши по каналах 2 між лопатями 3 і 4, молоко рівномірне заповнює простір пакета тарілок 9, де розділяється на вершки і знежирене молоко.

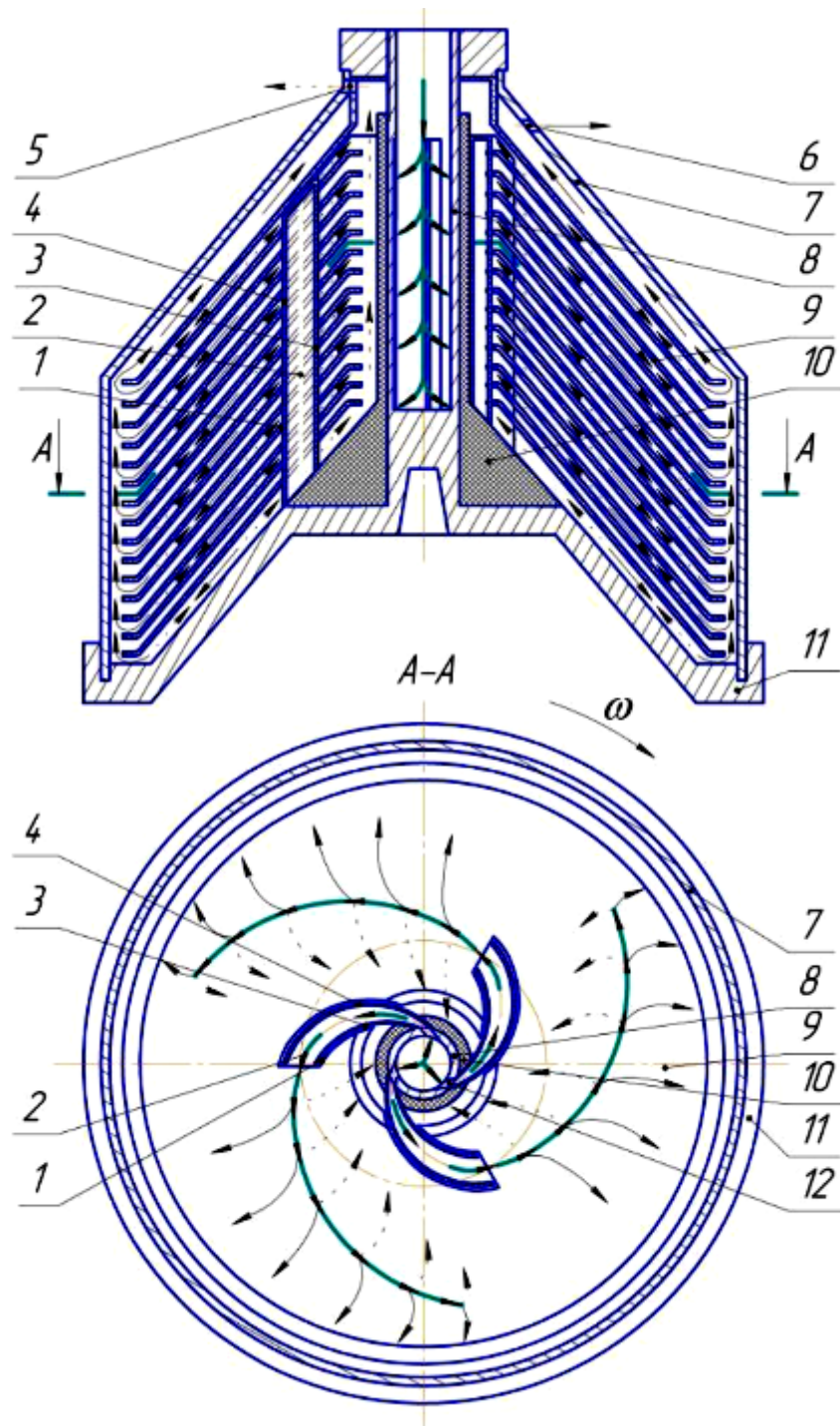


Рисунок 2.2 – Барабан сепаратора: 1 – проріз; 2 – підвідні канали; 3,4 – лопаті; 5 – отвір для виводу вершків; 6 – отвір для виводу знежиреного молока; 7 – кришка барабана; 8 – центральна трубка; 9 – пакет тарілок; 10 – лопатевий тарілотримач; 11 – днище барабана; 12 – прямокутний отвір; 13 – ущільнювальне кільце; 14 – гайка

Поділ молока на фракції починається вже при проходженні по підвідних каналах 2, причому жирові кульки, як більш легка фракція, розташовуються ближче до лопатей 3 і на виході з них, тому що за ними утворюється розрідження, спрямовуються по зовнішній поверхні утворюючої тарілки 9 до осі барабана.

Знежирене молоко і більш дрібні жирові кульки розташовуються під дією відцентрової сили ближче до лопатей 4 і при сході з них розтікаються по кіничному простору пакета тарілок 9, звідки знежирене молоко відходить до периферії барабана, а більш дрібні жирові кульки витісняються до осі барабана. Потім вершки і знежирене молоко виводяться з барабана через відповідні отвори 5 і 6, потрапляючи у відповідні патрубки 8 і 9.

2.2 Обґрунтування геометричних параметрів тарілотримача

Обґрунтованість вибору форми лопатей тарілотримача визначається ефективністю роботи сепаратора-вершковідокремлювача – високою продуктивністю при припустимому рівні знежирення і мінімальних витратах потужності, мінімальному динамічному напору і плавністю руху потоку молока по підвідних каналах. У пристроях, що мають у якості робочих органів лопаті застосовуються різні способи їх профілювання, що відрізняються один від одного відповідно по типу робочих органів, технології виготовлення і т.д.

Практичне застосування знайшли лопаті, що мають прямолінійний або криволінійний профіль. Криволінійні лопаті, як й прямолінійні, залежно від величин кута $\beta_{л2}$ (рис. 2.3, 2.4 і 2.5) можуть бути, що радіальними при $\beta_{л2} = 90^\circ$ (рис. 2.3), загнуті вперед при $\beta_{л2} > 90^\circ$ (2.4) и загнуті назад при $\beta_{л2} < 90^\circ$ (2.5). Радіальні та загнуті вперед лопаті застосовують при необхідності створення відповідно середнього та високого напору. Крім того, для таких типів профілів лопатей характерна підвищена споживана потужність і підвищений швидкісний

напір (динамічний вплив на потік рідини) зі швидко змінною швидкістю потоку при подачі від початку лопаті до її кінця, що негативно позначається на плавності потоку і ефективності сепарування. Таким чином, доцільне застосування криволінійних лопатей загнутих назад, тобто протилежно напрямку обертання барабана.

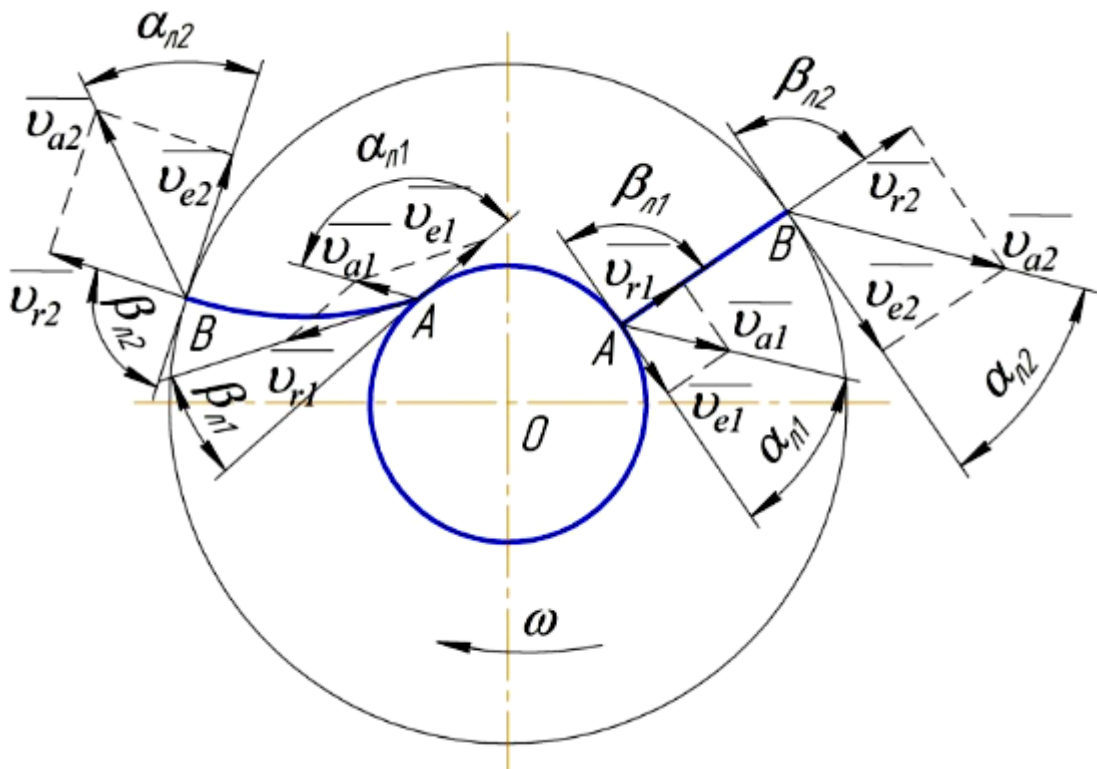


Рисунок 2.3 – Схема радіальних лопатей криволінійного і прямолінійного профіля ($\beta_{n2} = 90^\circ$) з планами швидкостей

Відомі способи профілювання криволінійних лопатей зі змінною кривизною, які є складними при виготовленні. Найбільш простим способом профілювання лопатей є спосіб, заснований на окресленні їх середньої лінії по одному радіусу. При цьому лопаті виходять постійної кривизни, що сприяє плавному плину потоку молока і меншому механічному впливу на жирові кульки вершків.

Радіус R_3 (рис. 2.6) розташування осі вихідного отвору напрямного каналу повинен враховувати радіус поверхні розділення знежиреного молока і вершків, обумовлений їхнім об'ємним співвідношенням згідно із залежністю

$$R_3 = \sqrt{c \cdot R_{max}^2 - c \cdot R_o^2 + R_o^2}, \quad (2.1)$$

де c – об'ємна частка вершків у молоці;

R_{max} – максимальний радіус тарілки, м;

R_o – радіус розташування вільної поверхні молока в центральній трубі днища барабана, м.

