

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

**Інститут (факультет) *Навчально-науковий інститут харчових технологій***  
***ім. акад. І.С. Гулого***

**Кафедра *Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв***

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту (декан факультету)

Сергій БЛАЖЕНКО

\_\_\_\_\_

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри МАХФВ

Олександр ГАВВА

\_\_\_\_\_

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

На тему **«Модернізація сепаратора для освітлення пивного сула продуктивністю 3500 Дал/год»**

---

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗОХ-2 - М

**Дівонько Артем Олександрович**

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник

Удодов Сергій Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Консультанти

\_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Рецензент

Люлька Д.М.

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_

(підпис)

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

Здобувач

\_\_\_\_\_

(підпис)

Київ 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Інститут ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого  
Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв  
Освітній ступінь магістр  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
Освітньо-професійна програма Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв  

---

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри МАХФВ  
Олександр ГАВВА

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

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

**Дівонько Артема Олександровича**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Модернізація сепаратора для освітлення пивного сусла продуктивністю 3500 Дал/год»**

Керівник роботи Удодов Сергій Олександрович, доцент, к.т.н.  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закл.вищої осв. від «17» вересня 2025 року № 712-кв  
Строк подання здобувачем роботи 30 листопада 2025 р.

2. Вихідні дані до роботи: технічний паспорт та кресленики обладнання; навчальна нормативна та спеціальна науково-технічна література

3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Реферат; Зміст; Вступ; Аналітичний огляд технологічних та технічних рішень процесу освітлення пивного сусла; Техніко-соціальне обґрунтування; опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи, розрахункова частина, вибір конструкційних матеріалів, монтаж і технічний сервіс, техніка безпеки при експлуатації обладнання; загальні висновки, список використаних джерел, специфікація

4. Перелік графічного матеріалу

Апаратурно-технологічна схема приготування пива; Загальний вигляд сепаратора; Барабан сепаратора; Вузли сепаратора

## Консультанти розділів роботи

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

1. Дата видачі завдання 15.10.2025.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат, зміст	19.10.25	Виконано
2	Вступ	16.10.25	Виконано
3	1. Аналітичний огляд технологічних та технічних рішень процесу освітлення пивного сусла	25.10.25	Виконано
4	2. Опис апаратурно-технологічної схеми приготування пива	29.10.25	Виконано
5	3. Техніко –соціальне обґрунтування	30.10.25	Виконано
6	4. Розрахункова частина	20.11.25	Виконано
7	5. Науково-дослідна робота	29.11.25	Виконано
8	6. Монтаж та технічний сервіс обладнання	25.11.25	Виконано
9	7. Техніка безпеки при експлуатації обладнання	23.11.25	Виконано
10	8. Висновки	30.11.25	Виконано
11	9. Список використаних джерел	29.11.25	Виконано
12	10. Графічна частина: 4 аркуші	28.11.25	Виконано
13	11. Подача КР на кафедру	29.11.25	Виконано

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Артем ДІВОНЬКО

(прізвище)

Сергій УДОДОВ

(ім'я та прізвище)

## Зміст

Реферат.....	5
Анотація.....	6
Техніко-соціальне обґрунтування.....	7
Вступ.....	8
1. Порівняльний аналіз сучасного стану техніки та технології ..... освітлення пивного суслу .....	9
2. Науково-дослідна частина та узагальнення результатів .....	23
3. Будова та принцип роботи відцентрового сепаратора.....	30
4. Розрахункова частина.....	33
5. Вибір конструкційних матеріалів.....	41
6. Монтаж та технічний сервіс обладнання.....	44
7. Техніка безпеки при експлуатації обладнання.....	56
Висновки.....	61
Список використаних джерел.....	62

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> доц. Удадов С.О.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>МАХФВ</b>	<i>Розробник документа</i> Діванько А.О.	<i>Назва, додаткова назва</i>  <b>Зміст</b>	<b>24.1834.KP.01.000.ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> проф. Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: «Модернізація сепаратора для освітлення пивного сусла продуктивністю 3500 Дал/год» виконана згідно виданому технічному завданню та присвячена дослідженню процесу освітлення пивного сусла за допомоги відцентрового сепаратора з метою його удосконалення. В роботі здійснений порівняльний аналіз існуючої техніки та технології освітлення напою та обране найбільш перспективне на сьогодні обладнання для освітлення пивного сусла за допомоги відцентрового сепаратора.

Створена математична модель процесу гідродинаміки освітлення пивного сусла та досліджено роботу сепаратора при різних швидкостях обертання барабану. Виявлені та встановлені вплив та залежність між собою основних параметрів, що впливають на ефективну роботу обладнання.

В результаті експериментальних досліджень визначені числові значення та рівняння регресії. Останні можуть бути використані в процес проектування та створення нового та удосконалення існуючого технологічного обладнання.

В магістерській роботі проведені необхідні конструктивні розрахунки, наведені основні питання та вимоги щодо вибору конструкційних матеріалів, монтажу та технічного сервісу, техніки безпеки при експлуатації обладнання.

**Ключові слова:** пивне сусло, процес освітлення, відцентровий сепаратор, фільтрація, пиво, солод.

## ABSTRACT

Master's thesis on the topic: "Modernization of the separator for clarification of beer wort with a capacity of 3500 Dal/h" was carried out in accordance with the issued technical task and is devoted to the study of the process of clarification of beer wort using a centrifugal separator with the aim of its improvement. The work carried out a comparative analysis of the existing equipment and technology of clarification of the drink and selected the most promising equipment for clarification of beer wort using a centrifugal separator.

A mathematical model of the process of hydrodynamics of clarification of beer wort was created and the operation of the separator at different drum rotation speeds was investigated. The influence and dependence of the main parameters that affect the effective operation of the equipment were identified and established.

As a result of experimental studies, numerical values and regression equations were determined. The latter can be used in the process of designing and creating new and improving existing technological equipment.

The master's thesis contains the necessary structural calculations, the main issues and requirements for the selection of structural materials, installation and technical service, safety precautions during the operation of the equipment.

**Keywords:** beer wort, clarification process, centrifugal separator, filtration, beer, malt.

## Техніко- соціальне обґрунтування

Отримання освітленого пивного сусла із пивного затору після його фільтрації та кип'ятіння разом із хмелем. відіграє важливу роль у пивоварному виробництві. Оскільки вишуканий смак пива залежить від якості полуфабрикатів – затору та пивного сусла, що надходить на подальшу переробку. Тому, велика увага приділяється удосконаленню техніки та технології пивоваріння, підвищенню якості проміжкової продукції.

Від усього цього в значній мірі залежить зріст ефективності виробництва, продуктивності праці, зниження собівартості продукції. Тому необхідно зазначити, що освітлення пивного сусла – це дуже важливий процес в технології пивоваріння, а дана тема є **актуальною**.

На проведення процесу освітлення пива, а саме на здійснення видалення зважених часточок із пивного сусла, білкового відстою припадає значна частка часу для отримання сусла та пива.

Даний недолік в технології освітлення пивного сусла можливо усунути шляхом удосконалення конструкції та технологічних режимів роботи обладнання, що застосовується для даних цілей. Прийняття та впровадження такого рішення надасть певні переваги — здатність забезпечити ефективний процес освітлення, підвищити якість продукції та покращити технологічні параметри роботи обладнання.

Отже, дослідження із ефективності роботи сепаратора, як одного із найперспективніших видів обладнання для проведення процесу освітлення, при різних обертах барабану тощо, дозволить підняти стадію отримання освітленого пивного сусла на більш якісний рівень, а в підсумку отримати високоякісну кінцеву продукцію.

## Вступ

Пріоритетним напрямком пивоварної галузі промисловості України є випуск високоякісної продукції. При цьому бажано також досягти максимального зменшення та скорочення втрат сировини при її переробці при досягненні високих техніко-економічних показників роботи технологічного обладнання.

У харчовій галузі промисловості ринок слабоалкогольних та безалкогольних напоїв є одним з най динамічніших в розвитку. В останні десятиріччя останній наблизився до свого насичення. Отже, таким чином останнім часом зростає конкуренція між його виробниками. Відбувається зміцнення цих позицій в основному за рахунок відвойовування крупними компаніями частки у конкурентів. Взагалі, спостерігається наступна тенденція. Багато невеличких пивоварних підприємств характеризується морально та фізично зношеною матеріально-технічною базою. Вони змушені покинути галузь, або взагалі перепрофілюватися. Сучасний ринок напоїв забезпечують понад 50 виробників. Серед яких основними виробниками на ринку напоїв є чотири компанії: три транснаціональні (ПАТ «САН "Інбев Україна», Baltic Beverages Holding, Submiller) та одна вітчизняна – ПРАТ «Оболонь». Останні пропонують на пивному ринку понад. Разом вони контролюють до 90 % ринку напоїв із понад 30 фірмовими брендами та сотнею найменувань пива,

Робота підприємств по постійному розширенню та модернізацією власних виробничих потужностей, впровадження унікальних високотехнологічних розробок є гарантом успішної конкурентної боротьби та найвищої якості продукції. Дотримання передових технологій у виробництві, використання натуральної сировини дозволяють підприємствам виготовляти високоякісні натуральні й екологічно чисті продукти та напої.

Слабоалкогольний напій пиво є третій за популярністю серед різних верств населення у світі. Пиво є слабоалкогольним напоєм, що отримується

шляхом ферментації пивного сусла за допомоги пивних дріжджів та з додаванням хмелю.

## **1. Порівняльний аналіз техніки та технології освітлення пивного сусла**

В технології пивоваріння процес освітлення пивного сусла відіграє суттєву роль у випуску кінцевої високоякісної продукції. Від правильного та належного його проведення залежить якість готового пива, а саме: смак та прозорість.

Процес освітлення пивного сусла являє собою процес осадження зважених у рідині білкових часточок з наступним видаленням цього осаду.

Згідно технології приготування пивного сусла, в практиці вітчизняного пивоваріння знайшли широко наступні технічні рішення видалення із гарячого охмеленого пивного сусла зважених часточок за допомоги:

- відстійного апарату;
- сепараторів;
- гідроциклонних апаратів.

### **1.1 Апарат відстійний**

Класична технологія передбачає охолодження пивного сусла у закритому відстійному апараті /рис.1/. Останній уявляє собою ємність з плоским днищем та системою охолодження у вигляді внутрішньо розташованого змішувача або зовнішньої сорочки.

Відстійний апарат герметичний, що запобігає можливому інфікуванню продукту, має технологічний люк-лаз для обслуговування.

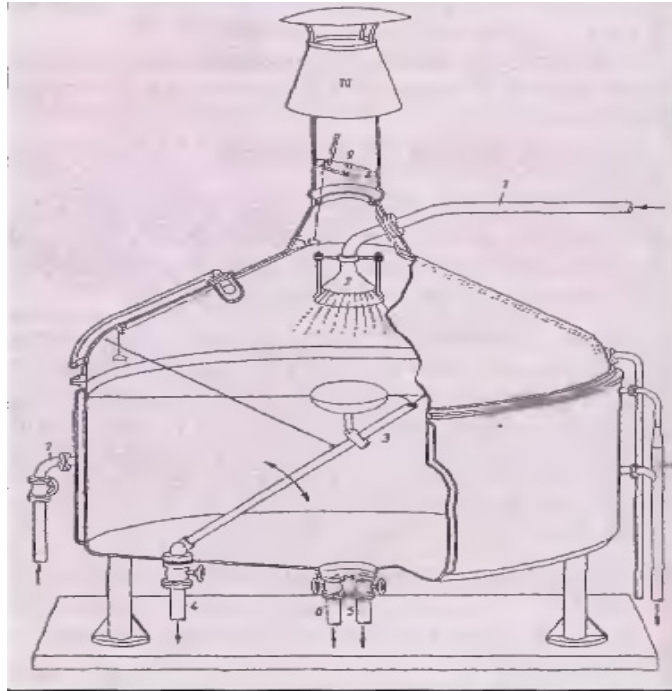


Рис. 1. Апарат відстійний :

1 – трубопровід для подачі охмеленого гарячого пивного сусла; 2 – розподільчий конус; 3 – сусло приймач; 4 – відвід сусла; 5 – відвід білкового відстою; 6 – відвід води після промивки; 7 – впуск холодної води; 8 – вихід теплої води; 9 – дросельна заслінка; 10 – витяжна труба

**Принцип роботи.** Охмелене гаряче пивне сусло після його кип'ятіння перекачують у відстійний апарат. В той же час по змійовику або в сорочку охолодження подається водопровідна вода. Сусло при цьому охолоджують до  $70^{\circ}\text{C}$ , а водопровідна вода нагрівається і може далі використовуватися як для технічних потреб.

Із-за значної висоти шару пивного сусла зважені білкові часточки у відстійному апараті осідають гірше. Це пояснюється тим, що верхні шари сусла містять менше часток суспензій гарячого сусла, чим нижні. Освітлене пивне сусло відводиться з відстійного апарату через поплавковий сусло приймач, який відбирає сусло з верхнього прошарку. Пивне сусло, що містить зважені часточки, залишається в апараті і повинне додатково оброблятися. Дане технологічне обладнання практично вже не використовується у виробництві внаслідок низької продуктивності та ефективності освітлення.

## 1.2 Технологія освітлення пивного сусла з безпосереднім вакуумуванням відстійного апарату.

Після передачі охмеленого гарячого пивного сусла апарат /рис.2/ повинен герметизуватися. Розрідження в апараті створюється вакуум-насосом, ежектором або за допомоги барометричного конденсатора. Утворювана вторинна пара може скидатися в атмосферу або використовуватися на виробничі потреби для випадку використання вакуум-насоса.

В разі встановлення парового ежектора буде одержана суміш первинної та вторинної пари, а за використання барометричного конденсатора отримується нагріта вода.

Однак, недоліком даної системи є відносна складність герметизації відстійного апарату та необхідність перевірки його міцності в разі надлишкового зовнішнього тиску.

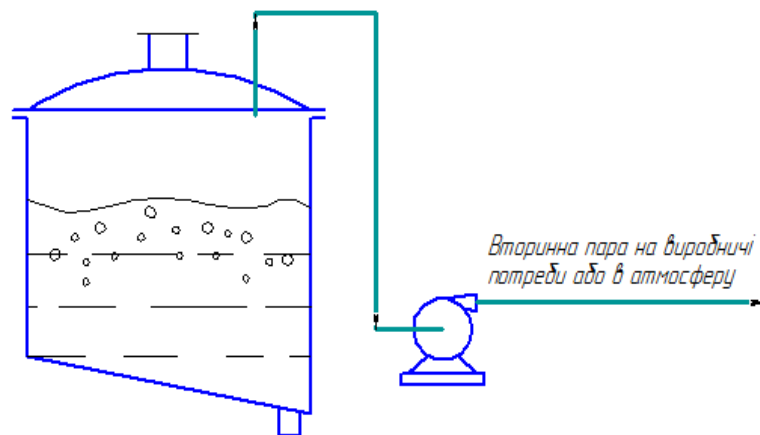


Рис. 2. Технологія освітлення пивного сусла з безпосереднім вакуумуванням відстійного апарату

## 1.3 Комплекс з циркуляційним контуром і зовнішнім вакуумним пристроєм

У цьому комплексі вакуум-охолоджувач утворює циркуляційний контур із змійовиком, встановленим всередині у відстійному апарату /рис.3/.