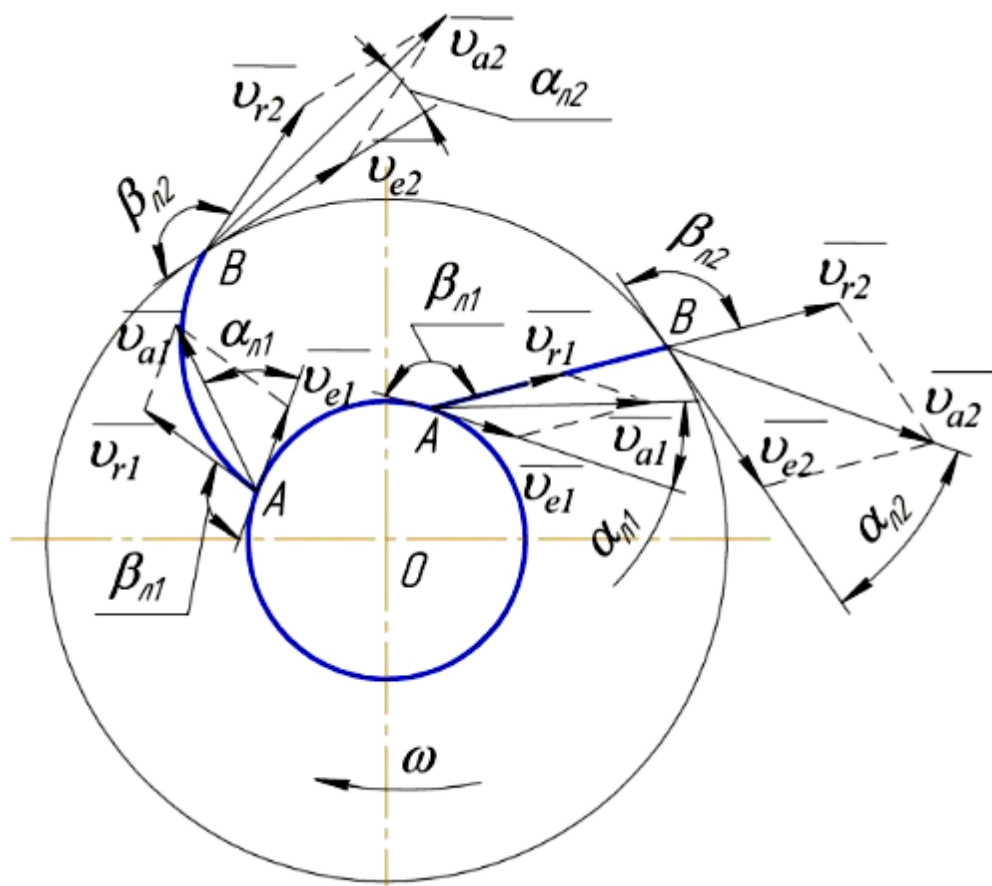


Рисунок 2.4 – Схема загнутих вперед лопатей криволінійного і прямолінійного профіля ($\beta_{л2} > 90^\circ$) з планами швидкостей

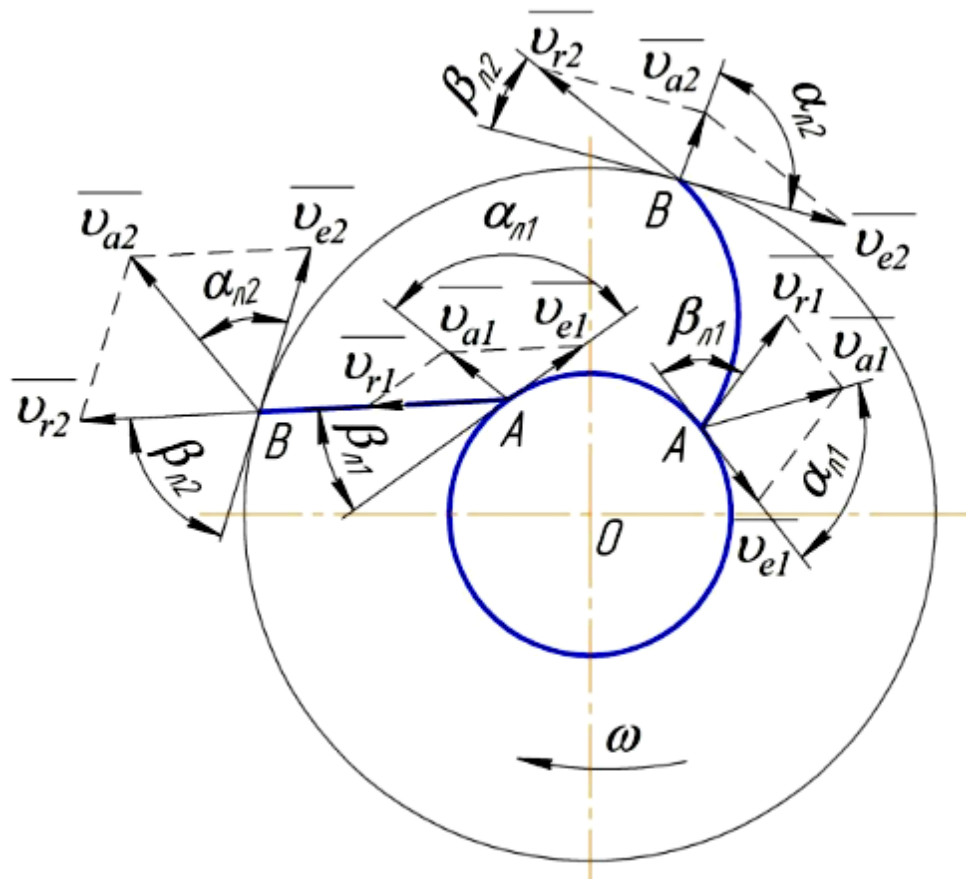


Рисунок 2.5 – Схема загнутих назад лопатей криволінійного і прямолінійного профіля ($\beta_{n2} < 90^\circ$) з планами швидкостей

Таким чином, чим більше об'ємний вміст вершків c , тим більше його шар і тим далі від осі обертання барабана буде розташована поверхня розділення вершків і знежиреного молока. Так як жирність коров'ячого молока коливається в незначних межах і становить у середньому 3,8 %, то радіус R_3 розташування осі вихідного отвору напрямного каналу приймають постійним.

Радіус кола кінця лопатей тарілотримача визначається залежністю

$$R_{2,4} = R_3 \pm \frac{b_k}{2}, \quad (2.2)$$

де b_k – ширина підвідного каналу на виході, м.

У залежності (2.2) знак «-» використовується для визначення радіуса кінця внутрішньої лопаті R_2 , а знак «+» для визначення радіуса кінця зовнішньої лопаті R_4 .

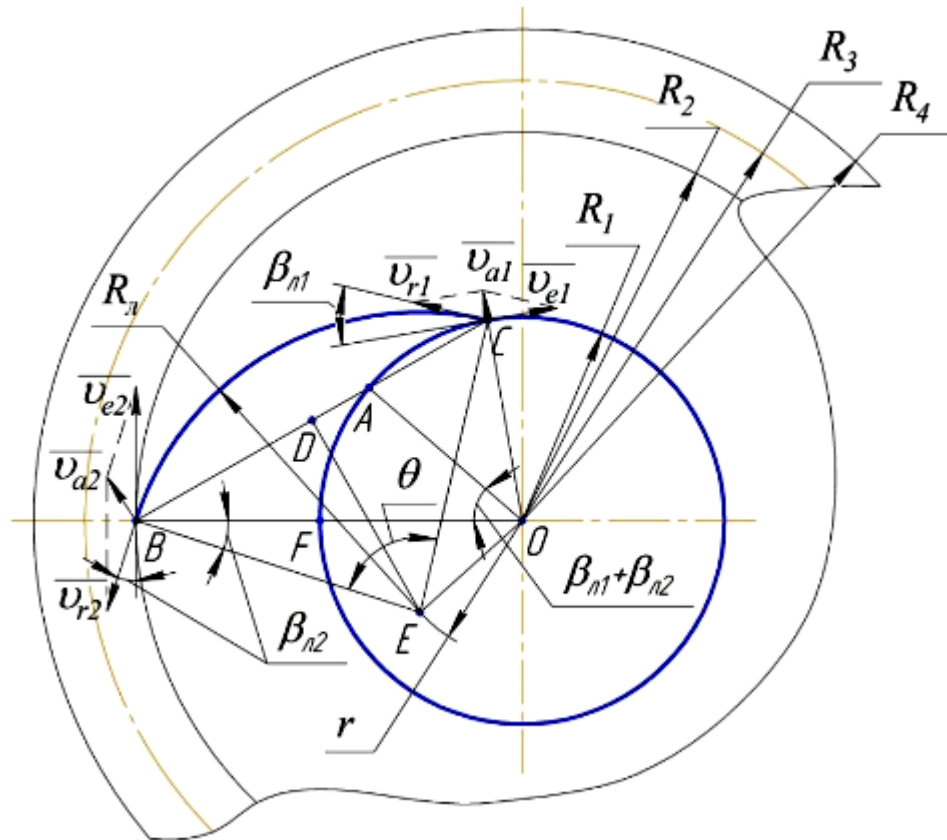


Рисунок 2.6 – Схема до побудови профілю лопаті тарілотримача: r – радіус кола, що визначає множину точок центру кривизни профілю лопаті, м; R_1 – радіус початку лопаті, м; R_2, R_4 – радіус кінця лопаті відповідно внутрішньої і зовнішньої, м; R_3 – радіус розташування осі отвору вихідного каналу або координата поверхні розділення знежиреного молока і вершків, м; β_{n1} – кут, утворений вектором відносної швидкості v_{r1} і зворотним напрямком вектора переносної швидкості v_{e1} для початку лопаті, град.; β_{n2} – кут, утворений вектором відносної швидкості v_{r2} і зворотним напрямком вектора переносної швидкості v_{e2} для кінця лопаті, град.; R_l – радіус кривизни профілю лопаті, м; θ – центральний кут дуги лопаті з радіусом кривизни профілю R_l , град.

Для математичного опису профілю лопатей необхідні вихідні дані: внутрішній R_1 , зовнішні R_2 і R_4 радіуси відповідно для внутрішньої і зовнішньої лопатей, кути $\beta_{л1}$ і $\beta_{л2}$, утворені вектором відносної швидкості v_r і зворотним напрямком вектора переносної швидкості v_e відповідно для початку і кінця лопаті.

Для побудови профілю лопаті необхідно із центром у точці O провести два кола радіусами R_1 , і R_2 , що описують відповідно початок і кінець лопаті. Через точку O проведемо горизонтальну і вертикальну осьові. На перетині горизонтальної осьової і кола радіуса R_2 одержуємо точку B профілю лопаті. Від отриманого відрізка OB відкладаємо вгору кут $\beta_{л1} + \beta_{л2}$, приймаючи за його вершину центр у точці O . Отриманий відрізок утворює з колом радіуса R_1 пересічення в точці A . Потім через точки B і A проводимо пряму до повторного пересічення з колом радіуса R_1 і отримуємо точку C . Потім відрізок BC розбивається на дві рівні частини, і з отриманої точки D проводиться перпендикуляр. Від відрізка OB , прийнявши за вершину кута точку B , відкладаємо вниз кут $\beta_{л2}$ і на пересіченні з утвореною прямою і перпендикуляром, проведеним з точки D , отримуємо точку E , яка є центом дуги BC кола, що описує профіль лопаті радіуса R_l .

Розглянемо трикутник $\triangle OCE$ і, скориставшись теоремою косинусів, яка стверджує, що квадрат сторони трикутника дорівнює сумі квадратів двох інших сторін мінус подвоєний добуток цих сторін на косинус кута між ними, отримаємо:

$$r^2 = R_1^2 + R_l^2 - 2 \cdot R_1 \cdot R_l \cos \beta_{л1}, \quad (2.3)$$

Аналогічно із трикутника $\triangle OBE$

$$r^2 = R_1^2 + R_l^2 - 2 \cdot R_1 \cdot R_l \cos \beta_{л2}, \quad (2.4)$$

В отриманих залежностях (2.3) і (2.4) ліві частини рівні, отже, рівні й праві:

$$R_1^2 + R_n^2 - 2 \cdot R_1 \cdot R_n \cos \beta_{n1} = R_1^2 + R_n^2 - 2 \cdot R_1 \cdot R_n \cos \beta_{n2}$$

Провівши ряд перетворень, отримаємо:

$$R_n = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2(\cos \beta_{n2} - \cos \beta_{n1})}. \quad (2.5)$$

Залежність (2.5) дозволяє визначити радіус кривизни профілю лопаті. Товщину δ профілю лопаті доцільно з конструктивних міркувань і простоти виготовлення прийняти постійною, тоді радіус кривизни профілю лопаті з урахуванням товщини прийме наступний вид:

$$R_n = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2(\cos \beta_{n2} - \cos \beta_{n1})} \pm \frac{\delta}{2}. \quad (2.6)$$

У залежності (2.6) «+» використовується для визначення зовнішнього радіуса кривизни профілю лопаті, а «-» – внутрішнього.

Радіус кола, що визначає множину точок центру кривизни профілю лопаті, можна визначити згідно із залежністю (2.3) або (2.4) з урахуванням перетворень:

$$r = \sqrt{R_1^2 + R_n^2 - 2 \cdot R_1 \cdot R_n \cos \beta_{n1}}, \quad (2.7)$$

або

$$r = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cos \beta_{л2}}, \quad (2.8)$$

Для визначення центрального кута дуги профілю лопаті необхідно провести ряд побудов (рис. 2.6), для чого розглянемо трикутник $\triangle EBC$. Даний трикутник є рівнобедреним, тому що його сторони EB і EC дорівнюють радіусу R_2 профілю лопаті. Таким чином, при основі BC кути $\angle EBC$ і $\angle BCE$ рівні. Розглянемо кут $\angle EBC$, де кут $\angle EBO = \angle \beta_{л2}$. Для визначення $\angle OBC$ на відрізку OB у місці пересічення з колом радіуса R_1 позначимо точку F , тоді:

$$\angle OBC = \arctg \left(\frac{AF}{BF} \right) = \arctg \left(\frac{R_1 \cdot \sin(\beta_{л1} + \beta_{л2})}{R_2 - R_1 \cdot \cos(\beta_{л1} + \beta_{л2})} \right). \quad (2.9)$$

Отже, з урахуванням того, що сума кутів трикутника рівна 180° і визначеного вище, центральний кут дуги радіуса R_2 профілю лопаті визначиться залежністю

$$\theta = \pi - 2 \cdot \left(\beta_{л2} + \arctg \left(\frac{R_1 \cdot \sin(\beta_{л1} + \beta_{л2})}{R_2 - R_1 \cdot \cos(\beta_{л1} + \beta_{л2})} \right) \right). \quad (2.10)$$

Довжина дуги кола визначається залежністю

$$l = \pi \cdot R_2 \frac{\theta}{180^\circ}. \quad (2.11)$$

Тоді довжина лопаті з урахуванням залежності (2.10) складе

$$l = \frac{\pi \cdot R_l \left(\pi - 2 \cdot \left(\beta_{l2} + \arctg \left(\frac{R_1 \cdot \sin(\beta_{l1} + \beta_{l2})}{R_2 - R_1 \cdot \cos(\beta_{l1} + \beta_{l2})} \right) \right) \right)}{180^\circ}. \quad (2.12)$$

Таким чином, встановлені залежності для визначення основних геометричних параметрів лопатей тарілотримача: радіус кривизни профілю лопаті – (2.5), а також з урахуванням товщини – (2.6); радіус кола, що визначає множину точок центру кривизни профілю лопаті – (2.7) або (2.8); центральний кут дуги профілю лопаті – (2.9); довжина профілю лопаті – (2.12).

2.3 Визначення продуктивності сепаратора

Продуктивність сепаратора визначається продуктивності по барабану, тобто з урахуванням рівня знежирення слід визначати з умови виділення жирової кульки критичного розміру. Розглянемо простір між тарілками (рис. 2.7) із зазором по вертикалі ε і висотою тарілки H_T .

Припустимо, що жирова кулька спливе в крайньому положенні O , розташованому на максимальному радіусі тарілки R_{max} , де ще можливо його виділення. Жирова кулька робить складний рух. Рух жирової кульки в потоці молока разом з тарілками барабана є переносним, рух жирової кульки в напрямку зовнішньої утворюючої тарілки є відносним. Таким чином, у переносному русі жирова кулька переміщається із точки O до точки C по шляху $S_e = v_e \cdot t$, де v_e – це переносна швидкість жирової кульки. Проекція шляху S_e на вісь x буде $S_{ex} = v_{ex} \cdot t$. У відносному русі жирова кулька переміститься із точки O до точки E по шляху $S_r = v_r \cdot t$, де v_r – це відносна (Стоксова) швидкість жирової кульки.

Шлях абсолютного руху зі швидкістю $\bar{v}_a = \bar{v}_e + \bar{v}_r$, згідно геометричного додавання векторів, визначиться вектором \overline{CE} .

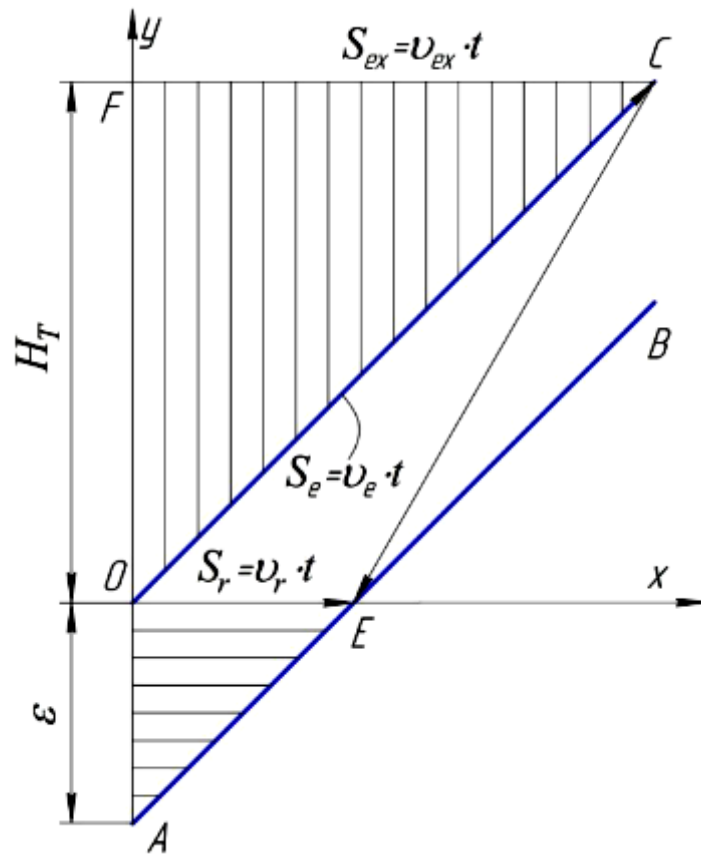


Рисунок 2.7 – Схема до розгляду умови виділення жирової кульки критичного розміру: ε – простір між тарілками по вертикалі, м; H_T – висота тарілки, м; S_r – шлях жирової кульки у відносному русі, м; S_e – шлях жирової кульки в переносному русі, м; S_{ex} – шлях жирової кульки в переносному русі в проекції на вісь x , м; v_r – відносна (Стоксова) швидкість жирової кульки, м/с; v_e – переносна швидкість жирової кульки, м/с; v_{ex} – переносна швидкість жирової кульки в проекції на вісь x , м/с; t – час, с

Трикутники $\triangle AOE$ і $\triangle OFC$ є подібними, згідно з ознаками подоби трикутників, тобто катет FC відноситься до катету OE , так само як і катет FO до катета OA :

$$\frac{FC}{OE} = \frac{FO}{OA} \text{ або } \frac{v_{ex}}{v_r} = \frac{H}{s}. \quad (2.13)$$

Проекція переносної швидкості визначається як відношення продуктивності сепаратора до сумарної площі просторів між тарілками:

$$v_{ex} = \frac{Q_c}{\sum S}. \quad (2.14)$$

де Q_c – продуктивність сепаратора, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\sum S$ – сумарна площа просторів між тарілками, м^2 .

Сумарна площа просторів між тарілками визначається як добуток кількості цих просторів на площу поверхні простору на середньому логарифмічному радіусі:

$$\sum S = z \cdot S = z \cdot 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot R_x, \quad (2.15)$$

де z – кількість просторів між тарілками;

S – площа одного простору, м^2 ;

R_x – середній логарифмічний радіус тарілки, м.

Середній логарифмічний радіус тарілки визначається залежністю

$$R_x = \frac{R_{max} - R_{min}}{\ln \frac{R_{max}}{R_{min}}}, \quad (2.16)$$

де R_{max} і R_{min} – відповідно максимальний і мінімальний радіуси тарілки, м.