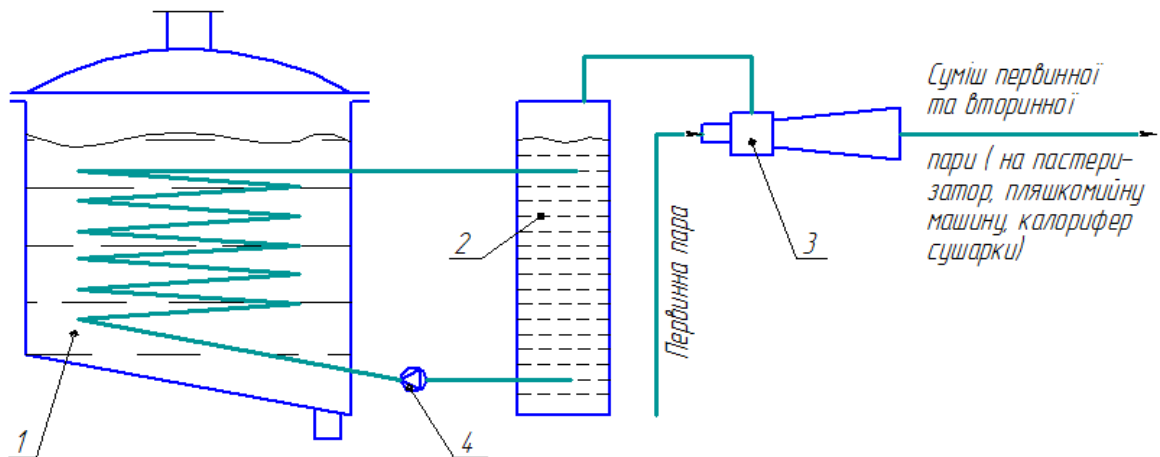


Рис. 3 Комплекс з циркуляційним контуром і зовнішнім вакуумним пристроєм: 1 – відстійний апарат; 2 – вакуум-охолоджувач; 3 – ежектор; 4 – насос

Технологічні процеси у відстійному апараті абсолютно ідентичні до тих, що відбуваються у діючому обладнанні, а наявність виносного вакуум-охолоджувача сприяє мінімізації розмірів обладнання.

#### 1.4 Комплекс охолодження на основі теплової труби.

У цьому комплексі /рис.4/ випаровувач 2 змійовикового типу та трубчаста система конденсатора 3 утворюють замкнений циркуляційний контур, що заповнюється водою до певного рівня Н.

Простір вище рівня Н вакуумується

до величини, що забезпечує кипіння води у змійовику по всій його довжині. Утворена водяна пара потрапляє в повітряний конденсатор.

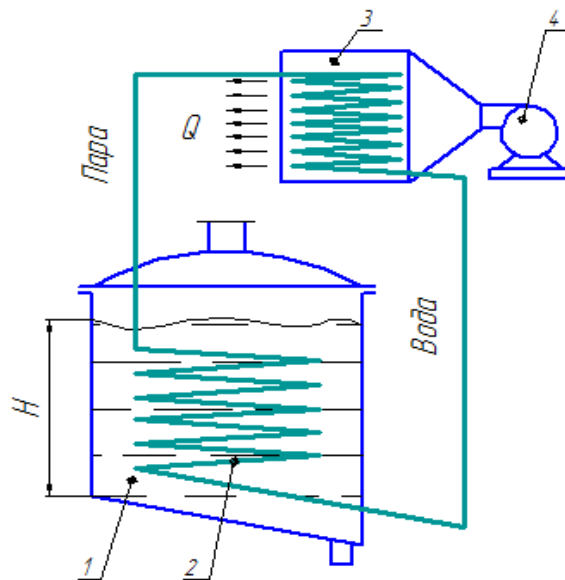


Рис. 4 Комплекс охолодження тепловою трубою:

1 – відстійний апарат; 2 – змієвиковий випарник; 3 – повітряний конденсатор; 4 – вентилятор

Повітря від вентилятора конденсується та повертається під дією сил тяжіння у змієвик випаровувач.

Отже, для роботи даного комплексу інтенсивність кипіння води у верхній частині змієвика повинна бути більшою, ніж у нижній. Тому, величину  $H$  необхідно обмежувати.

При цьому температури кипіння  $t_k$  і конденсації  $t_{кон}$  близькі, а умови роботи комплексу має вигляд:  $t_k = t_{кон} < t_v$

де  $t_v$  – температура повітря, що подається в конденсатор.

В холодний період року, коли температура повітря менше  $6^{\circ}\text{C}$ , система дозволяє здійснювати повне охолодження сула. В той же час у теплий період року ступінь охолодження сула практично визначається температурою зовнішнього або кондиційованого повітря.

Орім можливості управління технологічним процесом, комплекс дозволяє утилізувати теплоту сула, що охолоджується. Відпрацьоване повітря може спрямуватися на обігрів виробничих приміщень або на технологічні потреби солодового виробництва - висушування солоду, для пристроїв кондиціонування повітря необхідного для пророщування солоду тощо. Серед усього іншого важливим економічним аспектом є те, що повністю виключаються витрати води на технологічний процес.

Важливою перевагою такого комплексу є збереження позитивних властивостей теплової труби. Наявність фазових переходів, що мають місце у випаровувачі та конденсаторі призводять до вагових коефіцієнтів теплопередачі. Особливо – у конденсаторі, де висока швидкість газового потоку гарантує відповідні показники коефіцієнта тепловіддачі в залежності від поверхні охолодження.

### 1.5 Комплекс водоповітряного охолодження.

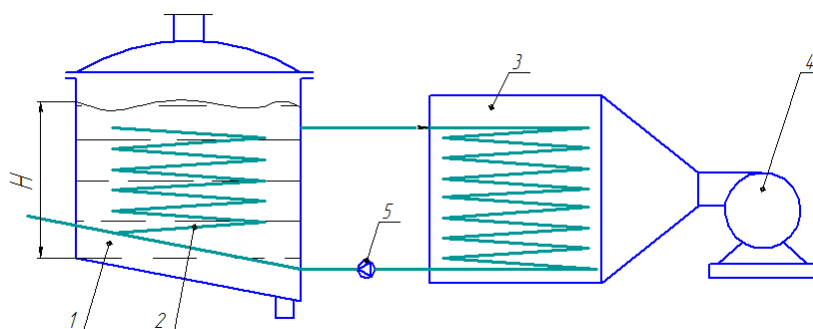


Рис. 5 Комплекс водоповітряного охолодження: 1 – відстійний апарат; 2 – змійовик охолодження; 3 – повітряний охолоджувач; 4 – вентилятор; 5 – насос

У комплексі, що пропонується, змійовик відстійного апарату з'єднується з трубчастою системою повітряного охолоджувача. За рахунок насоса здійснюється циркуляція охолоджуваної води. Однак, за показниками коефіцієнтів теплопередачі даний комплекс поступається попередньому.

## 1.6 Сепаратори

Зважені часточки, що знаходяться у пивному суслі, важчі за саме сусло а тому із часом вони осідають природним шляхом. Однак даний процес є довготривалим і не може бути застосований на практиці, оскільки пов'язаний із необхідністю великої кількості ємкостей, небезпекою інфікування продукту при низьких температурах, а головним чином – низька продуктивність обладнання. Вищезначені недоліки призвели до пошуку інших технічних рішень. Так, природним рішенням виявилася прискорити швидкість осідання зважених часток в полі дії відцентрових сил. В практику пивоваріння успішно були впроваджені сепаратори.

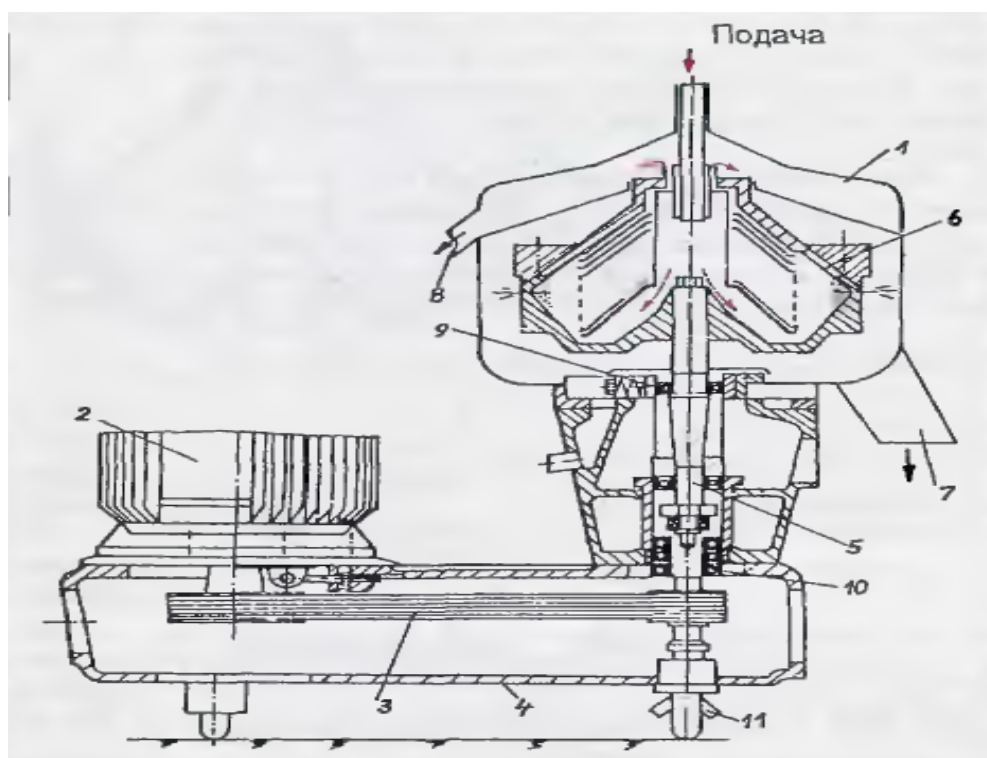


Рис. 6 Сепаратор (схематично):

1 — кожух барабана, 2 — привідний електродвигун, 3 — клинопасова передача, 4 — основна плита, 5 — вал барабана сепаратора, 6 — тарілчастий барабан, 7 — вивантаження твердого матеріалу, 8 — випуск сусла, 9 — проміжний підшипник, 10 — опорний підшипник, 11 — демпфер коливань.

Обладнання складається з нерухомої основної плити (4), на якій розташоване потужний приводний електродвигун (2) і власне сепаратор з'єднаний клинопасовою передачею.

Привід барабана здійснюється від валу (5) - шпинделя. Головним вузлом сепаратора є тарілчастий барабан (6) з тарілками.

Такі частини сепаратора, як вал і тарілчастий барабан, що обертаються, повинні бути динамічне урівноважені і, тому мають завжди бути зібраними в суворо передбаченому порядку. Однак, не дивлячись на це, все ж таки виникають, особливо при запуску барабана, неуврівноваженості (із-за допусків виготовлення, люфту підшипників, вібрації неуврівноваженого суслу, що поступає, впливу приводу), які навантажують вал барабана і призводять до коливань (биттю). Однак, ці критичні числа обертів швидко повинні проходити при запуску та гальмуванні. Це явище також зменшується завдяки встановленню пружного проміжного підшипника (9) на валу барабана.

Основною вимогою при роботі сепаратора, його бездоганної роботи є обертання без биття, оскільки неуврівноваженість може створювати такі сили, що можуть призвести до поломки обладнання.

Практика засвідчила, що за допомоги сепаратора можна швидко і без ускладнень відокремити гаряче охмелене пивне сусло від білкових часточок, і втрати по рідкій фазі при цьому будуть відносно невеликі - в середньому менше 0.3%. Однак, серед недоліків використання даного обладнання є його висока вартість та значні експлуатаційні витрати. Особливо це стосується щодо високого споживання електроенергії, складові для приводу барабана 0,65-0,8 кВт • год/м<sup>3</sup>. Окрім того, слід зазначити високу конструкційну складність обладнання. Тривалий час дане технологічне обладнання використовувалося на практиці у пивоварінні, поки на зміну не прийшло обладнання нового покоління – гідроциклонний апарат /Вірпул/.

Однак сепаратор, як і раніше, широко використовують при видаленні суспензій холодного сусла та при освітленні готового зброженого пива перед фільтруванням та подальшою його подачею на розлив.

Промисловий дріжджовий сепаратор типу HDA 75 06 016 (Рис.7) складається із станини, привідного механізму та приймально-вивідного пристрою. Дріжджова суспензія по нерухомій центральній трубі приймально-вивідного пристрою подається в обертаючий барабан і по внутрішній частині тарілки спрямовується до перефії пакету тарілок. Під дією відцентрових сил, виникаючих при обертанні барабана з тарілками, осаджується основна частина дріжджових клітин. Потім суспензія направляється до пакету тарілок, на внутрішніх частинах, яких осаджуються дріжджі, що залишились. Останні сповзають до перефійної зони барабана. Освітлена рідина – пивне сусло, відтісняється до центру і по зовнішнім каналам тарілотримача направляється у горловину барабана, а з неї вже виводиться у вивідний пристрій.



Рис. 7 Сепаратори типу HDA 75 06016, потужність двигуна – 45 кВт (АТЗТ "Одеський дріжджовий завод")

Під дією гідростатичного тиску пивні дріжджі поступають через мундштук із барабана у кільцевий приймач і, звідкіля у вигляді згущеної

суспензії виводиться із сепаратора. Дріжджовий концентрат спрямовують у ємкість, де його промивають холодною водою для видалення залишків бражки, після чого пивні дріжджі знову направляють до сепаратора. Промивку та сепарування пивного сусла повторюють ще два рази.