У тарілчастих сепараторах є взаємозв'язок між мінімальним і максимальним радіусами тарілки

$$R_{min} = 0,36 R_{max}. \quad (2.17)$$

Таким чином, проекція переносної швидкості, з урахуванням залежностей (2.15 – 2.17), визначиться як:

$$v_{ex} = \frac{Q_c}{1,5 \cdot \pi \cdot z \cdot \varepsilon \cdot R_{max}}. \quad (2.18)$$

Відносна швидкість жирової кульки визначається залежністю

$$v_r = \frac{2}{9} \cdot \omega^2 \cdot R_c \cdot r_{ж.к.}^2 \cdot \left(\frac{\rho_n - \rho_{ж.к.}}{\mu} \right). \quad (2.19)$$

де ω – кутова швидкість барабана, c^{-1} ;

R_c – середній радіус тарілки, м;

$r_{ж.к.}$ – радіус жирової кульки, здатної до виділення з молочної плазми, м;

ρ_n – щільність плазми молока, $кг/м^3$;

$\rho_{ж.к.}$ – щільність жирової кульки, $кг/м^3$;

μ – динамічна в'язкість молока, $Па \cdot с$.

У залежності (2.19) щільність жирової кульки визначається як середня величина щільності самого жиру і білково-лецитинові оболонки. При цьому, чим менше діаметр жирової кульки, тим більше частка білково-лецитинові оболонки, що збільшує щільність самої жирової кульки. Відомо, що при товщині оболонки 0,02 мкм жирова кулька діаметром 1 мкм має щільність в 1,1 рази більшу, ніж жирова кулька діаметром 3 мкм. Можливий випадок, коли при деякому мінімальному діаметрі жирової кульки настане рівність щільностей жирової кульки і плазми молока, і приведе до того, що, згідно із залежністю (2.19), відносна швидкість такої жирової кульки буде рівна нулю. Таким чином, щільність більш дрібних жирових кульок за рахунок їх білково-лецитинові оболонки наближається до щільності плазми молока, внаслідок чого виділити їх при наявній кутовій швидкості обертання барабана важко. Середній радіус тарілки в (2.19) визначається залежністю

$$R_c = R_{max} - R_{min}. \quad (2.20)$$

Тоді (2.19) з урахуванням (2.17) і (2.20) прийме вид

$$v_r = 0,15 \cdot \omega^2 \cdot R_{max} \cdot r_{ж.к.}^2 \cdot \left(\frac{\rho_n - \rho_{ж.к.}}{\mu} \right). \quad (2.21)$$

Отже, (2.13) з урахуванням (2.18) і (2.21) прийме наступний вид:

$$\frac{Q_c}{1,5 \cdot \pi \cdot z \cdot \varepsilon \cdot R_{max}} \cdot \varepsilon = 0,15 \cdot \omega^2 \cdot R_{max} \cdot r_{ж.к.}^2 \cdot \left(\frac{\rho_n - \rho_{ж.к.}}{\mu} \right) \cdot H_T. \quad (2.22)$$

З отриманої залежності (2.22) виразимо продуктивність сепаратора:

$$Q_c = 0,225 \cdot \pi \cdot z \cdot H_T \cdot \omega^2 \cdot R_{\max} \cdot r_{ж.к.}^2 \left(\frac{\rho_n - \rho_{ж.к.}}{\mu} \right). \quad (2.23)$$

Таким чином, продуктивність сепаратора лінійно залежить від кількості просторів між тарілками, висоти тарілки і від відношення різниці щільностей плазми і жирової кульки до динамічної в'язкості молока, а також перебуває у квадратичній залежності від кутової швидкості барабана, максимального радіуса тарілки і радіуса жирової кульки.

З урахуванням рівності продуктивності кожного простору між тарілками, що можливо при їхньому рівномірному заповненні молоком, залежність (2.23) можна представити в наступному виді:

$$Q_c = z \cdot Q_{ПМТ}, \quad (2.24)$$

де $Q_{ПМТ}$ – продуктивність одного простору між тарілками, м³/с.

При рівномірному заповненні молоком по висоті пакета тарілок складе вона складе:

$$Q_c = 0,225 \cdot \pi \cdot H_T \cdot \omega^2 \cdot R_{\max} \cdot r_{ж.к.}^2 \left(\frac{\rho_n - \rho_{ж.к.}}{\mu} \right). \quad (2.25)$$

Для визначення залежності продуктивності сепаратора Q_c від кутової швидкості барабана ω по залежності (2.23) задамося значеннями величин, що входять у нього: число просторів між тарілками $z = 12$ шт.; висота тарілки $H_T = 0,03$ м; максимальний радіус тарілки $R_{\max} = 0,038$ м; радіус жирової кульки $r_{ж.к.} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м; відношення різниці щільностей плазми і жирової кульки до динамічної в'язкості молока - $2900 \cdot t$; температуру молока приймемо рівною $t = 45^\circ$.

Отримані розрахунки представлено в таблиці 1 додатку А, а на їхній підставі побудований графік залежності продуктивності сепаратора від кутової швидкості барабана при різній кількості просторів між тарілками (рис. 2.8). Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що продуктивність сепаратора прямо залежить від продуктивності кожного окремо взятого простору між тарілками, отже при рівномірній подачі молока в кожен простір продуктивність сепаратора буде максимальною.

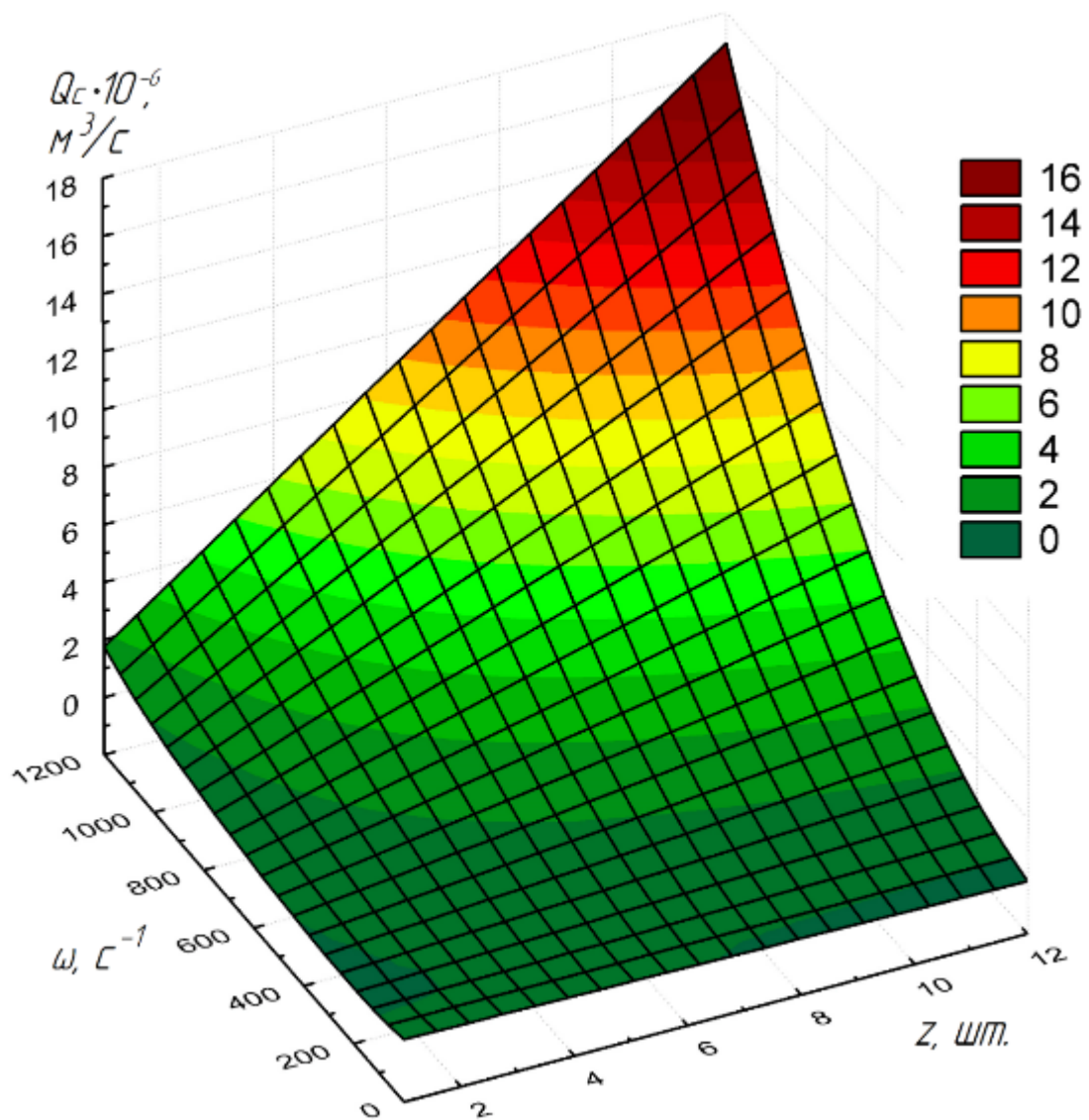


Рисунок 2.8 – Графік залежності продуктивності сепаратора-вершковідокремлювача від кутової швидкості барабана при різній кількості просторів між тарілками

На сьогодні у більшості сепараторів-вершковідокремлювачів кутова швидкість барабана становить $\omega_{\min} = 628 \text{ c}^{-1}$ і $\omega_{\max} = 1151,33 \text{ c}^{-1}$, що відповідно дорівнює теоретичній продуктивності сепаратора $Q_C = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ і $Q_C = 15,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

2.4 Висновки по розділу

1. Теоретичний аналіз роботи сепаратора з лопатевим тарілотримачем дозволив встановити, що рівномірний розподіл молока по висоті пакета тарілок можливий здійсненням подачі молока по каналах тарілотримача, які виконані з розширенням до периферії і розташовані по дузі кола протилежно напрямку обертання барабана, що дозволить підвищити продуктивність при припустимому рівні знежирення.

2. Отримані залежності для визначення основних геометричних параметрів лопатей тарілотримача: радіус кривизни профілю лопаті – (2.5), а також з урахуванням товщини – (2.6); радіус кола, що визначає множину точок центру кривизни профілю лопаті – (2.7) або (2.8); центральний кут дуги профілю лопаті – (2.9); довжина профілю лопаті – (2.12).