На ряді вітчизняних дріжджових заводах України успішно експлуатуються сепаратори фірм «Де-Лаваль» та «Альфа-Лаваль»,

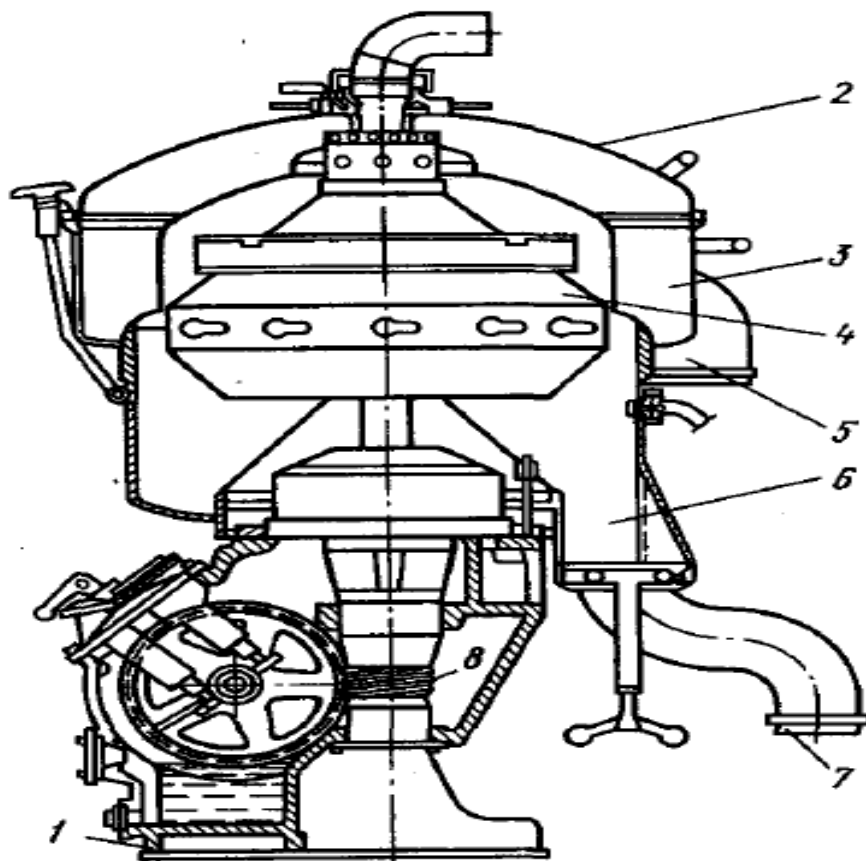


Рис. 8 Сепаратор марки FEUX фірми «Де-Лаваль».

1-станіна; 2-верхня кришка; 3-верхній збірник; 4-барaban; 5-патрубок для бражки; 6-дріжджевий збірник; 7-патрубок для дріжджового молока; 8-черв'ячна передача

виробництва Швеції. Останні мають конструкцію приводу, аналогічну конструкціям сепараторів вітчизняного виробника (Рис.8, Рис.9).

Вертикальний вал із встановленим на ньому барабані із тарілками приводиться в рух через плоско-пасову передачу напряду від електродвигуна. Відсутність редуктора значно полегшує конструкцію приводу сепаратора, зменшує кількість підшипників кочення, що в поєднанні з невеликою швидкістю обертання вертикального валу забезпечує експлуатаційну надійність.

### 1.7 Освітлення охмеленого пивного сусла за допомоги апаратів гідроциклонного типу

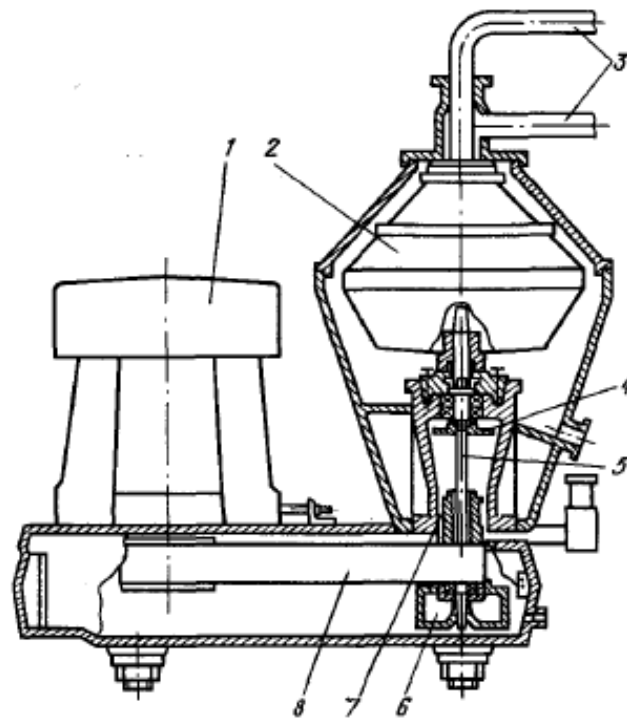


Рис. 9. Сепаратор фірми «Альфа-Лаваль»: 1-електродвигун; 2-барабан; 3-патрубки; 4-розпилювач; 5-вертикальний вал; 6-картер; 7-сопло; 8-пасова передача

#### 1.7.1 Флотаційний метод освітлення сусла

При флотаційному методі сусло перенасичується повітрям таким чином, щоб кожна дріжджова клітина забезпечувалася повітряною бульбашкою. При цьому дрібні зважені частинки охолодженого сусла, які не

розчинилися, адсорбуються вільними бульбашками повітря і виносяться на поверхню пивного сусла.

При способі флотації (рис. 10) гаряче охмелене пивне сусло спочатку поступає в гідроциклонний апарат 1 для видалення зважених білкових часточок, що знаходяться ще у гарячому стані. Далі насосом 2 пивне сусло спрямовують у пластинчастий теплообмінник 3 для його охолодження, і далі - у аераційний пристрій 5 / трубки типу Вентурі/. Тут сусло і стерильне повітря інтенсивно змішуються при надлишковому тиску 0,2 МПа, що створюється насосом 4. При цьому у сусло подається стерильне повітря в об'ємі 50... 100 л/Гл. Після аераційного пристрою 5 сусло направляють у ємність флотації 6. В цій ємності, повітря разом із частинками охолодженого сусла піднімається на поверхню внаслідок зняття тиску в ємності.

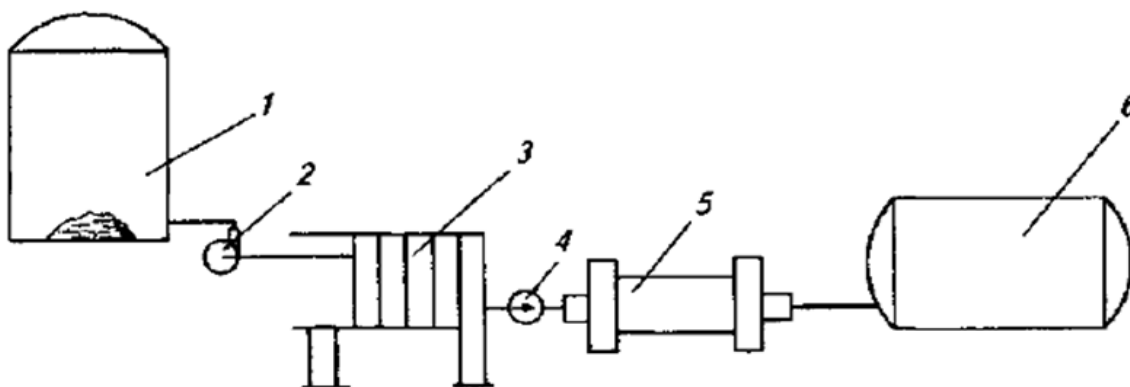


Рис. 10 Флотаційний метод освітлення пивного сусла :

1 – гідроциклонний апарат; 2 – насос; 3 – теплообмінник; 4 – насос; 5 – аераційний пристрій; 6 – флотаційна ємність.

Пивні дріжджі можливо дозувати у пивне сусло, а потім суміш піддавати інтенсивній аерації і далі подавати в ємність флотації. Також, можливе внесення пивних дріжджів під час проведення процесу флотації.

Через 4...16 год. у флотаційній ємності утворюється компактна дека. Після чого пивне сусло перекачується у бродильні апарати, а дека осідає на стінках ємності і далі змивається водою. При цьому виділяється приблизно від 50 до 70% частинок охолодженого сусла. При підборі ємностей для флотації необхідно передбачити, щоб у міру заповнення їх сусликом для піни залишався

вільний простір в межах 30% об'єму.

Методом флотації можна не лише відокремлювати суспензії охолодженого сусла, але і інтенсивно забезпечувати дріжджові клітинки киснем, що сприяє їх розмноженню та прискоренню головного бродіння.

### 1.7.2 Гідроциклонний апарат.

Удосконалена конструкція /Рис.11/ гідроциклонного апарату для освітлення пивного сусла складається з вертикальної циліндричної ємності з верхнім та нижнім конічними днищами, витяжної труби, патрубків подачі і виведення сусла, миючого пристрою, нижнього люка для технологічного обслуговування апарату та верхнього оглядового люка для спостереження за процесом. Особливістю даної конструкції є те, що по висоті апарату встановлюються додаткові патрубки подачі сусла, вище за основний, в кількості не менше двох.

Гідроциклонний апарат удосконаленої конструкції зображений на рис 11.

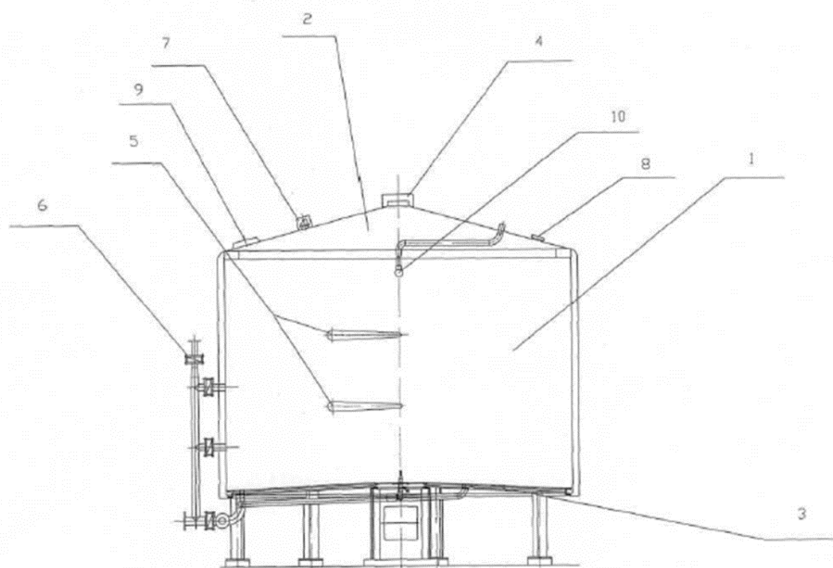


Рис. 11 Удосконалений гідроциклонний апарат

Апарат складається з циліндричної ємності 1, конічних верхнього 2 і нижнього 3 днищ, витяжної труби 4, патрубків подачі сусла 5, виведення освітленого сусла 6, освітлення 7 технологічного люка 8, оглядового люка 9, миючого пристрою 10.

Апарат працює наступним чином:

Охмелене гаряче пивне сусло через нижній патрубок 4 із заданою швидкістю подається по дотичній у циліндричну ємність 2. Це надає сулу обертальний руху, внаслідок чого зважені частинки сусла під дією сил тяжіння та тертя, осаджуються в центральній частині днища 6. При поступовому заповненні апарату пивним суслем на рівні, коли нижній патрубок подачі буде занурений у сусло він перекривається. Одночасно вмикається другий патрубок подачі сула, що розташований вище. Через цей патрубок відбувається подача сусла у частину апарата, яка ще не заповнена пивним суслем. По закінченні процесу подачі сусла та певної витримки у часі, що відводиться на відстій осаду, освітлене пивне сусло поступово забирають через патрубки 5. Спорожнений від пивного сусла апарат звільняють від осаду і ретельно промивають за допомоги миючого пристрою 10.

### 1.7.3 Комплекс для освітлення пивного сусла

Комплекс /Рис.12/ містить ємкісний апарат з вертикальним циліндричним корпусом, сорочкою на корпусі, збірником осаду в його днищі і мішалкою-розподільником, а також - два збірника води, що охолоджує, сполучені з сорочкою апарату трубопроводами, прямоточний теплообмінник, відцентровий насос, сполучні трубопроводи, запірну арматуру і датчики виміру температури сусла, хладоагенту. Увесь процес проведення охолодження сусла від 95 до 6°C та його освітлення здійснюються в ємкісному апараті. Останній забезпечує збереження стерильності пивного сусла і повне відділення білка. В якості проміжного хладоагенту використовується артезіанська вода в об'ємі 2:1 по відношенню до об'єму охолоджуваного сусла. При цьому, 70% теплоти сусла відводиться на підігрів води /для приготування чергового затору та миття обладнання ) і лише 30% теплоти відводиться хладоагентом.

Дані показники досягаються тим, що конструкція комплексу дозволяє змінювати напрям потоку води на різних стадіях охолодження пивного сусла. Так, наприклад, на завершуючій його стадії направляти воду по замкнутому контуру циркуляції сорочка-теплообмінник-насос-сорочка. Це дозволяє значно підвищити ефективність роботи комплексу.

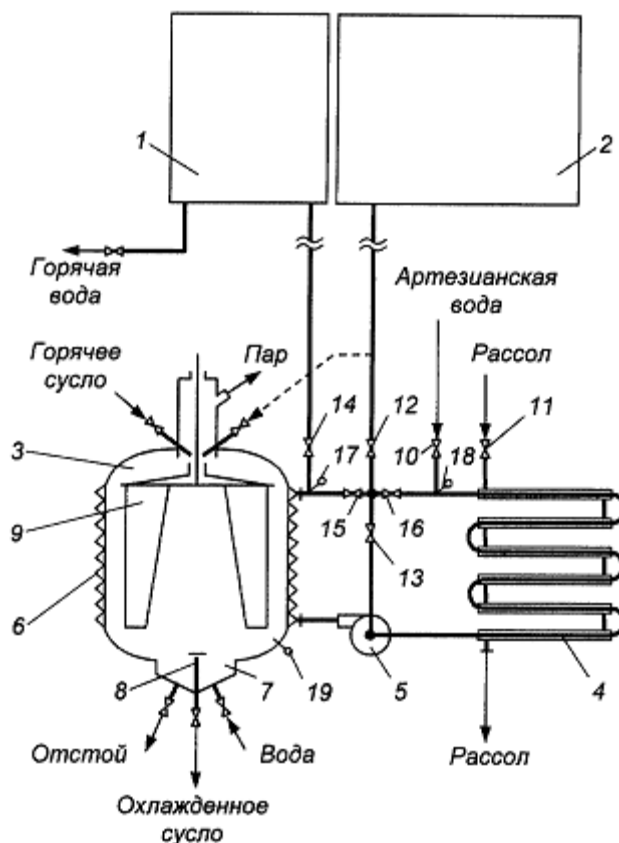


Рис. 12 Комплекс для освітлення пивного сусла

### Висновки.

Отже, здійснивши огляд сучасних технічних та технологічних рішень, що використовуються на практиці у пивоварінні та пропонуються багаточисельними розробниками такого виду обладнання, можна дійти до висновку, що освітлення гарячого охмеленого пивного сусла найкраще буде відбуватися у полі дії відцентрової сили.

Із різноманітних конструктивних рішень, що мають місце на сьогоднішній день та зарекомендували себе самою практикою експлуатації, виходячи також із міркувань ефективності та якості кінцевого продукту,

цінність представляє собою обладнання для освітлення пивного сусла за допомоги сепараторів.

Тому, представляється доцільним подальше вивчення та дослідження процесу освітлення пивного сусла з метою удосконалення його конструкції.

## 2. Науково-дослідна робота та узагальнення результатів

Одним із найважливіших факторів, від якого залежить ефективність та якість проведення процесу освітлення охмеленого пивного суслу за допомоги сепаратора – є швидкість обертання його робочого органу, а саме барабану сепаратора. Проблема дослідження та визначення найбільш раціональної частоти обертання барабана є основою задачею досліджень даної магістерської роботи.