3. Отримана залежність (2.25) для визначення продуктивності сепаратора. Згідно з даною залежністю, теоретична продуктивність становить $15,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ при висоті тарілки 0,03 м, максимальному радіусі тарілки 0,038 м, кутової швидкості барабана $1151,33 \text{ c}^{-1}$. Встановлено, що продуктивність сепаратора прямо залежить від продуктивності кожного окремо взятого простору між тарілками, отже при рівномірній подачі молока в кожен простір продуктивність сепаратора буде максимальною

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО СЕПАРАТОРА

3.1 Програма та методика

Експериментальні дослідження проводилися з метою визначення оптимальних кінематичних і технологічних параметрів сепаратора-вершко-відокремлювача з лопатевим тарілкодержачем на основі планування повного факторного експерименту. Даними для розробки програми досліджень послужили мета і завдання досліджень, теоретичні дослідження з обґрунтування конструктивних (розташування підвідних каналів щодо напрямку обертання барабана і їх кількість, кількість просторів між тарілками – визначені у розділі 2), кінематичних (кутова швидкість барабана) і технологічних (температура молока) параметрів. Поставлена мета передбачала реалізацію наступної програми експериментальних досліджень:

1. Дослідження в лабораторних умовах удосконаленого зразка сепаратора на експериментальній установці по оцінці продуктивності з визначенням оптимальних кінематичних і технологічних параметрів;

2. Дослідження в лабораторних умовах удосконаленого зразка сепаратора при оптимальних конструктивних, кінематичних і технологічних параметрах по оцінці рівномірності заповнення молоком просторів між тарілками.

Критерієм оптимізації є характерний показник, за значенням якого можлива оцінка оптимальності знайденого рішення. При плануванні і проведенні експериментальних досліджень він повинен мати ясний фізичний зміст і кількісну оцінку технологічного процесу, виконуваного окремим пристроєм. Критеріями оптимізації сепараторів-вершковідокремлювачів, що дозволяють зробити оцінку сепарування ними молока, є серед кількісних – продуктивність, а серед

якісних – рівень знежирення молока. Продуктивність сепаратора при експериментальних дослідженнях визначається як певний об’єм молока відсепарованого протягом деякого часу:

$$Q_c = \frac{V}{\tau}, \quad (3.1)$$

де V – об’єм молока, що підлягає сепаруванню, м³;

τ – час сепарування, с.

Для визначення продуктивності удосконаленого сепаратора в окремих дослідках доцільно об’єм молока, що підлягає сепаруванню, прийняти постійним.

Так як основні зміни удосконаленого сепаратора полягають у зміні конструкції тарілотримача, геометричні параметри якого обґрунтовано у попередньому розділі, в якості факторів експерименту були обрані кутова швидкість барабану сепаратора та температура молока. У таблиці 3.1 представлені фактори і рівні їх варіювання при двофакторному експерименті.

Таблиця 3.1 – Фактори та рівні їх варіювання

Фактор	Одиниці виміру	Позначення		Рівень варіювання		
		умовне	кодоване	-1	0	+1
кутова швидкість барабану	с ⁻¹	ω	x ₁	889,7	1046,7	1203,7
температура молока	°С	t	x ₂	21	33	45

Інші фактори при дослідженнях не змінювалися: діаметри отвору крана, насадок молокоприймача і поплавкової камери мали наступні значення відповідно: 0,007, 001 і 0,006 м, що забезпечує подачу молока в барабан до $0,0000374\text{м}^3/\text{с}$; висота підвідного каналу лопатевого тарілотримача на вході або висота отвору в магістральній трубці барабана обмежується висотою комплекту тарілок і становить 0,012 м, а ширина 0,004 м; кут нахилу утворюючої тарілки до горизонталі 55° ; максимальний діаметр тарілки 0,076 м; зазор між тарілками 0,00045 м; кути, утворені векторами відносної швидкості і зворотними напрямками векторів переносної швидкості для початку внутрішньої і зовнішньої лопатей 50° ; масова частка жиру 3,6 %; кислотність молока не більш 21°T ; група чистоти молока не нижче II; щільність молока не менш $1027\text{ кг}/\text{м}^3$; регулювання об'ємних співвідношень вершків до знежиреного молока 1:10.

Експериментальні дослідження в лабораторних умовах проводилися на установці (рис. 3.1), що складалась із трьох основних частин.

Перша частина - реєструюча - включає в свій склад ноутбук 1 та аналогово-цифровий перетворювач, який входить до складу частотний перетворювач Mitsubishi S 500. Друга частина є керуючою і частотного перетворювача 2. Третя частина є виконуючою і містить електродвигун 3, сепаратор 4. Частина, що реєструє, необхідна для визначення температури молока і потужності на привід. Керуюча частина необхідна для підключення установки до електричної мережі і встановлення необхідної кутової швидкості виконуючої частини.

Асинхронний електродвигун 3 має кутову швидкість $96,3\text{ с}^{-1}$ (або частоту обертання 940 хв^{-1}), а передаточне число привода, що містить електродвигун 3 і мультиплікатор сепаратора-вершковіддільника 4, становить $i = 0,00714$. Для забезпечення кутової швидкості барабана $1151,33\text{ с}^{-1}$ вал електродвигуна повинен мати кутову швидкість $8,22\text{ с}^{-1}$.

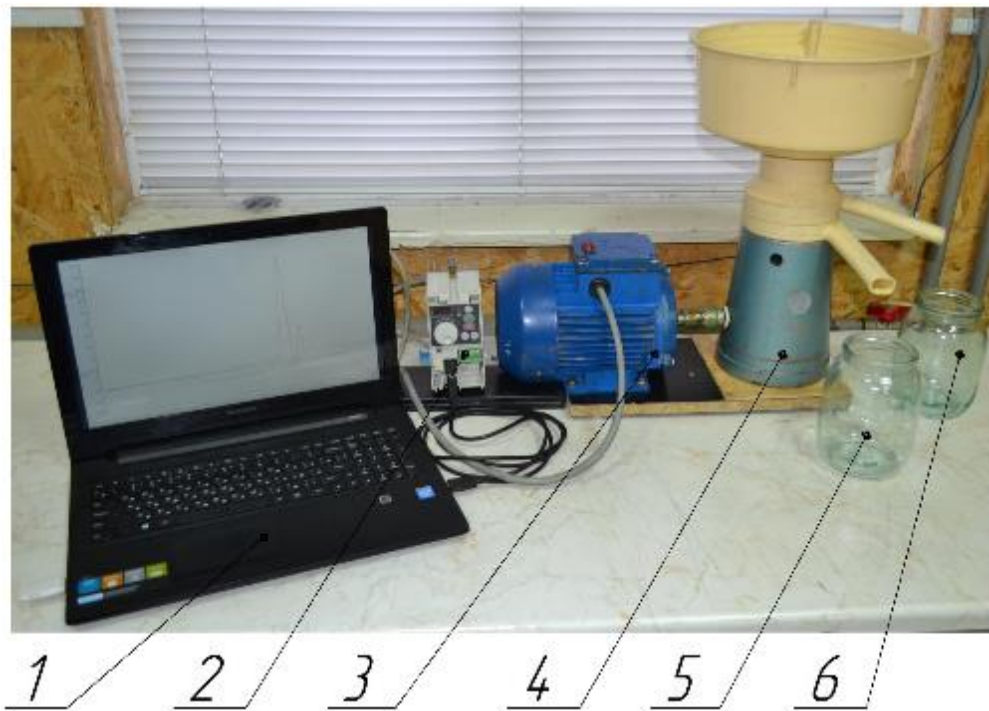


Рисунок 3.1 – Загальний вид лабораторної установки по дослідженню удосконаленого сепаратора: 1 – ноутбук; 2 – частотний перетворювач Mitsubishi S 500; 3 – електродвигун АІР80В6; 4 – удосконалений сепаратор; 5 – ємність для вершків; 6 – ємність для відвіжок



Рисунок 3.2 – Експериментальний тарілотримач сепаратора

Об'єм молока, що підлягає сепаруванню, для кожного досвіду був однаковим і становив 1,5 л. Час сепарування визначався як час від початку і до кінця витікання з патрубків продуктів поділу (знежиреного молока і вершків). Молоко, використане при експериментальних дослідженнях – ТМ «Яготинське», жирністю 3,2 %. Температура молока змінювалася на водяній бані.

Перед кожним дослідом проводилося розбирання і складання сепаратора із промиванням деталей, що контактують із молоком і продуктами його поділу. Досліди проводили згідно з матрицею планування експерименту у відповідності до плану для 2-х факторів (табл. 3.1).

Перед початком кожного досвіду через сепаратор пропускала порція підігрітої води об'ємом один літр температурою вище на 5 °С температури підлягаючого сепаруванню молока для вирівнювання температури складових частин. Виходячи з умови, що гранична помилка у всіх дослідах приблизно рівна можливої найбільшій статистичній, і задаючись імовірністю досліджень ($p = 0,95$) була обрана трикратна повторність дослідів.

Таблиця 3.2 – Матриця планування експерименту

№ досвіду	x_1	x_2
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1

Математична обробка результатів проводилася з використанням комп'ютерних програм Statistica 6.0 та Microsoft Excel на ПЕОМ. При визначенні адекватності моделі (по множинному коефіцієнту кореляції та F-тесту) використовували дані статистичної обробки і програму Microsoft Excel. При визначенні оптимальних значень факторів використовували програму Statistica 6.0.

3.2 Обробка результатів багатфакторного експерименту

Матриця і результати двофакторного експерименту представлено в таблиці 3.3. Результати визначені, як середні при трикратній повторності.

Таблиця 3.3 – Матриця в закодованому виді і результати експерименту

№ дос- лід	Кутова швидкість барабана	Температура молока	Продуктивність сепаратора, м ³ /с
	x_1	x_2	Q
1	-1	-1	0,0000047
2	-1	0	0,0000098
3	-1	1	0,0000118
4	0	-1	0,0000108
5	0	0	0,0000136
6	0	1	0,0000148
7	1	-1	0,0000093
8	1	0	0,0000150
9	1	1	0,0000153

Спочатку задавшись лінійною залежністю факторів обробку експериментальних даних робили модулем Multiple Regression (множинна регресія) програми Statistica 6.0. У результаті були отримані значення рівнів значимості досліджуваних факторів на продуктивність (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Рівні значимості факторів

Фактор	Коефіцієнт регресії	Стандартна помилка	Критерій Стьюдента	Рівень значимості помилки
	<i>a</i>	<i>Std.Err.</i>	<i>t(10)</i>	<i>p-level</i>
-	0,000011521	0,000000496	23,251538982	0,000000000
x_1	0,000002180	0,000000586	3,718243672	0,003986788
x_2	0,000003060	0,000000586	5,219186072	0,000390332

Аналізуючи отримані значення табл. 3.4, можна відзначити, що найбільш значимим фактором є x_2 , тому що при ньому найбільший коефіцієнт регресії і критерій Стьюдента. Згідно з отриманими даними таблиці 3.4 математична залежність (рівняння регресії) продуктивності сепаратора від кінематичних і технологічних параметрів прийме вид

$$Q_{c.e.} = 0,000011521 + 0,00000218 \cdot x_1 + 0,00000306 \cdot x_2. \quad (3.1)$$

При цьому множинний коефіцієнт кореляції $R=0,897$, а F -тест $=0,7$, який показує ступінь щільності (розподілу) дослідних і розрахункових значень. Отже, отримана математична залежність (3.1) неадекватно описує результати дослідів і необхідно перейти до залежності другого порядку. Крім того, аналізуючи рис. 3.3, можна зробити висновок, що є значна кількість точок, які випадають із 95 % довірчого інтервалу (шість точок з 14).