Здійснення досліджень полягають у визначенні швидкості руху рідини в декількох точках барабана в залежності від швидкості надходження рідини в сепаратор. Це надасть можливість у подальшому визначити найбільш раціональні режимні параметри роботи сепаратора.

В ході дослідження може використовуватися як фізичне, так і математичне моделювання об'єктів та процесів.

Фізичне моделювання – передбачає дослідження об'єктів (систем), процесів та явищ на фізичних моделях. При цьому об'єкт, процес або явище, що досліджується, зберігає його фізичну природу.

Нами запропоновано здійснити чисельне дослідження, що базується на використанні математичної моделі, яка являє собою систему диференціальних рівнянь, що описують той чи інший процес. У відцентровому сепараторі відбувається осадження білкового осаду за рахунок дії відцентрової сили. Остання у багато разів перевищує силу тяжіння і тому її використовують для прискорення процесу осадження зважених часточок у рідині.

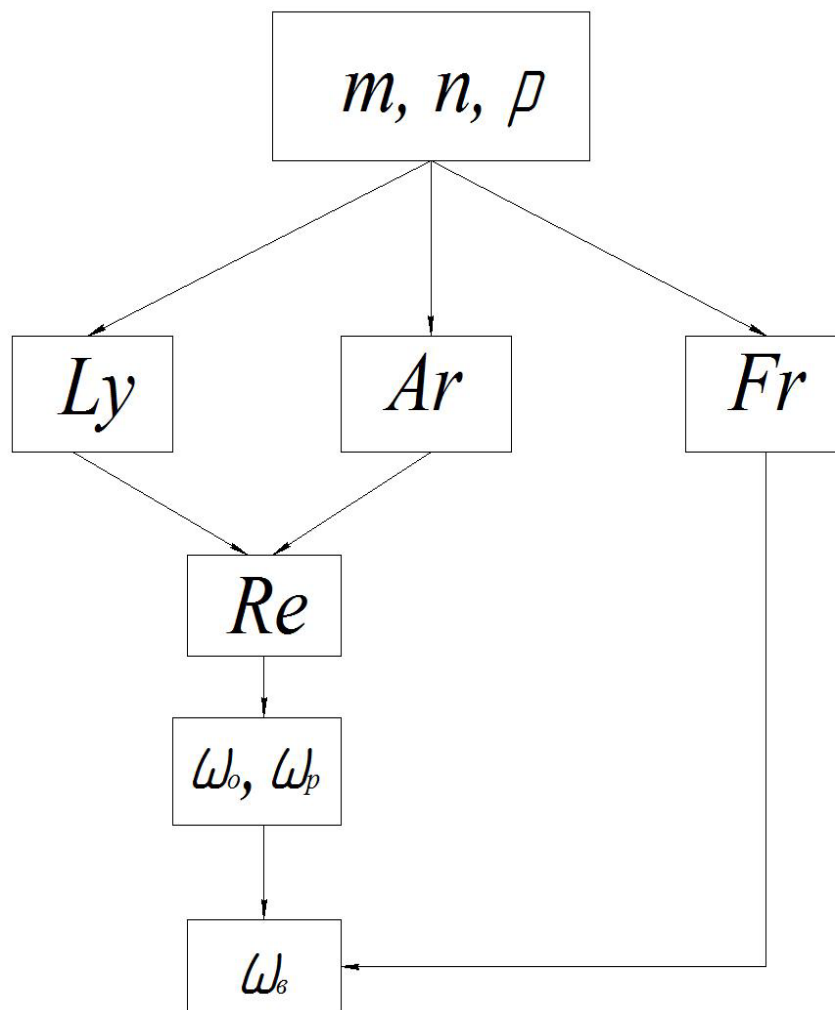
В техніці у технологічному обладнанні для створення дії поля відцентрових сил, використовують два прийоми:

1. Потік гетерогенної системи /суспензії чи емульсії/ спрямовують у барабан (ротор) машини, який обертається разом з неоднорідною системою.

2. Забезпечують обертальний рух суспензії у нерухомому корпусі апарата.

У першому випадку відбувається відцентрове осадження, а у другому – циклонний процес. Тому необхідно створити математичну модель, яка б являла собою розв’язання диференціальних рівнянь, що описують гідродинамічні процеси, що відбуваються в середині апарата.

### *Загальний вигляд математичної моделі процесу сепарації тивного сусла*



$Ly$  - розрахунок швидкості осідання за методом Ляценка;

$Ar$  – критерій Архімеда;

$Fr$  - критерій Фруда (фактор розділення);

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$\omega_0$  - швидкість осідання;

$\omega_p$  - розрахункова швидкість осідання;

Визначення швидкості осідання зважених часточок за методом Лященко:

$$L_y = \frac{0,523 \cdot g \cdot d^3 \cdot (\rho_1 - \rho_2)}{v^2 \cdot \rho_2}.$$

Визначення швидкості осідання зважених часточок за функцією критерію Архімеда:

$$Ar = \frac{3}{4} \cdot \xi \cdot Re^2,$$

$\xi$  – коефіцієнт опору.

Визначимо критичні значення критерію Архімеда для трьох граничних параметрів критерію Рейнольдса. останнє відповідає трьом режимам руху твердого тіла у в'язкому середовищі.

Отже, для умов осідання часточок згідно закону Стокса, тобто при  $Re \leq 2$ , коефіцієнт опору  $\xi = \frac{24}{Re}$  і критичне значення критерію Архімеда буде становитиме:

$$Ar_{кр} = \frac{3}{4} \cdot \xi \cdot Re^2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{24}{Re} \cdot Re^2 = 18 \cdot Re,$$

або  $Ar_{кр} = 36$ .

У випадку проміжного режиму руху рідини, тобто при  $2 < Re < 500$ ,  $\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}}$  і критичне значення критерію Архімеда буде дорівнювати:

$$Ar_{кр} = \frac{3}{4} \cdot \xi \cdot Re^2 = 84000.$$

У випадку автомобельного режиму осідання зважених часточок, тобто при  $150000 > Re > 500$ ,

$\xi = 0,44$  і

$$Ar_{кр} = \frac{3}{4} \cdot \xi \cdot Re^2 = 0,33 Re^2 = 0,33 \cdot 500^2,$$

$$Ar_{кр} > 84000.$$

Знайшовши параметр критерію Рейнольдса, можливо визначити швидкість осідання зважених часточок:

$$\omega_0 = \frac{Re \cdot \nu}{d}, \text{ м/с.}$$

Усі вище отримані рівняння повністю справедливі за умови, що осідаючі часточки мають форму кулі розміром  $d$ . Однак, на практиці часто форма часточок відрізняється від кулі. Це істотно впливає на режим та процес осадження. Тому, використовують та вводять поправку на параметр швидкості осідання часточок. Швидкість осадження розраховують визначають як:

$$\omega_p = \omega_0 \cdot \varphi,$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, який враховує форму завислих часточок (для часточок кулько подібної форми  $\varphi = 1$ , а для часточок неправильної форми  $\varphi < 1$ ).

За експериментальними даними, отримані дані при осіданні часточок в умовах автотельного режиму, тобто при  $Ar > 84000$ , практично для усіх часточок різної форми  $\varphi$  можна вважати: для круглих - 0,77, кутастих – 0,66, довгастих – 0,58, пластинчастих – 0,43.

При дослідженні швидкості осідання часточок не кулько подібної форми за лінійний розмір  $d$  потрібно обирати еквівалентний діаметр  $d_{\text{екв}}$ , під яким розуміють діаметр кулі. Об'єм останньої дорівнює об'єму часточки, виготовленої з того самого матеріалу, що і сама зважена часточка:

$$d_{\text{екв}} = 1,24 \cdot \sqrt{\frac{m_1}{\rho_1}}, \text{ м},$$

де  $m_1$  – маса часточки, кг,  $\rho_1$  – густина часточки, кг/м<sup>3</sup>.

$$\text{Критерій Фруда (фактор розділення): } Fr = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}.$$

Процес осідання відбувається під дією відцентрової сили:

$$G_B = m \cdot a = m \cdot \frac{\omega^2 \cdot r^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r, \text{ н},$$

де  $m$  – маса часточки, кг,

$a$  – відцентрове прискорення, м/с<sup>2</sup>,

$r$  – радіус обертання часточки, м,

$\omega$  – кутова швидкість обертання часточки, рад/с.

$$G_B = G_T \cdot \frac{\omega^2 \cdot r}{g} = G_T \cdot Fr,$$

Тобто, відцентрова сила більша від сили тяжіння  $G_B$  в  $Fr$  раз.

Виходячи із наявних отриманих експериментальних даних, в промислових умовах, при дослідженні роботи сепаратора в діапазоні від 5000 до 9000 обертів за хвилину, наданих фахівцями пивзаводу «Бердичівпиво» побудуємо графіки залежності швидкості руху рідини від кількості обертів /рис.13/, тиску /рис.14/ та фактору розділення /рис.15/ за допомоги опції «Лінія Тренда». В її основу покладений метод найменших квадратів. В цьому випадку «Лінія Тренда» дозволяє математично описати залежність у поліноміальному вигляді та отримати коефіцієнт кореляції.

Таблиця 2.1

п, об/хв	Швидкість, 1 точка	Швидкість, 2 точки	Тиск в 1 точці	Тиск в 2 точці
5000	380	731	$9,91 \cdot 10^6$	$9,5 \cdot 10^7$
6000	284	565	$5,75 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^7$
7000	214	543	$9,3 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^7$
8000	241	536	$7,8 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^7$
9000	258	564	$7,9 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^7$

Таблиця 2.2

п, об/хв	Fr
5000	2653
6000	3825
7000	5210
8000	6790
9000	8610

Таблиця 2.3

п, об/хв	Радіальна швидкість в 1 точці	Радіальна швидкість в 2 точці
5000	127	642
6000	69	551
7000	60	532
8000	87	529
9000	80	504

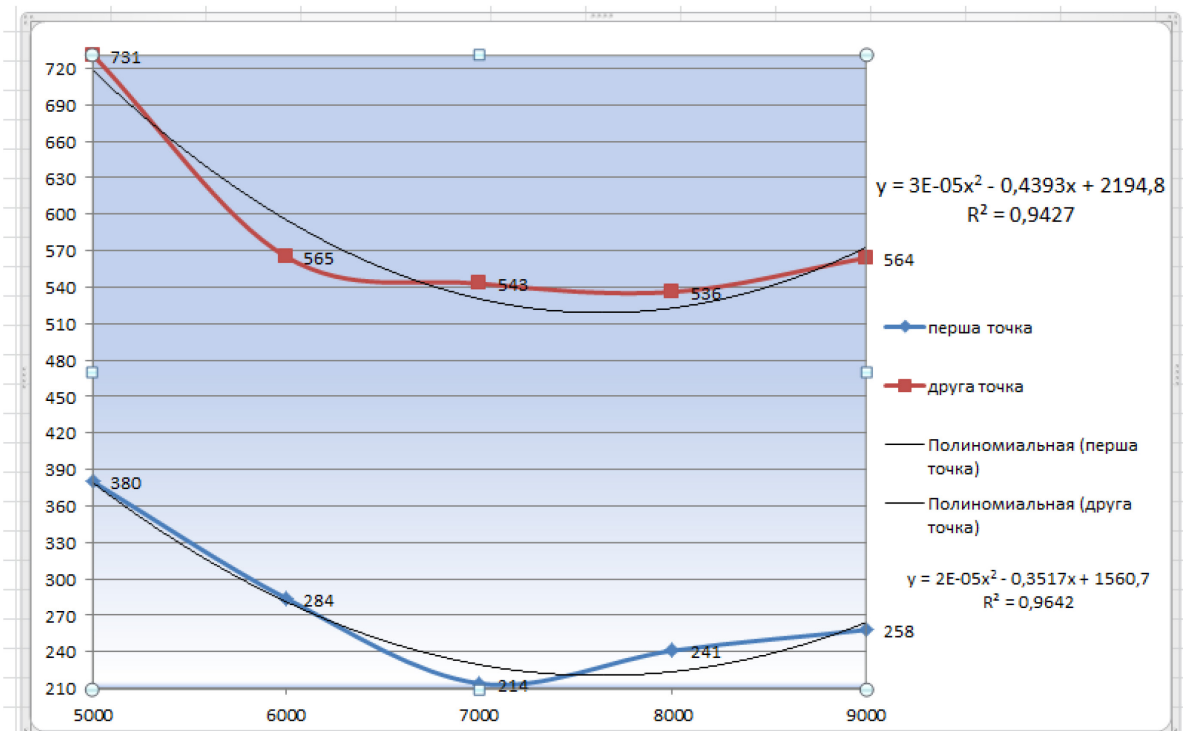


Рис. 13. Залежність швидкості пивного суєла від кількості обертів барабана сепаратора

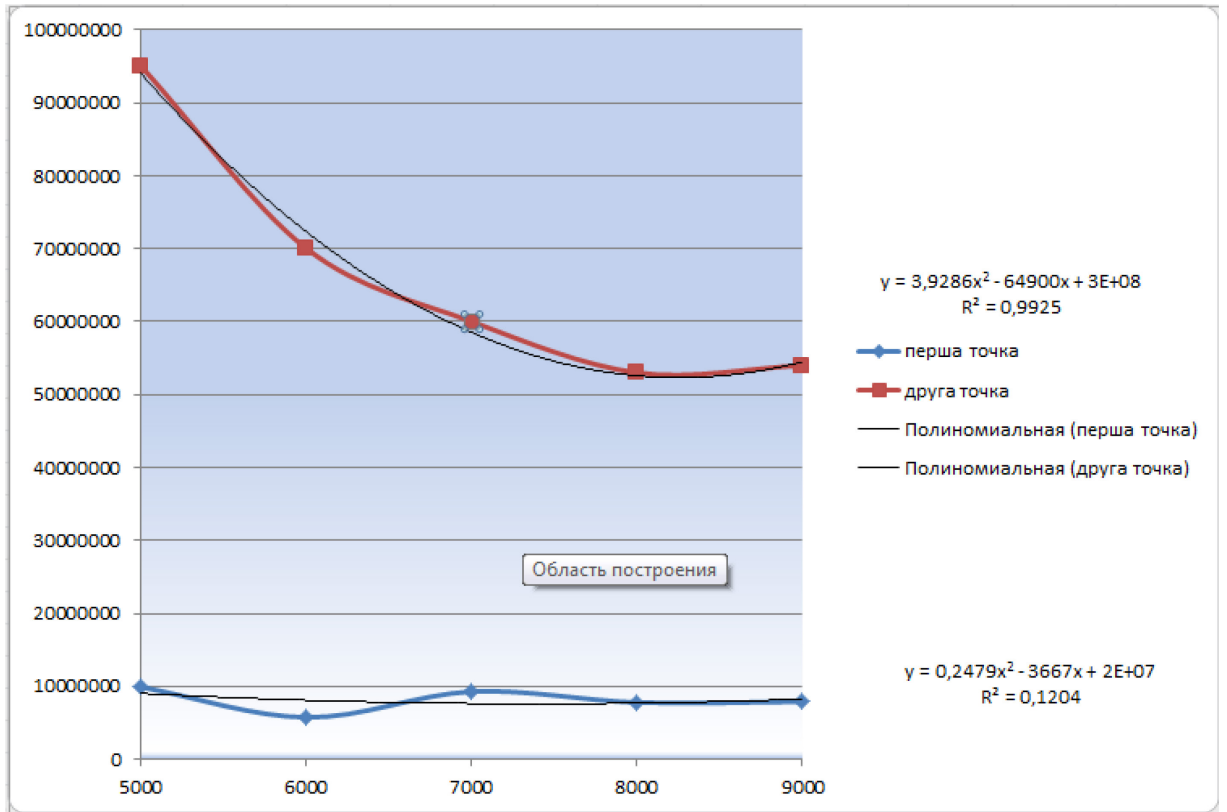


Рис. 14. Залежність тиску від кількості обертів барабана

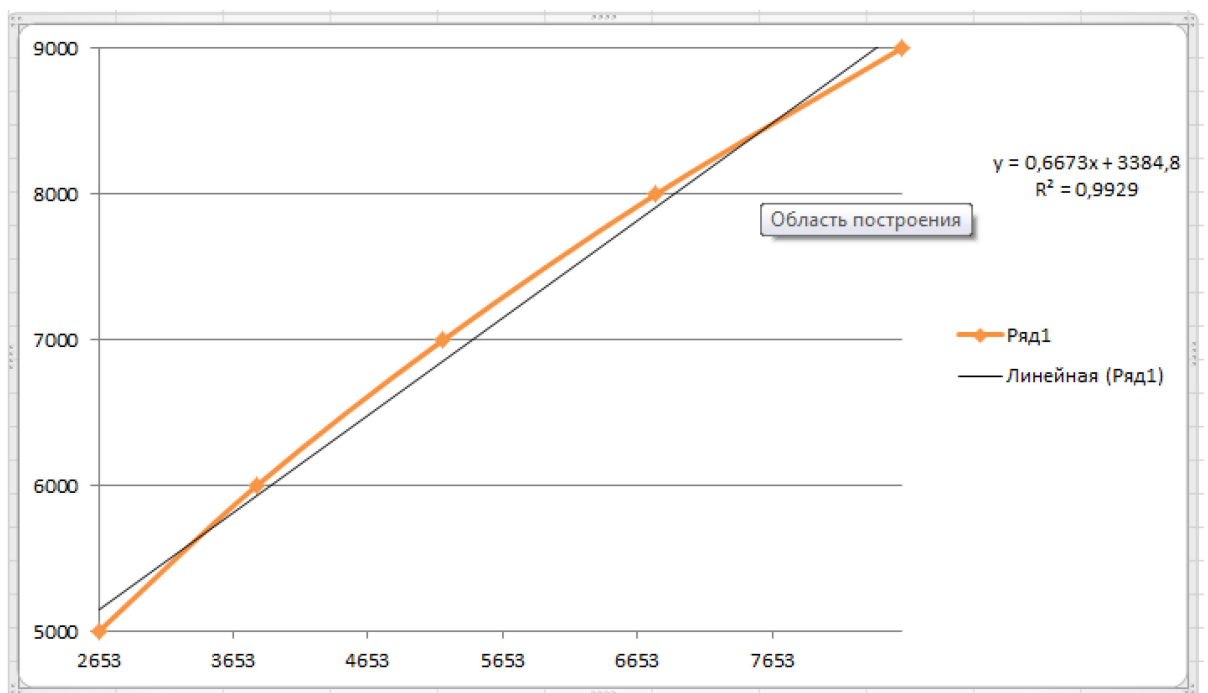


Рис. 15. Залежність фактора розділення від кількості обертів

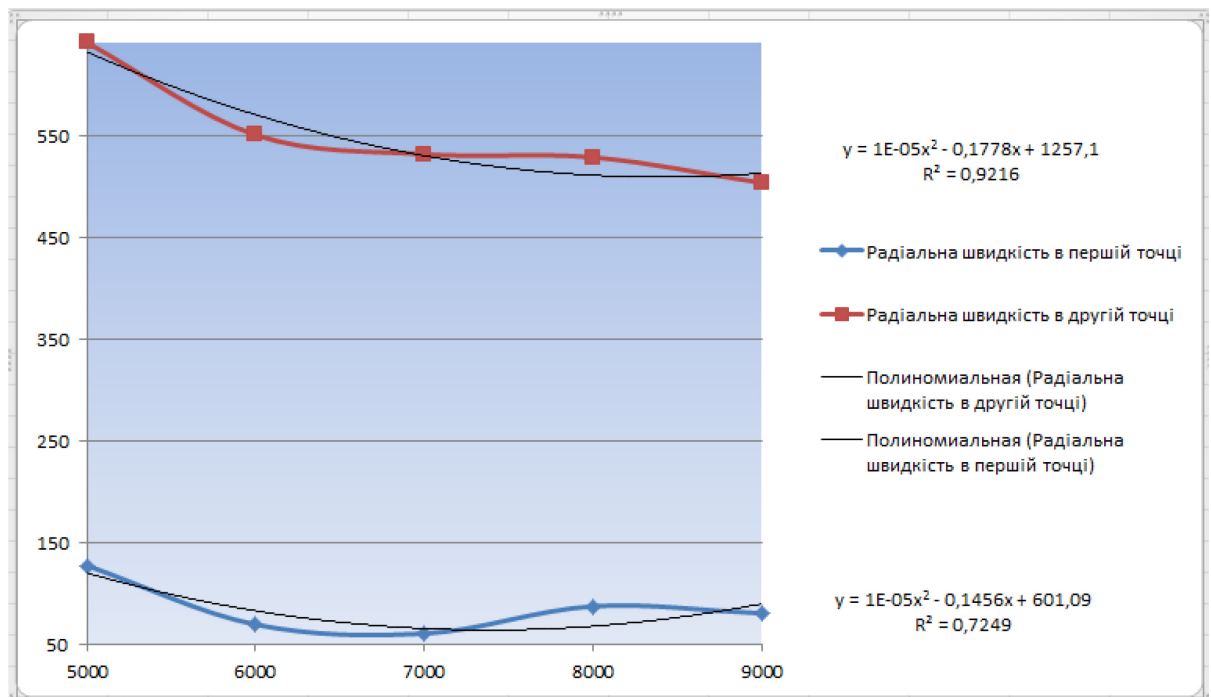


Рис. 16. Залежність радіальної швидкості від кількості обертів барабана сепаратора

### Висновки.

1. Зміна частоти обертів барабану сепаратора суттєво впливає на процес освітлення пивного сусла, а саме - осадження зважених часточок із пивного сусла.
2. Аналіз отриманих експериментальних даних, а також побудови графічних залежностей основних параметрів роботи сепаратора в досліджуємому діапазоні можна визначити, що найбільш економічно доцільні та раціональні параметри роботи сепаратора знаходяться в діапазоні 7000-8000 об/хв.
3. Отримані результати експериментальних досліджень - числові дані, рівняння регресії можуть бути рекомендовані до використання в практиці проектування та конструювання аналогічного обладнання.

### 3. Будова та принцип роботи відцентрового сепаратора

При сепаруванні гарячого охмеленого пивного сусла видаляються зважені тверді часточки. Останні складаються з крупних часточок розміром 30-80 мкм. Вони є важче, ніж пивне сусло. Останні зазвичай, добре та щільно осідають. Але для цього їм потрібно надати певного терміну часу.

Часточки із гарячого охмеленого пивного сусла слід видаляти, оскільки в подальшому вони шкодять якості готового продукту. Так, наприклад, неосвітлене гаряче охмелене пивне сусло в подальшому призводить до «склеювання» дріжджів. Це сприяє та ускладнює в подальшому процес фільтрування неосвітленого пивного сусла та погіршує його якість.

Після перекачування гарячого охмеленого пивного сусла кількість зважених часточок складає у пивному суслі 6000-8000 мг/л і воно бажано повинно бути зменшене до 100 мг/л після їх видалення.

Багато пивоварних підприємств не досягають даного рівня. Як наслідок цього, погіршення якості готового пива.

На багатьох існуючих пивоварних підприємствах використовують сепаратори типу АСЕ-Б (рис. 17). Останній складається зі станини 2 із приводним механізмом, оснащений заглушками 6, а також показчиком рівня мастила 3, барабана із клапаном для зливу між тарілкової рідини, приймально-вивідного пристрою 18, гідровузла 7 та гальма. В середині корпусу сепаратора розташовані приводний механізм, тахометр 5, гальмо й гідровузол. У верхній частині корпусу розташована чаша 8, усередині якої встановлений приймач 9 для між тарілкової рідини. Чаша оснащена двома штуцерами для подачі та відведення охолодженої рідини в процесі сепарування.

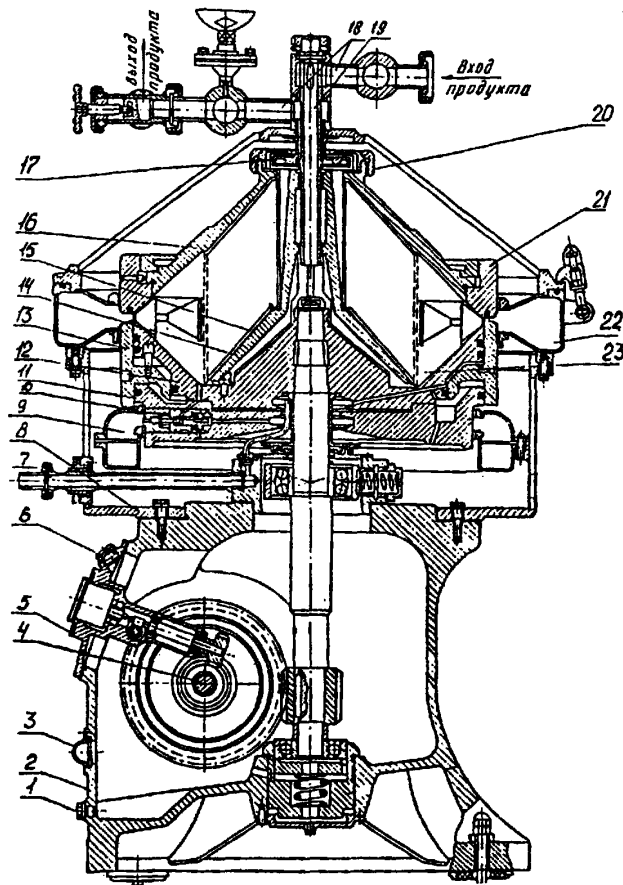


Рис.17 - Сепаратор типу АСЕ-Б

Барабан сепаратору є його основним робочим органом. Він складається з основи 12, корпусу 11, кришки 16 та затяжних кілець 20, 21. В останньому під дією відцентрової сили у між тарілковому просторі відбувається видалення зважених часточок із живильного середовища. У корпусі 11 барабана розташований тарілотримач 14, комплект тарілок 15, поршень 13 і клапани 10. Гідровузол 7 для керування закриттям, розвантаженням барабана й відкриттям клапанів розташований на чаші 8.

Обертання барабану здійснюється від індивідуального приводу.

Вихідна рідина – гаряче охмелене пивне сушло надходить по центральній трубі 19 у внутрішню порожнину тарілотримача 14, а потім спрямовується до шламового простір 23 барабана. Під дією відцентрової сили найбільш великі та важкі часточки суспензії відкидаються до периферії барабана. В той же час рідина з більш дрібними часточками направляється в пакет

конічних тарілок. Тонко плівчастість та ламінарність потоку рідини забезпечує виділення дрібних часточок в міжтарілковому просторі на внутрішніх поверхнях тарілок барабану.

Освітлена рідина /фугат/ піднімається по зовнішніх каналах тарілотримача 14 в камеру напірного диску 17 та виводиться з барабану, а виділені тверді часточки з пивного сусла сповзають (стікають) по поверхні тарілок у шламовий простір 23 барабана сепаратора. При повному заповненні шламового простору подачу вихідної рідини припиняють і за допомоги двох клапанних механізмів зливають фугат з між тарілкового простору в приймач. Виділену тверду фазу за допомоги механізму розвантаження викидають у приймач шламу 22. Після припинення подачі буферної води в порожнину над поршнем 13 барабан закривають та технологічний цикл освітлення пивного сусла повторюється.

## 4. Розрахункова частина

### 4.1 Вихідні дані:

Продуктивність сепаратора – 35 м<sup>3</sup>/год ;

Частота обертання барабану сепаратора – 6045 об./хв.;

Діаметр барабана сепаратора – 516 мм.

Кількість тарілок в барабані сепаратора – 67шт;

Кут нахилу тарілки в барабані сепаратора барабану сепаратора – 55°;

Діаметр твірної тарілки барабану сепаратора:

найбільший діаметр тарілки – 480 мм;

найменший діаметр тарілки – 120 мм;

Відстань між тарілками барабану сепаратора – 0,5 мм;

потужність електродвигуна сепаратора – 22 кВт

Габарити сепаратора:

Довжина – 1350 мм;

Ширина – 985 мм;

Висота – 1550 мм;

Маса сепаратора у зібраному вигляді – 1060 кг;

### 4.2. Розрахунок технологічної продуктивності сепаратора

Мета розрахунку - визначення основних вихідних параметрів, необхідних для визначення параметрів та геометрії об'єкта проектування, а також - здійснення наступних спеціальних розрахунків щодо його основних конструктивних параметрів.

Число отворів в тарілках барабану повинно бути мінімальною - 3..4.