Далі експериментальні дані були оброблені статистично модулем Nonlinear Estimation (нелінійна оцінка) програми Statistica 6.0 і отримана математична залежність другого порядку продуктивності сепаратора кінематичних і технологічних параметрів у закодованому виді:

$$Q_{c.e.} = 0,0000145 + 0,0000022 \cdot x_1 + 0,0000031 \cdot x_2 - 0,0000021 \cdot x_1^2 - 0,0000017 \cdot x_2^2 . \quad (3.2)$$

Множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,99$, а F -тест $= 0,97$. Отже, отримана модель адекватно описує результати дослідів.

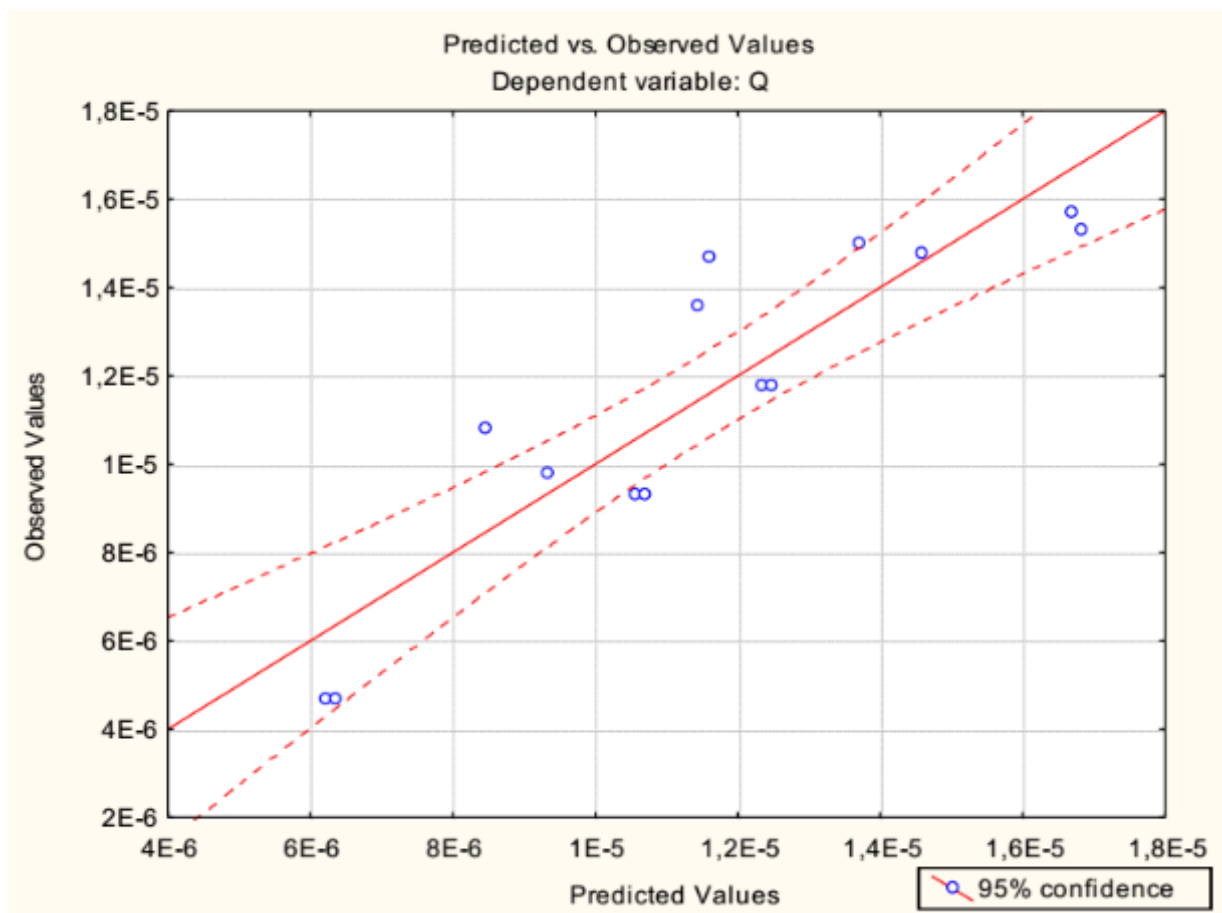


Рисунок 3.3 – Потраплення експериментальних значень в 95 % довірчий інтервал

Для визначення математичної залежності продуктивності удосконаленого сепаратора кінематичних і технологічних параметрів виду (3.2) у розкодованому виді проводили розкодування матриці експериментальних досліджень у таблиці 3.3, згідно з таблицею 3.1, результат представлено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Матриця в розкодованому виді і результати експерименту

№ дос- віду	Кутова швидкість барабана, c^{-1}	Температура мо- лока, $^{\circ}\text{C}$	Продуктивність сепаратора, $\text{м}^3/\text{с}$
	ω	t	Q
1	889,7	21	0,0000047
2	889,7	33	0,0000098
3	889,7	45	0,0000118
4	1046,7	21	0,0000108
5	1046,7	33	0,0000136
6	1046,7	45	0,0000148
7	1203,7	21	0,0000093
8	1203,7	33	0,0000150
9	1203,7	45	0,0000153

Обробку даних таблиці 3.5 проводили модулем Nonlinear Estimation програми Statistica 6.0. При цьому вид залежності відповідав виду залежності (3.2). У результаті отримана математична залежність продуктивності сепаратора-вершковіддільника з лопатевим тарелкодержателем у розкодованому виді:

$$Q = -0,0001153 + 0,00000019 \cdot \omega + 0,00000104 \cdot t - 0,0000000001 \cdot \omega^2 - 0,000000012 \cdot t^2 \quad (3.3)$$

Множинний коефіцієнт кореляції $R=0,99$ а $F\text{-тест}=0,97$. Отже, отримана модель адекватно описує результати дослідів.

3.3 Аналіз отриманих результатів

У результаті проведених розрахунків отриманий тривимірну поверхню відгуку продуктивності удосконаленого сепаратора-вершковідокремлювача (рис. 3.4) від кутової швидкості барабана і температури молока при оптимальному (розділ 2) значенні кутів, утворених вектором відносної швидкості і зворотним напрямком вектора переносної швидкості для кінця лопатей.

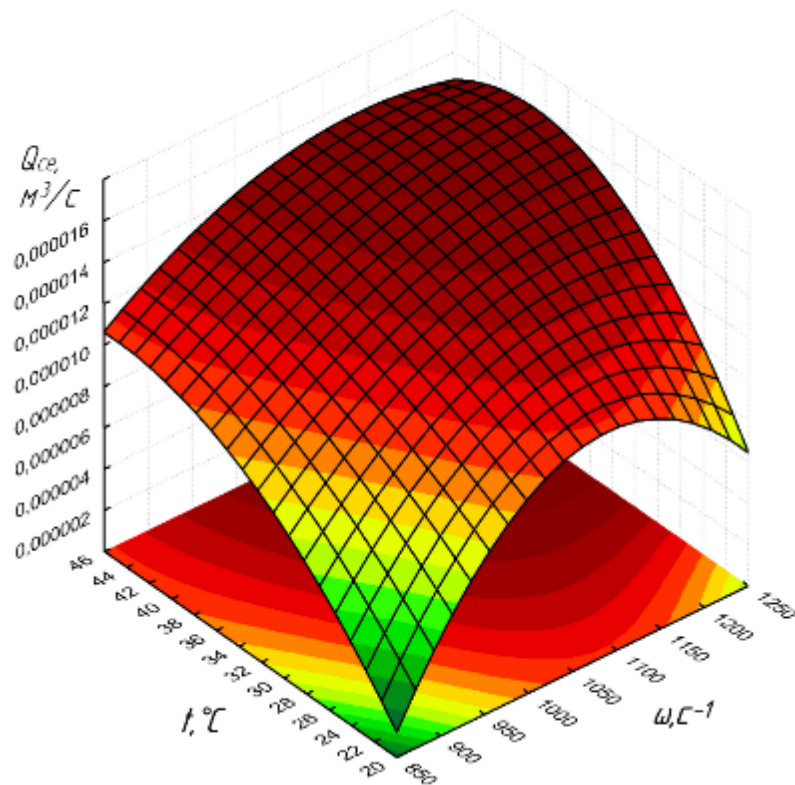


Рисунок 4.2 – Поверхня відгуку продуктивності сепаратора від кутової швидкості барабана і температури молока

Аналізуючи отриману поверхню відгуку можна стверджувати, що при мінімальній температурі молока вплив кутової швидкості барабана на продуктивність сепаратора буде мати чітко виражений оптимум – 1070 c^{-1} . В той же час з ростом температури молока відбувається інтенсивне зростання продуктивності сепаратора на при всіх значеннях кутової швидкості. Це пояснюється зменшенням в'язкості молока. Проте поверхня відгуку має чітко виражений максимум продуктивності, який відповідає оптимальним значенням факторів у розкодованому виді: кутова швидкість барабана $\omega = 1130 \text{ c}^{-1}$; температура молока $t = 42 \text{ }^\circ\text{C}$. При цьому продуктивність удосконаленого сепаратора становить $Q_{ce} = 0,0000165 \text{ м}^3/\text{с}$. Розходження значень продуктивності удосконаленого сепаратора, отримана за результатами факторного експерименту при оптимальних значеннях кінематичних і технологічних параметрів $Q_{ce} = 0,0000165 \text{ м}^3/\text{с}$, а також по теоретичній залежності (2.25) $Q_C = 0,0000159 \text{ м}^3/\text{с}$ не перевищує 4 %.

3.4 Висновки по розділу

1. В даному розділі визначено програму та методику експериментальних досліджень, результати та аналіз яких будуть приведені в наступному розділі.
2. Отримана в результаті двофакторного експерименту математична модель адекватно описує залежність продуктивності сепаратора від досліджуваних факторів - кутової швидкості барабана та температури молока.
3. Встановлено оптимальне значення досліджуваних факторів - кутова швидкість барабана $\omega = 1130 \text{ c}^{-1}$ (або 10796 об/хв) і температура молока $t = 42 \text{ }^\circ\text{C}$, при цьому продуктивність удосконаленого сепаратора становить $Q_{ce} = 0,0000165 \text{ м}^3/\text{с}$ (або 58 кг/год).

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги

Охорона праці при переробці молока базується на ряді нормативно-правових актів України. Загальні вимоги з охорони праці в цій галузі можна сформулювати, враховуючи вказані документи:

Загальні вимоги до охорони праці:

Дотримання Закону України "Про охорону праці". Виконання вимог Санітарних правил і нормативів СП 3.3.6.037-99 "Правила виробничої санітарії для підприємств харчової промисловості".

Організація робочого місця: Раціональне розташування обладнання та робочих місць. Забезпечення належних умов освітлення та вентиляції. Використання засобів індивідуального захисту працівників.

Безпека обладнання: Проведення регулярних технічних оглядів та обслуговування обладнання. Додержання вимог до експлуатації, зазначених у технічній документації.

Заходи з пожежної безпеки: Дотримання вимог Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустановок. Встановлення засобів пожежогасіння та організація евакуаційних шляхів.

Організація робочого часу: Дотримання вимог щодо тривалості робочого дня та відпочинку працівників, передбачених законодавством.

Навчання та інструктажі: Проведення систематичних інструктажів щодо правил безпеки праці та використання обладнання. Забезпечення навчання працівників за основними аспектами охорони праці.

Спеціальні вимоги для переробки молока: Впровадження вимог Гігієнічного нормування максимальної кількості шкідливих речовин у молоці. Забезпечення додержання вимог до температурного режиму під час переробки молочної продукції.

Враховуючи ці загальні вимоги та вимоги конкретних нормативно-правових актів, підприємство з переробки молока може створити безпечні умови праці та дотримуватися вимог законодавства щодо охорони праці.

4.2 Проект інструкції з охорони праці при роботі з сепаратором молока

Охорона праці при роботі з сепаратором-вершковідокремлювачем є важливою для забезпечення безпеки працівників. Нижче подано загальні поради та інструкції з охорони праці.

Ознайомлення з інструкцією. Перед початком роботи завжди ознайомлюйтеся з інструкцією з експлуатації сепаратора-вершковідокремлювача. Ретельно читайте і розумійте всі вказівки та заходи безпеки, наведені в інструкції.

Одяг та засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Використовуйте відповідний захисний одяг, такий як робочий халат, захисні рукавиці, окуляри. Впевніться, що весь використовуваний ЗІЗ у належному стані та правильно пристосований.

Перевірка сепаратора перед використанням. Переконайтеся, що сепаратор у належному технічному стані перед кожним використанням. Виявлені дефекти або поломки повинні бути негайно виправлені фахівцем.

Правильне встановлення та налаштування. Встановлюйте сепаратор відповідно до вказівок в інструкції. Переконайтеся, що всі налаштування виконані вірно та відповідають вимогам безпеки.

Робоче середовище. Працюйте в добре провітрюваному приміщенні або на відкритому повітрі. Уникайте роботи в зоні, де можливий контакт із токсичними речовинами або дрібними частинками.

Використання та обслуговування. Дотримуйтеся інструкцій щодо використання та обслуговування сепаратора. Забороняється використовувати сепаратор для інших цілей, крім призначення.

Запобігання травмам. Уникайте неправильного використання та дотику до рухомих частин сепаратора під час його роботи. Будьте уважні та обережні під час навантаження та вивантаження матеріалів.

Зупинка та вимкнення. Зупиняйте роботу сепаратора перед проведенням будь-яких налаштувань або обслуговування. Вимикаючи сепаратор, переконайтеся, що всі рухомі частини зупинилися перед тим, як проводити будь-які роботи на ньому.

Навчання персоналу. Забезпечте навчання персоналу з використання сепаратора та правил безпеки. Спеціалізований персонал повинен знати експлуатаційні особливості обладнання.

Екстрені випадки. Знайте місцезнаходження засобів пожежогасіння та першої допомоги. В разі аварійної ситуації дійте згідно із заходами безпеки та викликайте допомогу.

Для зменшення ризиків і забезпечення безпеки працівників, важливо дотримуватися інструкцій виробника, проводити регулярну перевірку обладнання, забезпечувати належний ЗІЗ та проводити навчання персоналу з правил безпеки при роботі з сепаратором молока. На рис. 4.1 приведено схему встановлення удосконаленого сепаратора та його небезпечні зони.

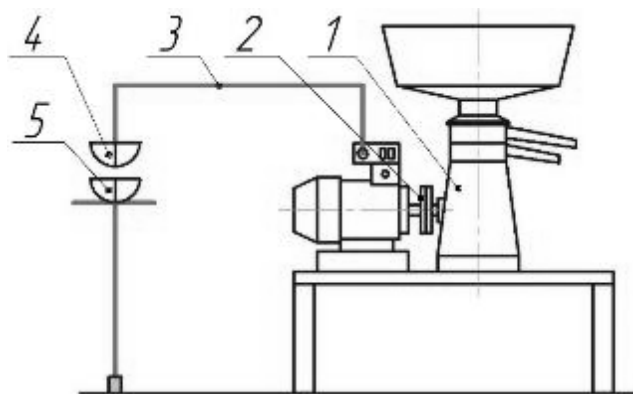


Рисунок 4.1 – Схема удосконаленого сепаратора: 1 – редуктор; 2 - муфта з'єднання; 3 – електричний кабель; 4 - триполюсна електрична вилка; 5 – триполюсна розетка

Зі схеми, приведеної на рис. 4.1 зрозуміло, що основна небезпека це враження електричним струмом при пошкодженні електроізоляції двигуна, тому нами розроблено схему облаштування захисного заземлення (рис. 4.2).

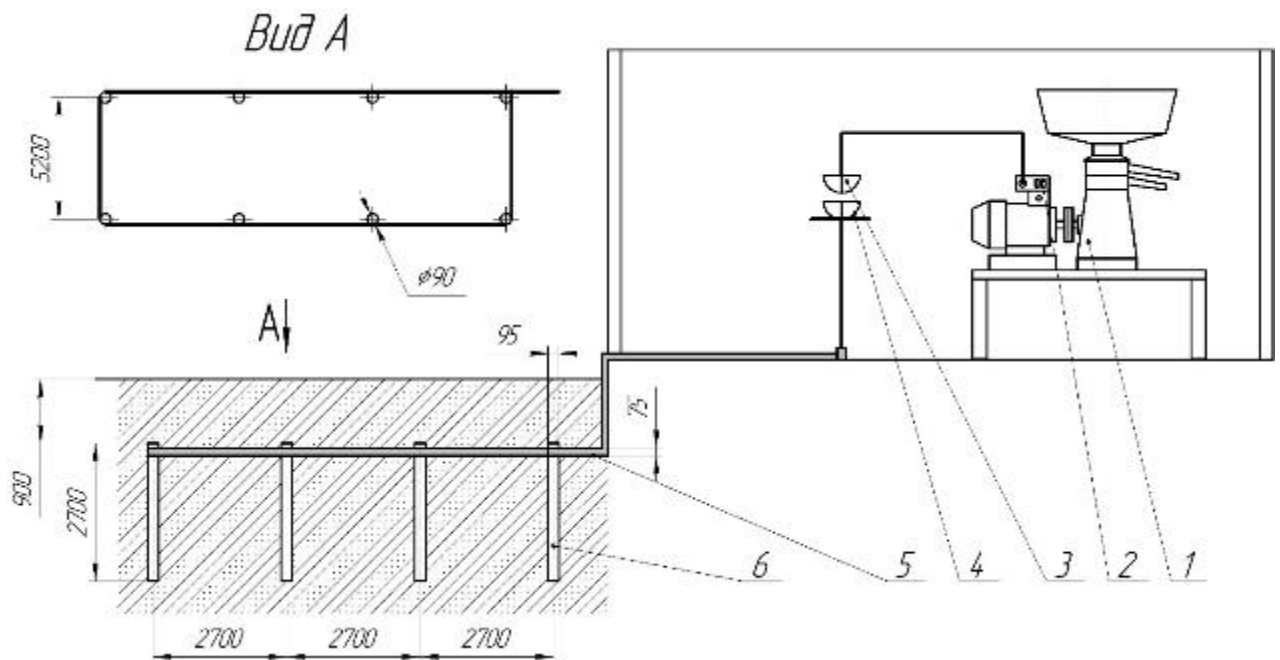


Рисунок 4.2 – Схема контурного захисного заземлення сепаратора: 1 - сепаратор; 2 – блок керування; 3 – триполюсна електрична вилка; 4 – триполюсна розетка; 5 - горизонтальна смуга; 6 – вертикальний заземлювач

4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Важливо відзначити, що ситуація, пов'язана із загрозою з боку Росії є складною та потенційно небезпечною. Реакція на ракетну загрозу повинна бути організованою, ретельно планованою та відповідати конкретній ситуації. Нижче подано загальний порядок дій, але слід зазначити, що це не замінює конкретних інструкцій від органів безпеки та оборони вашої країни.

Отримання інформації. Слухайте місцеві новини та радіо. Дотримуйтеся інструкцій інформаційних служб та урядових органів.

Активація системи попередження. Слідкуйте за сигналами попередження через місцеві системи. Виконуйте інструкції та поради владних органів щодо евакуації або приховування.

Пошук укриття. Якщо є інструкції щодо укриття або евакуації, слід негайно діяти відповідно до них. Уникайте вікон і будь-яких конструкцій, які можуть розгубитися в разі вибуху.

Інформування родини та близьких. Сповістіть свою родину та близьких про ситуацію. Подбайте про те, щоб у них була інформація щодо заходів безпеки.

Запаси та необхідні речі. Заберіть з собою в укриття або евакуацію необхідні речі, такі як ліки, документи, воду та харчі.

Інструкції від органів безпеки. Виконуйте інструкції та рекомендації, які надаються органами безпеки та оборони. Не поділяйтеся невірною інформацією та не поширюйте паніку.

Захист від радіації. Якщо існує загроза радіаційного забруднення, слід залишатися в укритті протягом вказаного часу та виконувати всі рекомендації щодо захисту від радіації. Якщо надається вказівка щодо евакуації, вирушайте до пункту евакуації відповідно до інструкцій.

Після загрози. Слідкуйте за інформацією про подальший розвиток подій та інструкціями щодо повернення додому.

Важливо враховувати, що безпека під час ракетної загрози вимагає спеціальної уваги та виключає будь-яке самовільне діяння. Дотримуйтеся вказівок органів безпеки та служб цивільного захисту.