Радіус  $R_0$  розташування отворів визначається, як:

$$R_0 = \sqrt{\frac{\varphi R_{\max}^2 + R_{\min}^2}{1 + \varphi}} = \sqrt{\frac{0.03 \cdot 0.48^2 + 0.12^2}{1 + 0.03}} = 0.072$$

При роботі барабану дріжджового сепаратора виникають значні відцентрові сили. Останні необхідно враховувати - при конструюванні та

експлуатації сепаратора. В ідеалі центр тяжіння у сепаратора знаходиться на осі його обертання. Отже, відповідно і всі рухомі його елементи повинні бути виготовлені з високою точністю. На жаль, центр тяжіння барабану сепаратора із-за його неточностей при виготовленні знаходиться на деякій відстані від осі обертання. Отже, тому при високих частотах обертання виникає відцентрова сила:

$$F_{ц} = 4\pi^2 n_{бар}^2 e m_{бар}$$

Де  $e$ - ексцентриситет, м;

$m_{бар}$  – маса барабану, кг;

$$F_{ц} = 4\pi^2 \cdot 100,75^2 \cdot 0,0001 \cdot 170 = 6812,378 \text{ Н}$$

Швидкість відцентрового розділення в дріжджовому сепараторі обчислюється рівнянням Стокса:

$$V_{др} = d_{ч}^2 \cdot 4\pi^2 n_{бар}^2 R_{ср} (\rho_{ч} - \rho_{бр}) / (18\mu)$$

Де  $d_{ч}$  – діаметр зважених часточок в суспензії м;  $d_{ч}=(3...9)10^{-9}$ м;

$n_{бар}$ -частота обертання барабану,  $s^{-1}$ ;

$R_{ср}$  – середній радіус пакету тарілок барабану, м;

$\rho_{ч}$  та  $\rho_{бр}$  – густина дріжджових часточок та суспензії відповідно;

$\rho_{ч}=1100 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{бр}=1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості суспензії:  $\mu=0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

$$V_{др} = (5 \cdot 10^{-6})^2 4\pi^2 \cdot 100,75^2 \cdot 0,258^2 \cdot \frac{(1100-1000)}{18 \cdot 0,001} = 0,0037 \text{ м/с}$$

Дріжджовий сепаратор має верхній підшипник як пружинний амортизатор. Кутова критична швидкість барабану сепаратора становить:

$$\omega_{кр} = [l_2 / (l_1 + l_2)] \sqrt{k / m_{бар}}$$

Де  $l_1$  – відстань від встановленого верхнього підшипника до центра тяжіння, м

$l_2$  – відстань між верхнім та нижнім встановленими підшипниками, м;

$k$  – коефіцієнт деформації, Н/м;

$$k = 3EI / l_1^2 (l_1 + l_2)$$

В цій формулі  $E$  – модуль пружності металу вала барабану (для сталі  $E=19,62 \cdot 10^{10}$  Па)

$I$  – осьовий момент інерції перетину вертикального вала барабану,  $m^4$

$$I = \frac{\pi d_{\text{вал}}^4}{64} = \pi \cdot \frac{0,06^4}{64} = 6,36 \cdot 10^{-7} m^4$$

Де  $d_{\text{вал}}$  – діаметр вала барабану, м.

$$k = 3 \cdot 19,62 \cdot 10^{10} \cdot 6,36 \cdot \frac{10^{-7}}{0,2^2(0,2 + 0,46)} = 141,8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$$

$$\omega_{\text{кр}} = [0,46/(0,2 + 0,46)] \sqrt{141,8 \cdot 10^5 / 170} = 210 \text{ с}^{-1}$$

Основним показником, що визначає ефективність роботи сепаратора є Фактор розділення :

$$F = \omega^2 \cdot z \cdot (R_2^3 - R_1^3) \text{tg} \alpha$$

$\omega$ -кутова швидкість барабану;

$z$ -число тарілок в пакеті тарілок барабану сепаратора;

$R_2$  та  $R_1$ - максимальний та мінімальний радіуси тарілок барабану сепаратора відповідно, м;  $\alpha$ -кут нахилу твірної тарілки барабану,  $\alpha=55^\circ$ .

$$F = 100,75^2 \cdot 67 \cdot (0,48^3 - 0,12^3) \text{tg} 55 = 105735,8882$$

#### 4.3. Привід сепаратора та обчислення основних його кінематичних характеристик

Визначення кінематики приводу сепаратора - є визначення загального передаточного відношення, розподілення загального передаточного відношення всього кінематичного ланцюга приводу між його окремими передаточними механізмами; визначення конструктивних параметрів передаточних механізмів.

Основною головною характеристикою , яка визначає структуру кінематичної схеми є характер руху робочого органу. Тобто, його траєкторія та швидкість.

Потужність, що використовується приводом в період розгону, на надання йому кінетичної енергії становить, кВт:

$$N_1 = \frac{mR_u^2 \omega^2}{2 \cdot 1000 \tau}$$

$R_u$  – радіус інерції ротора, м;  $\tau$  – час розгонки ротора, с;  $m$  – маса елементів, що обертаються, кг;  $\omega$  – кутова швидкість ротора,  $\text{с}^{-1}$

$$N_1 = \frac{15 \cdot 0.15^2 \cdot 100^2}{2000 \cdot 48} = 17$$

Потужність, яка необхідна для передачі кінетичної енергії рідині, що видаляється, становить, кВт:

$$N_2 = \frac{\varphi \pi^2 n^2 R^2 M \gamma_p}{1800 \cdot 1000}$$

$R$  – відстань від вісі обертання ротора до вихідних отворів, м;  $n$  – частота обертання ротора,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $\gamma_p$  – питома вага рідини,  $\text{Н/м}^3$ ;  $\varphi$  – коефіцієнт, що вра-

ховує радіальну швидкість рідини ( $\varphi=1,0\dots1,2$ );  $M$  – продуктивність відцентрового сепаратора,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

$$N_2 = \frac{1.5 \cdot 3.14^2 \cdot 100^2 \cdot 0.32^2 \cdot 35 \cdot 98}{1800 \cdot 1000} = 18.6$$

У випадку, коли при виході рідкої фракції з'являється протидія, то потужність витрачається при цьому на викид рідини, кВт:

$$N_2 = \frac{M \zeta}{1000 \eta}$$

$\zeta$  – тиск, що створюється на виході рідини напірним диском,  $\text{Н/м}^2$ ;  
 $\eta$  – ККД напірного диска ( $\eta=0,3$ ).

Потужність, яка необхідна при подоланні тертя в опорах, кВт:

$$N_3 = \frac{\mu \pi d_s n g}{60 \cdot 1000}$$

$\mu$  – коефіцієнт тертя ( $\mu=0,3$ );  $m$  – маса елементів що обертаються, кг;  $d_s$  – діаметр шейки веретена, м;  $n$  – частота обертання валу ротора,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{м/с}^2$ .

$$N_3 = \frac{0.3 \cdot 15 \cdot 3.14 \cdot 0.08 \cdot 100 \cdot 9.81}{60000} = 1.21$$

Потужність, яка необхідна при подоланні тертя барабана з повітрям, кВт:

$$N_4 = kHn^3 R^4$$

$k$  – приведений коефіцієнт, який дорівнює 0,016...0,02;  $H, R$  – висота і радіус ротора, м;  $n$  – частота обертання ротора,  $c^{-1}$ .

$$N_4 = 0.018 \cdot 0.48 \cdot 100^3 \cdot 0.12^4 = 9,2$$

#### 4.4 Надійність сепаратора

Важливою характеристикою надійності та досконалості конструкції сепаратора є умова рівної міцності та ресурсу роботи його основних елементів. Наявність хоча б одного із елементів, які не відповідають цим вимогам, зменшує загальну міцність та ресурс конструкції в цілому.

##### Міцність швидкообертової обечайки барабана сепаратора.

Обечайка сепаратора є одним із найважливіших елементів конструкції сепаратора. Остання перебуває під спільною дією розподілених по її поверхні інерційних навантажень саме від власної маси обечайки  $q_c$  та маси оброблюваного середовища  $P_c$ , крайових сил  $Q_c$  та моменту  $M_0$ .

Напруження, що виникають у швидко обертаючих обечайках від дії навантажень з іншими у вузлах їх сполучення деталями ротора визначаються, як;

$$\sigma_{m0} = \sigma_{m0}^P + \sigma_{m0}^{(Q_0-Q)} + \sigma_{m0}^{M_0}$$

$$\sigma_{t0} = \sigma_{t0}^P + \sigma_{t0}^{(Q_0-Q)} + \sigma_{t0}^{M_0}$$

а напруження на ділянках обечайки, віддалених від її краю, як

$$\frac{\sigma_m}{R_1} + \frac{\sigma_t}{R_2} = \frac{Pn}{S}$$

$$\sigma_m = \frac{Pn \cdot R_2}{2S} \text{ і т.д.}$$

Вібростійкість ротора сепаратора можливо обчислити, як  $\omega_{кр}$ .

Вихідні дані:

Вал, який закріплен на одній шарнірній та другій податливій опорах з коефіцієнтом жорсткості  $C_2 = 2,6 \cdot 10^5$  н/м.

Моменти інерції барабана сепаратора відносно осей Z і X складають відповідно:

$$Y_z = 40,1 \text{ кг/м}^2; \quad Y_x = 22 \text{ кг/м}^2; \quad m = 170 \text{ кг}; \quad \omega = 100,75 \text{ с}^{-1}$$

Із значною піддатливістю опори можливо знехтувати піддатливістю валу та вважати його абсолютно жорстким. У цьому випадку критична швидкість ротора буде становитиме;

$$\omega_{kp}^n = \sqrt{\frac{C_2 L^2}{Y_x + m(L_2^1)^2 - Y_z}} = \sqrt{\frac{2,6 \cdot 10^5 \cdot 0,2^2}{22 + 170(0,46)^2 - 40,1}} = 210 \text{ с}^{-1};$$

Отже, таким чином  $\frac{\omega}{\omega_{kp}^n} = \frac{100}{210} \approx 0,48$ , що гарантує гарне самоцентрування

ротора у після резонансній області.

Напруження (допустиме) матеріалу ротора при робочій температурі

$$[\sigma]_{p.kp} = \eta \sigma_p^* = 152 \cdot 1 = 152 \text{ МПа.}$$

Напруження допустиме в зоні крайового ефекту становитиме

$$[\sigma]_{p.kp} = 1,3[\sigma]_p = 1,3 \cdot 152 = 197,6 \text{ МПа.}$$

**Визначення товщини стінки циліндричної обечайки сепаратора.**

Товщина стінки циліндричної обечайки сепаратора становитиме:

$$S = \rho_c \omega^2 R^3 \psi / [2(\varphi_0 [\sigma]_p - \rho_m \cdot \omega^2 R^2)] + C + C_0 = 1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3 \cdot 1 / [2(1 \cdot 152 - 1100 \cdot 100^2 \cdot 0,32^2)] + 0,001 + C_0 = 0,0013 + 0,001 = 0,0024 \text{ м}$$

Приймаємо  $S_c = 12 \text{ мм.}$

Товщина стінки конічної обечайки сепаратора становитиме:

$$S_k = \rho_c \omega^2 R^3 \psi / [2(\varphi [\sigma]_p - \rho_m \cdot \omega^2 R^2) \cos \alpha] + C + C_0 = 1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3 \cdot 1 / [2(0,9 \cdot 152 - 1100 \cdot 100^2 \cdot 0,28^2) \cdot 0,57] + 0,001 + C_0 = 0,002 + 0,001 = 0,003 \text{ м}$$

Приймаємо  $S_k = 12 \text{ мм.}$

Кутова допустима швидкість циліндричної обечайки сепаратора обчислюється, як:

$$[\omega]_{ц} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{\varphi[\sigma]_p}{\rho_c R \psi / [2(S-C)] - \rho}} = \frac{1}{0,320} \cdot \sqrt{\frac{0,9 \cdot 152 \cdot 10^6}{1000 \cdot 0,28 \cdot 1 / [2(12-1) \cdot 10^{-3}] - 1100}} =$$

$$= 138,6 \text{ с}^{-1},$$

Кутова допустима швидкість конічної обечайки сепаратора обчислюється, як:

$$[\omega]_{к} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{\varphi[\sigma]_p}{\rho_c R \psi / [2(S_k-C) \cos \alpha] - \rho}} = \frac{1}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{0,9 \cdot 152 \cdot 10^6}{1000 \cdot 0,28 \cdot 1 / [2(12-1) \cdot \cos 55^\circ] - 1100}} =$$

$$= 101,34 \text{ с}^{-1},$$

Швидкість кутова циліндро-конічного ротора сепаратора :

$$[\omega]_k = \min \{ [\omega]_{ц} ; [\omega]_к \} = \min \{ 138,6 ; 101,34 \} = 101,34 \text{ с}^{-1};$$

Сумісність деформацій для вузла з'єднання циліндричної та конічної обечайок барабана з урахуванням напрямку барабану обчислюється, як:

$$\Delta_{pm}^u + \Delta_{pc}^u + \Delta_{m0}^u + \Delta_{Q0}^u = \Delta_{pm}^k + \Delta_{pc}^k + \Delta_{m0}^k + \Delta_{(Q0-Q)}^k - \Theta_{pm}^u - \Theta_{pc}^u - \Theta_{m0}^u + \Theta_{Q0}^u =$$

$$= \Theta_{pm}^k + \Theta_{pc}^k + \Theta_{m0}^k + \Theta_{(Q0-Q)}^k$$

$$\Delta_{pc}^u = \frac{\rho_c \omega^2 R^4}{2E(S-C)} \psi \left(1 - \mu \frac{\psi}{4}\right) = \frac{1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^4}{2E(0,012 - 0,001)} \cdot 1 \cdot \left(1 - 0,3 \frac{1}{4}\right) = \frac{52915 \cdot 10^6}{E} \text{ м};$$

$$\Delta_{pm}^u = \frac{\rho_m \omega^2 R^3}{E} = \frac{1100 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3}{E} = \frac{3 \cdot 10^6}{E};$$

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R(S-C)}} = \frac{\sqrt[4]{3(1-0,3^2)}}{\sqrt{0,28(0,012-0,001)}} = 21,66 \text{ м}^{-1};$$

$$\Delta_{Q0}^u = \frac{2\beta R^2}{E(S-C)} Q_0 = \frac{2 \cdot 21,66 \cdot 0,28^2}{E(0,012 - 0,001)} \cdot Q_0 = 403,27 \frac{Q_0}{E} \text{ м};$$

$$\Delta_{M0}^y = \frac{2\beta R^2}{E(S-C)} M_0 = \frac{2 \cdot 21,66 \cdot 0,28^2}{E(0,012 - 0,001)} \cdot Q_0 = 8734,8 \frac{M_0}{E};$$

$$\Theta_{pm}^y = \Theta_{pc}^y = 0;$$

$$\Theta_{Q0}^y = \frac{2\beta^2 R^2}{E(S-C)} Q_0 = \frac{2 \cdot 21,66^2 \cdot 0,28^2}{E(0,012 - 0,001)} \cdot Q_0 = 8734,8 \frac{Q_0}{E} \text{ раз};$$

$$\Theta_{M0}^y = \frac{4\beta^3 R^2}{E(S-C)} M_0 = \frac{4 \cdot 21,66^3 \cdot 0,28^2}{E(0,012 - 0,001)} \cdot M_0 = 378392,6 \frac{M_0}{E} \text{ раз},$$

$$\Delta_{pc}^k = \frac{\rho_c \omega^2 R^4}{2E(S-C) \cos \alpha} \psi = \frac{1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^4}{2E(0,018 - 0,001)} \cdot 1 = \frac{8,09 \cdot 10^6}{E};$$

$$\Delta_{pm}^k = \frac{\rho_m \omega^2 R^3}{E} = \frac{1100 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3}{E} = \frac{3 \cdot 10^6}{E};$$

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R(S_k - C) / \cos \alpha}} = \frac{\sqrt[4]{3(1-0,3^2)}}{\sqrt{0,28(0,012 - 0,001) / 0,5707}} = 18,2 \text{ м}^{-1};$$

$$Q = \frac{\rho_c \omega^2 R^3}{8} \psi^2 \text{tg} \alpha = \frac{1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3}{8} \cdot 1 \cdot 1,4 = 49161,2 \text{ Н/м};$$

$$\Delta_{(Q_0 - Q)}^k = \frac{2\beta_k R^2 (Q_0 - Q)}{E(S_k - C)} = \frac{2 \cdot 18,2 \cdot 0,28^2 (Q_0 - Q)}{E(0,012 - 0,001)} = 338,85 \frac{Q_0 - Q}{E};$$

$$\Delta_{M0}^k = \frac{2\beta_k^2 R^2}{E(S_k - C) \cos \alpha} M_0 = \frac{2 \cdot 18,2^2 \cdot 0,28^2}{E(0,012 - 0,001) \cdot 0,5707} \cdot M_0 = 8722,89 \frac{M_0}{E};$$

$$\Theta_{pc}^k = \frac{\rho_c \omega^2 R^2 \cdot M_0}{2E(S_k - C) \cos^2 \alpha} (1 + \psi) = \frac{1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3 \cdot 0,5707}{2E(0,012 - 0,001) \cdot 0,5707^2} = \frac{50,5 \cdot 10^6}{E};$$

$$\Theta_{pm}^k = \frac{(3 + \mu) \rho_m \omega^2 R^2}{E} = \frac{(3 + 0,3) \cdot 1100 \cdot 100^2 \cdot 0,28^2}{E} = \frac{30,94 \cdot 10^6}{E};$$

$$\Theta_{(Q_0 - Q)}^k = \frac{2\beta_k^2 R^2 (Q_0 - Q)}{E(S_k - C) \cos \alpha} = \frac{2 \cdot 18,2^2 \cdot 0,28^2 (Q_0 - Q)}{E(0,012 - 0,001) \cdot 0,5707} = 8722,9 \frac{Q_0 - Q}{E};$$

$$\Theta_{M0}^k = \frac{4\beta^3 R^2}{E(S_k - C) \cos^2 \alpha} M_0 = \frac{4 \cdot 18,2^3 \cdot 0,28^2}{E(0,012 - 0,001) \cdot 0,5707^2} \cdot M_0 = 448963,9 \frac{M_0}{E}$$

Отже, знайдені значення роздільних та кутових деформацій підставимо в систему рівнянь та спростивши їх, отримаємо:

$$11,91M_0 + 1222,1Q_0 = 13,85 \cdot 10^6$$

$$827360,6M_0 + 11,91Q_0 = 347,36 \cdot 10^6$$

$$Q_0 = 11301 \text{ н/м}; M_0 = 518 \text{ Н.}$$

Таким чином, нормальні напруження на внутрішній поверхні краю циліндричної обечайки із врахуванням напрямків дії навантажень становитиме :

- Меридіальне напруження

$$\sigma_{m\zeta} = \sigma_{m\zeta}^{pm} + \sigma_{m\zeta}^{pc} + \sigma_{m\zeta}^{Q_0} + \sigma_{m\zeta}^{M_0} = 0 + 0 + \frac{\rho\omega^2 R^3}{8(S-C)}\psi^2 + \frac{6-M_0}{(S-C)^2} = \frac{1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3}{8(0,012-0,001)} \cdot 1^2 + \frac{6 \cdot 518}{(0,012-0,001)^2} = 4469203,7 + 25685950,4 = 30,155 \cdot 10^6 \text{ Па} = 30,155 \text{ МПа}$$

- Колове напруження

$$\sigma_{t\zeta} = \sigma_{t\zeta}^{pm} + \sigma_{t\zeta}^{pc} + \sigma_{t\zeta}^{Q_0} + \sigma_{t\zeta}^{M_0} = \rho_m \omega^2 R^2 + \frac{\rho_c \omega^2 R^3}{2(S-C)}\psi - \frac{2\beta R}{S-C}Q_0 + \frac{2\beta^2 R}{S-C}M_0 + \frac{6\mu M_0}{(S-C)^2} = 1100 \cdot 100^2 \cdot 0,28^2 + \frac{1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^2}{2(0,012-0,001)} \cdot 1 - \frac{2 \cdot 21,66 \cdot 0,32}{(0,012-0,001)} \cdot 11301 + \frac{2 \cdot 21,66^2 \cdot 0,28}{(0,012-0,001)^2} \cdot 518 + \frac{6 \cdot 0,3 \cdot 518}{(0,012-0,001)^2} = 1178518,86 + 17876814,76 - 14241725,67 + 14139496,77 + 7705785,12 = 26,66 \text{ МПа}$$

-Еквівалентне напруження

$$\sigma_{\text{екв.ц}} = \max \{ \sigma_{m\zeta}; \sigma_{t\zeta} \} = \max \{ 30,155; 26,66 \} = 30,155 \text{ МПа.}$$

Так як  $\sigma_{\text{екв.ц}} < [\sigma]_{\text{р.кр}} (30,155 < 0,9 \cdot 197,6) = 177,84 \text{ МПа}$ , то

Отже, умова міцності краю циліндричної обечайки сепаратора виконується.

Напруження нормальні на внутрішній поверхні краю конічної обечайки сепаратора із урахуванням напрямків дії сил від навантажень становитиме:

- Меридіальне напруження

$$\sigma_{mk} = \sigma_{mk}^{pm} + \sigma_{mk}^{pc} + \sigma_{mk}^{Q_0-Q} + \sigma_{mk}^{M_0} = 0 + \frac{\rho c \omega^2 R^3}{8(S_k - c) \cos \alpha} \psi^2 + \frac{(Q_0 - Q) \sin \alpha}{S_k - c} + \frac{6M_0 \mu}{(S_k - c)^2} =$$

$$\frac{1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3}{8(0,012 - 0,001) \cdot 0,5707} \cdot 1^2 + \frac{(11301 - 49161,2) \cdot 0,5707}{(0,012 - 0,001)} + \frac{6 \cdot 518 \cdot 0,3}{(0,012 - 0,001)^2} =$$

$$= 19754259,6 - 2433378,3 + 7705785 = 25,06 \text{ МПа}$$

- Колове напруження

$$\sigma_{tk} = \sigma_{tk}^{pm} + \sigma_{tk}^{pc} + \sigma_{tk}^{Q_0-Q} + \sigma_{tk}^{M_0} = \rho c \omega^2 R^2 + \frac{\rho c \omega^2 R^3}{2(S_k - c) \cos \alpha} \psi + \frac{2\beta R(Q_0 - Q)}{S_k - c} +$$

$$\frac{2\beta_k^2 R M_0}{(S_k - c) \cos \alpha} + \frac{6M_0 \mu}{(S_k - c)^2} = 1100 \cdot 100^2 \cdot 0,28^2 + \frac{1000 \cdot 100^2 \cdot 0,28^3}{2(0,012 - 0,001) \cdot 0,5707} \cdot 1 +$$

$$+ \frac{2 \cdot 18,2 \cdot 0,28(11301 - 49161,2)}{(0,012 - 0,001)} + \frac{2 \cdot 18,2^2 \cdot 0,28 \cdot 518}{(0,012 - 0,001) \cdot 0,5707} + \frac{6 \cdot 518 \cdot 0,3}{(0,012 - 0,001)^2} = 1229031 +$$

$$+ 79017038,34 - 40090298,2 + 14120185,78 + 7705785,124 = 61,98 \text{ МПа}$$

- Еквівалентне напруження

$$\sigma_{\text{ЭКВ.К}} = \max \{ \sigma_{mk}; \sigma_{tk} \} = \max \{ 25,06; 61,98 \} = 61,98 \text{ МПа.}$$

Так як  $\sigma_{\text{ЭКВ.К}} < [\sigma]_{\text{р.кр}} (30,155 < 0,9 \cdot 197,6 < 177,84)$

$$\sigma_{\text{ЭКВ.К}} < [\sigma]_{\text{р.кр}} (61,98 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 197,6 < 177,84),$$

Отже, умова міцності вузла з'єднання циліндричної та конічної обечайок ротора повністю виконується.

## 5. Вибір конструкційних матеріалів

Специфічні вимоги до отримання високоякісних продуктів харчування обумовлюють вимоги до конструкційних матеріалів із яких виготовляється технологічне обладнання та особливо його робочі органи. Однією із головних вимог виступає можливість контакту матеріалу обладнання та його взаємодія із продуктом, що оброблюється. Якщо не має безпосереднього контакту конструкційних елементів обладнання із продуктом, то користуються в цьому випадку загальними критеріями по підбору та вибору конструкційних матеріалів. Оптимально раціональною конструкцією обладнання є таке, де його фізичні властивості використані найбільш доцільно та сприятливо для отримання необхідної міцності, жорсткості, зносостійкості тощо при найменшій його вазі і вартості. Але, во главі усього – не впливало на якісні характеристики продукту.

Отже, таким чином особливості та властивості технологічних середовищ, їх фізико-хімічні властивості та їх взаємодія з поверхневими шарами робочих органів обладнання тощо, визначають характер і особливості зношування обладнання. Технологічні середовища, що відрізняються значною агресивною дією, особливо впливають на процес корозії металу, зношування елементів деталей обладнання та його інтенсивність.

Застосування високолегованої сталі у харчовій промисловості є запорукою уникнути шкідливої дії металу із агресивним середовищем, до яких відносять ферментовані напої.

Корозійно стійка нержавіюча сталь – це складнолегована сталь. Вона є достатньо стійка проти дії корозії, у тому числі в атмосферних умовах. Основним легуючим елементом є нікель та хром (Ni та Cr (12 – 20 %)).

Переваги застосування даної сталі, наступні:

1. Технологічність – останні мають високу пластичність. Застосовують для виготовлення деталей глибокою витяжкою.

Спротив корозії – сталі, що здатні чинити опір корозії в нормальних атмосферних та водних умовах, у кислотах, лугах та деяких хлористих розчинах.

2. Міцність – механічні властивості даних сталей забезпечують зменшення ваги виробів, їх товщину і без зниження міцнісних характеристик.
3. Гігієнічні вимоги – корозійно стійка нержавіюча сталь є гігієнічною поверхнею для контакту із харчовими пробуктами.
4. Естетичний вигляд – сталь, яка легко обслуговується, поверхня забезпечує сучасний зовнішній вигляд обладнання.

У пивоварній галузі найбільше застосовують аустенітні сталі. У їх склад окрім входить нікель, що збільшує опір корозії. До цієї групи сталей відносять корозійно стійкі сталі з підвищеним складом нікелю ( 10 – 20 %) і хрому ( 17 – 25 % ). Останні мають високий опір окисленню при високих температурах. Основною перевагою аустенітної структури даних сталей є високі механічні властивості.

Найбільш поширена корозійно стійка нержавіюча сталь, що використовується у харчовій галузі промисловості є 08X18H10. Її хімічний склад:

- кремній ( Si ) до – 0,8 %;
- мідь ( Cu ), до – 0,3 %;
- марганець ( Mn ), до– 0,2;
- нікель ( Ni ) – 9 – 11 %;
- титан ( Ti ), до– 0,5 %;
- фосфор ( P ), до – 0,035;
- хром ( Cr ) – 17 – 19 %;
- сера ( S ), до – 0,02 %.

Сталь марки 08X18H10 широко використовується для виготовлення обладнання у пивоварній галузі. Вона легко піддається зварюванню, стійка до міжкристалевої корозії.

Физические свойства материала 08X18H10 .

T	E 10 <sup>-5</sup>	a 10 <sup>6</sup>	l	r	C	R 10 <sup>9</sup>
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м <sup>3</sup>	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.96		17	7850		800
100		16			504	
200		17				
300		17				
400		18				
500		18				
T	E 10 <sup>-5</sup>	a 10 <sup>6</sup>	l	r	C	R 10 <sup>9</sup>

Охмелене пивне сушло, пивні дріжджі є сильними корозійно-активними середовищами (рН= 6,0...4,2). Вони виступають однією з головних вимог щодо матеріалу, який використовується до виготовлення технологічного обладнання .

Алюмінієвий сплав деформований Д16 (ГОСТ 4784-74) є матеріалом, що використовується для виготовлення тарілок сепаратора, як високонавантажених елементів конструкції обладнання.

Олов'яниста бронза лита БрО10Ф1 (ГОСТ 613-79) застосовується для виготовлення шестерен, втулок сепаратора, як деталей високонавантажених у вузлах пар тертя.

Вуглецева сталь конструктивна 40 (ГОСТ 1050-74) використовується для виготовлення таких елементів обладнання , як вал сепаратора тощо.

## 6. Монтаж та технічний сервіс обладнання

### 6.1. Монтаж сепаратора

Сепаратор є таким обладнанням, що характеризується швидко обертаючим робочим органом та небезпечними умовами його експлуатації. Отже тому вимоги до проведення монтажу висуваються високі. Обладнання поступає на монтаж у зібраному вигляді, іноді у вигляді окремо зібраних блоків.

Спочатку до проведення монтажу здійснюють розконсервацію обладнання. Вона передбачає зняття мастила, перевірку по технічній документації виконання заводом-виробником контрольної зборки тощо. Перевіряється сепаратор на відповідність та комплектність специфікаціям; відсутність поломок, пошкоджень, тріщин тощо.

Монтаж сепаратора виконують на завчасно підготовлений фундамент. Закріплюють його до фундаменту за допомоги анкерних болтів. Анкерні болти заливають бетоном та витримують не менше 3-х діб.

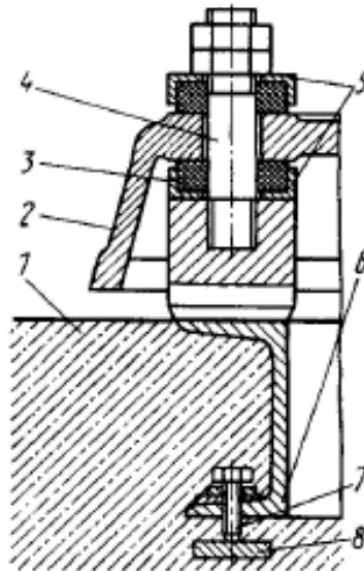


Рис. 6.1.– Схема монтажу сепаратора

1-основа фундамент; 2- плита фундаментна; 3-прокладка; 4-шпилька M20x100; 5-шайба; 6-рама; 7-анкерний болт M16x60; 8-пластина 45x45мм.

Після монтажу здійснюють вивірку обладнання у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Після під'єднання до електромережі перевіряють напрям обертів ротора електродвигуна. Останній повинен відповідати напрямку стрілки, вказаної на сепараторі. Встановлюють на вертикальний вал сепаратора барабан. Потім збирають збірники прийому та відводу дріжджового концентрату та фугату.

Протягом 1 години випробовують сепаратор холостою ходою.. На момент випробування (у період розгону) вібрація сепаратора та нагрівання фрікційних муфт є нормальним явищем. Потрібне число обертів сепаратор повинен набрати протягом 5-6 хвилин після запуску. Надалі вібрація повинна зникнути.