4.4 Висновки до розділу

На основі діючої нормативної документації було приведено загальні вимоги з охорони праці при роботі з обладнанням для переробки молока. Розроблено проєкт інструкції з охорони праці з удосконаленим сепаратором, приведено порядок дій при ракетному обстрілі.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА УДОСКОНАЛЕННЯ

5.1 Вихідні дані

Економічна ефективність визначалася порівнянням удосконаленого сепаратора-вершковідокремлювача з серійним сепаратором СЦМ-50-18 (виробництво заводу «Мотор Січ») при умові використання на малій приватній ферми на 10 корів.

Основні показники економічної ефективності для удосконаленого сепаратора розраховувалися на підставі даних експериментальних досліджень, а для існуючого варіанта - взяті з технічної характеристики СЦМ-50-18. Вихідні дані для розрахунку зводимо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку техніко економічних показників

Показник	Варіанти	
	базовий (СЦМ-50-18)	проектний (удосконалений сепаратор)
Кількість корів на фермі, гол.	10	10
Середній річний надій на 1 корову, т	6,0	6,0
Річний об'єм робіт, т.	60	60
Продуктивність сепаратора, т/год.	0,050	0,058
Потужність приводу, кВт	0,12	0,12
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Балансова вартість, грн.	7 302,00	8 460,00
Вкладення в переобладнання, грн.	-	1 158,00

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівнювати сепаратори (базовий та удосконалений) будемо за питомими експлуатаційними витратами, які включають до свого складу витрати на заробітну платню, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування та витрати на ремонт і технічне обслуговування. Розрахунок даних показників виконаємо за методиками та рекомендаціями, приведеними в [39].

Таблиця 5.2 - Показники економічної ефективності удосконаленого сепаратора

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	базовий (СЦМ-50-18)	проектний (удосконалений сепаратор)	
Річний об'єм робіт, т.	60	60	100
Продуктивність сепаратора, т/год.	0,05	0,058	116
Потужність приводу, кВт	0,12	0,12	100
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100
Балансова вартість, грн.	7 302,00	8 460,00	115,9
Вкладення в переобладнання, грн.	-	1 158,00	-
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	2 967,96	2 948,32	99,3
в т. ч.: заробітна платня	1 600,00	1 379,31	86,2
витрати на електроенергію	53,60	46,21	86,2
амортизаційні відрахування	730,20	846,00	115,9
витрати на ТО та ремонт	584,16	676,80	115,9
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	1 178,57	-
Строк окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	0,98	-

5.3 Висновки по розділу

Економічна оцінка проектного сепаратора показала, що в порівнянні з серійним сепаратором «Мотор Січ» СЦМ-50-18 (при умові використання на малій приватній ферми на 10 корів), він має переваги за експлуатаційними витратами за рахунок вищої продуктивності. При цьому строк окупності складе 0,98 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи нами отримано наступні результати:

1. Розроблений структурно-функціональний опис технологічного процесу сепарування молока і структурна схема технологічного процесу роботи барабана, які дозволили визначити математичну модель оптимального керування роботою сепаратора з лопатевим тарілотримачем з урахуванням упорядкованості потоку молока по висоті пакета тарілок і рівномірного заповнення просторів між тарілками залежно від функцій зовнішнього і керуючого впливу, а також стану пристрою.

2. Теоретична продуктивність становить $15,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ при висоті тарілки 0,03 м, максимальному радіусі тарілки 0,038 м, кутової швидкості барабана $1151,33 \text{ с}^{-1}$. Встановлено, що продуктивність сепаратора прямо залежить від продуктивності кожного окремо взятого простору між тарілками, отже при рівномірній подачі молока в кожен простір продуктивність сепаратора буде максимальною. Теоретичний аналіз роботи сепаратора з лопатевим тарілотримачем дозволив встановити, що рівномірний розподіл молока по висоті пакета тарілок можливий здійсненням подачі молока по каналах тарілотримача, які виконані з розширенням до периферії і розташовані по дузі кола протилежно напрямку обертання барабана

3. Отримана в результаті двофакторного експерименту математична модель адекватно описує залежність продуктивності сепаратора від досліджуваних факторів - кутової швидкості барабана та температури молока. Встановлено оптимальне значення досліджуваних факторів - кутова швидкість барабана $\omega = 1130 \text{ с}^{-1}$ (або 10796 об/хв) і температура молока $t = 42 \text{ }^\circ\text{C}$, при цьому продуктивність удосконаленого сепаратора становить $Q_{ce} = 0,0000165 \text{ м}^3/\text{с}$ (або 58 кг/год).

4. Розроблено заходи з охорони праці при роботі з удосконаленим сепаратором. Для зазначеної машини проведено проектування заходів з електробезпеки, в т.ч. розроблено захисне заземлення. Щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях, то нами проведено розробка порядку дій у випадку ракетного обстрілу.

5. Економічна оцінка проектного сепаратора показала, що в порівнянні з серійним сепаратором «Мотор Січ» СЦМ-50-18 (при умові використання на малій приватній ферми на 10 корів), він має переваги за експлуатаційними витратами за рахунок вищої продуктивності. При цьому строк окупності складе 0,98 року.

Бібліографія

1. Національний проект «Відроджене скотарство» / Міністерство аграрної політики та продовольства України, Національна академія аграрних наук України // [Текст, таблиці, додатки]. – К. : ДІА, 2011. – 44 с.
2. Машкін М. І. Технологія виробництва молока і молочних продуктів: підруч. / М.І. Машкін, Н.М. Париш; М-во аграрної політики України. – К.: Вища школа, 2006. – 351 с.: іл.
3. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.
4. Методи визначення якісного складу молока та молочних продуктів / А.М. Угнівенко [та ін.] // Молочное дело. – 2008. – № 2. – С. 36-38.
5. Методи дослідження молока та молочних продуктів // Молокопереробка. – 2007. – № 12. – С. 18-28.
6. Чехінін А.В. Поведінка, забрудненість, бактеріальне обсіменіння, мастит. Якість молока / А.В. Чехінін // Вісн. Сумського нац. аграр. ун-ту. – 2006. – № 10. – С. 131-135.
7. ДСТУ 3662-97. Молоко коров'яче незбиране. Вимоги при закупівлі. Видання офіційне. - Київ. Держстандарт України. 1997, - 8 с.
8. Пивовар В. Ефективність використання обладнання для первинної обробки молока / В. Пивовар, Г. Гнатюк // Аграрна країна. – 2007. – 13-18 с.
9. Лобас Л.Г., Лобас Людм. Г. Теоретична механіка: Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л.Г. Лобас, Людм.Г. Лобас. – К.: ДЕДУТ, 2008. – 406 с.

10. Власенко В.В. Технологія виробництва і переробка молока та молочних продуктів: навч. посіб. для студ. вузів III-IV рівнів акредитації / В.В. Власенко, М.І. Машкін, П.П. Бігун. – Вінниця: ГПАНІС, 2000. – 306 с.
11. Руденко В. М. Математична статистика. Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304 с.
12. Ростовський В. С. Системи технологій харчових виробництв: навч. посіб. / В.С. Ростовський, А.В. Колісник. – К.: Кондор, 2008. – 256 с.
13. Херхангер, М. Statistica 6.0: Полное руководство /М. Херхангер, Х. Партолль. – Киев: Ирина, 2000. – 414 с.
14. Технологія переробки продукції тваринництва / О.В. Богомоллов, Ф.В. Перцевий, О.М. Сафонова та ін. - Х.: Вид-во Навч.-метод. Центру заоч. навчання с.-г. вузів України, 2001. - 241 с.
15. Яцюта, М. Актуальні питання в галузі виробництва та переробки молока / М. Яцюта, М. Гелескул, О. Савченко// АгроСвіт. - 2002. - № 5. - С. 22.
16. Плахотний, В. Удосконалення процесу сепарування молока / В. Плахотний, В. Добровольський // Харчова і переробна промисловість. - 2004. - № 7(299). - С. 30-31.
17. Машкін М. І. Технологія виробництва молока і молочних продуктів / М. І. Машкін, Н. М. Париш. – К.: Вища освіта, 2006. – 351 с.
18. Поліщук Г. Є. Технологія молочних продуктів / Г. Є. Поліщук, Т. А. Скорченко, О. В. Грек. – К.: НУХТ, 2013 – 502 с.
19. Скорченко Т. А. Технологія незбираномолочних продуктів /Т. А. Скорченко, Г. Є. Поліщук. – Вінниця: Нова Книга, 2005. – 264 с.
20. Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворощук В.Я. Технологічне обладнання молочних виробництв. Київ : Центр навчальної літератури, 2007. 344 с.
21. Технологія молочних продуктів : підруч. / Г.Є. Поліщук та ін. Київ: НУХТ, 2013. 502 с.
22. Матеріалознавство та матеріали у харчовій промисловості : підручник / В.А. Косенко та ін. Київ : Університет «Україна», 2017. 298 с.

23. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості : підручник / А.П. Ладанюк та ін. Київ : Аграрна освіта, 2001. 224 с.
24. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навч. посібник / В.Г. Мирончук та ін.; Нова книга. Вінниця, 2004. 288 с.
25. Друк О.П. Сепаратори для високожирних вершків. Особливості конструкції // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 3.— С. 80.
26. Гліненко Л.К., Сухонос О.Г. Основи моделювання технічних систем. Львів : Бескид Біт, 2003. 176 с.
27. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва: навч. посібник / П. С. Берник та ін. ; Національний університет Львівська політехніка. Львів, 2004. 336 с.
28. ISO 8968-1. Milk and Milk Products. Determination of Nitrogen Content—Part 1: Kjeldahl Principle and Crude Protein Calculation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2014
29. ISO 14891. Milk and Milk Products. Determination of Nitrogen Content. Routine Method by Combustion According to the Dumas Principle. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2002
30. ISO 22662. Milk and Milk Products. Determination of Lactose Content by High Performance Liquid Chromatography (Reference Method). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2007
31. van der Have AJ, Deen JR, Mulder H. The composition of cow's milk. 4. The calculation of the titratable acidity studied with separate milkings of individual cows. Netherlands Milk and Dairy Journal. 1979;33:164-171
32. EU Council Regulation (EEC) No 2377/90 of 26 June 1990. Laying down a community 'procedure for the establishment of maximum residue limits of veterinary medicinal products in foodstuffs of animal origin'. Official Journal of the European Union. 1990;L224:1-136
33. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підручник / В.Г. Мирончук та ін.; Нова книга. Вінниця, 2007. 648 с.

34. Закон України «Про охорону праці»
35. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»
36. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»
37. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»
38. Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53).
39. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.