## **6.2. Технічний сервіс сепаратора.**

Характерні несправності сепаратора та методи їх усунення

<i>Несправності</i>	<i>Причина</i>	<i>Методи усунення</i>
<i>Посилена вібрація</i>	<i>1. барабан неправильно зібраний</i>	<i>1 правильно розібрати та зібрати</i>
	<i>2. пружини опор пошкоджені</i>	<i>2. комплект пружин повністю замінити</i>
	<i>3. підшипники пошкоджені</i>	<i>3. провести заміну підшипників</i>
	<i>4. посадочні конуси пошкоджені</i>	<i>4. биття веретена (не більше 0,04мм. )</i>
	<i>5. зубчата передача пошкоджена</i>	<i>5.провести заміну зубчатої передачі</i>
	<i>6. деталі відцентрової муфти пошкоджені</i>	<i>6. провести заміну на нові</i>

	<i>7. мундштуки нерівномірно забилися</i>	<i>7. прочистити мундштуки</i>
	<i>8 знаходження осаду перед пуском</i>	<i>8. почистити барабан</i>
<i>Хід сепаратора є важким</i>	<i>1. мастила у картері недостатньо</i>	<i>1. додати мастила</i>
	<i>2. підшипники приводу пошкоджені</i>	<i>2.провести заміну підшипників</i>
	<i>3. деталі фрикційної муфти пошкоджені</i>	<i>3. провести заміну на нові</i>
	<i>4. зазор в зчеплення недостатній</i>	<i>4 провести заміну зубчатої пари</i>
<i>Збільшений винос дріжджових клітин</i>	<i>1.продуктивність підвищена</i>	<i>1. подачу вихідного продукту зменшити</i>
	<i>2. забилися осадам мундштуки</i>	<i>2.здійснити чистку мундшуків</i>
	<i>3.оберти барабану менше розрахункової величини</i>	<i>3.провести заміну колодок муфти</i>
<i>Підшипники перегріваються</i>	<i>1. можливий знос підшипників</i>	<i>1.провести заміну підшипників</i>
	<i>2. рівень мастила в</i>	<i>2. рівень мастила в картері</i>

	<i>картері недостатній або є його надлишок</i>	<i>перевірити</i>
	<i>3. мастило брудне</i>	<i>3. мастило замінити</i>
	<i>4. посадка підшипників на вал або в корпус є недостатньою</i>	<i>4. провести заміну зношених деталей</i>
<i>Відчутний сторонній шум при пуску та зупинці</i>	<i>1. пружини опор пошкоджені</i>	<i>1. здійснити заміну комплекту пружин</i>
	<i>2. підшипники приводу пошкоджені</i>	<i>2. провести заміну підшипників</i>
<i>Підвищений ток при незмінних витратах</i>	<i>1. с отвори фільтр зношені</i>	<i>1. провести заміну фільтр на нові</i>

## 6.2 Сервіс сепаратора

Найменування обладнання	Марка або тип	Категорія складності ремонту	Ремонтний цикл розряд	Тривалість, діб		
				Ремонтного циклу	Міжремонтного циклу	Між оглядового циклу
сепаратор	ОСЯ	1,6	II	20	5	1

### Планово - попереджувальний ремонт сепаратора.

Види профілактичних та ремонтних робіт. Трудомісткість нормо- год по місяцям,	Загальна трудомісткість робіт, ,нормо-
--	---

24.1834.KP.01.000.ПЗ

Інд. змін.

Дата видання

Мова  
UA

Аркуш  
49

											год				
											Усього	у тому числі			
	I	II	V		I	II	III	X		II					
O/1,36	O/1,36	O/1,36	O/1,36		O/1,36	O/1,36	O/1,36	O/1,36		C/37,6	O/1,36	60,96	44	11,2	1,16

### Структура ремонтного циклу

К-О-О-О-О-П-О-О-О-О-О-С-О-О-О-О-П-О-О-О-О-О-К

Таблиця 6.2. Трудомісткість ремонтів та оглядів в люд.год із розрахунку на одну умовну ремонтну одиницю

Види робіт	Огляд	Вид ремонтів		
		П	С	К
Слюсарні	0,75	4	16	23
Станочні	0,1	2	7	10
Інші	-	0,1	0,5	2
Усього	0,85	6,1	23,5	35

1. Трудомісткість, ремонтний цикл

$$T_{p.c} = R (35 + 23,5 \sum C + 6,1 \sum П + 0,85 \sum O) \text{ люд.год}$$

R- категорія ремонтної складності

$$T_{p.c} = 1,6(35 + 23,5 \times 1 + 6,1 \times 2 + 0,85 \times 16) = 134,88 \text{ люд.год}$$

2. Тривалість у місяцях періодів міжремонтного циклу

$$П_{mr} = \frac{Pr_c}{\sum C + \sum П + 1}, \text{міс.}$$

$Pr_c$ - ремонтний цикл

$$П_{mr} = \frac{20}{1 + 2 + 1} = 5 \text{ міс.}$$

3. Тривалість циклів міжоглядового періоду

$$П_{mo} = \frac{Pr_c}{\sum C + \sum П + \sum O + 1}, \text{міс.}$$

$$П_{мо} = \frac{20}{1+2+16+1} = 1 \text{ міс.}$$

4. Потрібна чисельність робочої сили;

4.1. У міжремонтний період обслуговування

$$Ч_{м.о} = \frac{\sum R}{D}, \text{люди/зміну}$$

$Ч_{м.о}$ - необхідна кількість робітників для виконання міжремонтного циклу в зміну

$\sum R$ - сума ремонтних одиниць для сервісу обладнання .

Прийmemo за категорію ремонтної складності,  $R = 1,6$

$D$ - норма міжремонтного виду в умовних ремонтних одиницях із розрахунку на одного робітника в зміну.

Прийmemo, що  $D = 500$ .

$$\text{Тоді } Ч_{м.о} = \frac{1,6}{500} = 0,0032 \text{ люд./зміну}$$

4.2. На виконання планових видів ремонту

$$Ч_p = \frac{(T_{рк} \times \sum R_k + T_{рс} \times \sum R_c + T_{рп} \times \sum R_{п} + T_{ро} \times \sum R_o)}{\Phi} \times K_n$$

$Ч_p$ - необхідна середньорічна чисельність робітників

$T_{рк}$ ,  $T_{рс}$ ,  $T_{рп}$ ,  $T_{ро}$ - трудомісткість на одну ремонтну одиницю із розрахунку проведення капітального, середнього, поточного виду ремонтів та огляду в люд.год

$\sum R_k$ ,  $\sum R_c$ ,  $\sum R_{п}$ ,  $\sum R_o$ - річна загальна чисельність ремонтних одиниць із розрахунку при проведенні капітального, середнього, поточного виду ремонтів та огляду.

$K_n$ - коефіцієнт виконання норм годин.

Прийmemo  $K_n = 0,9$

$\Phi$ - річний фонд часу робітника в годину  $\Phi = 2000$

$$\sum R_c = R \times \sum C = 1,6 \times 1 = 1,6 \text{ год.}$$

$$\sum R_n = R \times \sum П = 1,6 \times 1 = 1,6 \text{ год.}$$

$$\sum R_o = R \times \sum O = 1,6 \times 10 = 16 \text{ год.}$$

$$C_p = \frac{(23,5 \times 1 + 6,1 \times 1 + 0,85 \times 10)}{2000} \times 0,9 = 0,017$$

## 5. Обладнання у період простою

5.1. Обчислюється з моменту зупинки до моменту приймання його з ремонту по Акту. Період ремонту обладнання у змінах обчислюється:

$$A = \frac{T_p \times R \times K_n}{B \times T_c \times C}$$

$T_p$ - трудомісткість нормативна при ремонті однієї умовної одиниці ремонтної складності в люд.год

$R$ - категорія ремонтної складності одиниці обладнання

$K_n$ - коефіцієнт виконання норми часу

$B$ - чисельність ремонтних робітників, в одну зміну

$T_c$ - час зміни у годинах

$C$ - змінність роботи при проведенні ремонту даного виду обладнання

При огляді

$$\frac{0,85 \times 1,6 \times 0,9}{2 \times 8 \times 1} = 0,0765 \text{ зміни}$$

При поточному виді ремонту

$$A = \frac{6,1 \times 1,6 \times 0,9}{2 \times 8 \times 1} = 0,549 \text{ зміни}$$

При середньому виді ремонту

$$A = \frac{23,5 \times 1,6 \times 0,9}{2 \times 8 \times 1} = 2,115 \text{ зміни}$$

При капітальному виді ремонту

$$A = \frac{35 \times 1,6 \times 0,9}{2 \times 8 \times 1} = 3,15 \text{ зміни}$$

## 5.2 Час простою в ремонті обладнання

$$A = \frac{24 \times R \times P_p}{T_c}$$

$P_p$ - величина норми простою обладнання у ремонті на одну ремонтну одиницю.

$P_p$  у одну зміну при проведенні огляду - 0,05 , при поточному виді ремонту – 0,015 , при середньому виді робіт – 0,42 , при капітальному виді робіт – 0,8.

При огляді

$$A = \frac{24 \times 0,05 \times 1,5}{8} = 0,24 \text{ зміни}$$

*При проведенні поточного виду робіт*

$$A = \frac{24 \times 0,015 \times 1,6}{8} = 0,072 \text{ зміни}$$

*При проведенні середнього виду робіт*

$$A = \frac{24 \times 0,42 \times 1,6}{8} = 2,016 \text{ зміни}$$

*При проведенні капітального виду ремонтних робіт*

$$A = \frac{24 \times 0,8 \times 1,6}{8} = 3,84 \text{ зміни}$$

6. Затрати праці на проведення ремонтних та профілактичних видів робіт:

$$P = a \times R$$

a- час однієї ремонтної одиниці

R- категорія ремонтної складності

6.1. При проведенні слюсарних видів робіт

*При огляді*

$$P = a \times R \times n$$

n- число одиничних видів робіт

$$P = 1,6 \times 0,75 \times 10 = 12 \text{ нормо-год}$$

*При поточному виду ремонтних робіт*

$$P = 1,6 \times 4 = 6,4 \text{ нормо- год}$$

*При середньому виду ремонтних робіт*

$$P = 1,6 \times 16 = 25,6 \text{ нормо-год}$$

6.2 При проведенні станочних видів робіт

*При огляді*

$$P = 1,6 \times 0,1 \times 10 = 1,6 \text{ нормо- год}$$

*При поточному виду ремонтних робіт*

$$P = 1,6 \times 2 \times 1 = 3,2 \text{ нормо- год}$$

*При середньому виду ремонтних робіт*

$$P = 1,6 \times 7 \times 1 = 11,2 \text{ нормо- год}$$

За нормативами категорії ремонтної складності R- 1,3. По табл.1 при огляду однієї ремонтної одиниці витрачається 0,85 год, на поточний вид ремонтних робіт- 6,1 год., на середній вид ремонту- 23,5 год., на капітальний вид ремонту- 35 год. Отже витрати праці складають:

*При огляді*

$$0,85 \times 1,6 = 1,36 \text{ год}$$

*При поточному виду ремонтних робіт*

$$6,1 \times 1,6 = 9,76 \text{ год}$$

*При середньому виду ремонтних робіт*

$$23,5 \times 1,6 = 37,6 \text{ год}$$

*При капітальному виду ремонтних видів робіт*

$$35 \times 1,6 = 48 \text{ год}$$

Згідно графіка планово-попереджувального ремонту на рік планується 10 видів огляду, один поточний та один середній вид ремонту. Затрати на календарний рік складатимуть:

При огляді – 13,6 год.

При поточному виду робіт - 9,76 год.

При середньому виду робіт – 37,6 год.

Усього – 60,96 год.

Трудомісткість усіх інших ремонтних видів робіт з наближеною точністю можливо складатиме:

$$P_{ін} = P_{заг} - (\sum P_{сл} + \sum P_{ст})$$

$$P_{ін} = 60,96 - ((12 + 6,4 + 25,6) + (1,6 + 3,2 + 11,2)) = 60,96 - 59,8 = 1,16 \text{ нормо- год.}$$

### **6.3. Обслуговування технологічного обладнання**

Перед пуском обладнання в роботу перевіряють наявність та кількість мастила, правильність з'єднання трубопроводів. Розгін сепаратора повинен відповідати його технічним умовам та складати до 7-8 хвилин. До початку сепарації продукту через барабан спочатку пропускають гарячу воду для

промивання, підігрівання та перевірки герметичності. Потім до робочої частини обертання барабану у гідровузол подається водопровідна вода .

Стадію мийки сепаратора здійснюють по закінченні процесу сепарування шляхом пропуску через барабан гарячої води протягом 15хвилин та розчину каустичної соди тривалістю 10...15хв. Барабан сепаратора остаточно промивають 10 хвилин водопровідною водою. При повній зупинці барабану розбирають приймально-відвідний пристрій та барабан. Усі частини обладнання, що контактують з продуктом, ретельно промивають та висушують. Усе обладнання ретельно протирають чистою вологою, а потім сухою ганчіркою. Потім змащують тонким шаром мастила нефарбовані, але оброблені деталі.

Пуск сепаратора забороняється проводити при відсутності мастила у масляній ванні.

До роботи обладнання допускаються особи, що ознайомлені із будовою та принципом роботи, пройшли відповідний інструктаж,. Ремонтні види робіт допускається здійснювати при вимкнених джерелах живлення. Мийку та чистку здійснюють тільки при вимкненому приводі. Збірку та розбірку барабану потрібно проводити тільки із використанням спецінструменту, який поставляється у комплекті з обладнанням.

Категорично забороняється відкривати сепаратор під час роботи, здійснювати пуск не повністю зібраного сепаратора а також при відсутності заземлення обладнання, деталі барабану піддавати ударам, зварюванню чи місцевому високотемпературному нагріву. Категорично заборонено працювати на сепараторі при сильній динамічній вібрації, а також зменшувати кількість тарілок барабану, розпочинати процес сепарування до набирання барабаном робочої частоти обертання. Поточний огляд обладнання здійснюють не рідше одного разу на 7-10 діб.

## 7. Техніка безпеки при експлуатації обладнання

### 7.1 Загальні вимоги.

Збірку та розбірку барабану сепаратора потрібно здійснювати лише із використанням інструменту, що поставляється комплектом із сепаратором. До обслуговування категорично не допускаються випадкові особи, що не знайомі з правилами обслуговування сепаратора. Категорично заборонено здійснювати пуск не повністю зібраного сепаратора, завдавати ударам деталей барабану, зварювання чи місцевому перегріву, замінювати деталі та вузли одного барабана на окремі вузли та деталі з аналогічних барабанів.

### 7.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів при експлуатації сепаратора

#### 7.2.1 Мікроклімат

У разі виконання легкого виду праці найбільш сприятливими умовами є: температура повітря порядку 16-20 °С, відносна вологість 40-60 % та швидкість повітря 0,1 - 0,7 м/с. У боротьбі із переохолодженням приміщення теплоізолюють, здійснюють опалення, облаштовують повітряні завіси біля дверей, а також забезпечують теплим одягом працівників.

Зимовий період року:

Літній період року:

температура повітря	17...19 °С	20...22°С
відносна вологість повітря	до 75 %	75 %
швидкість руху повітря	до 0,2 м/с	0,1 – 0,3

В приміщеннях де працює обладнання потрібно герметизувати загальні джерела виділення пари та вологи. Облаштовують загальну приточно-втяжну вентиляцію.

#### 7.2.2 Загазованість повітря

На підприємстві використовують процеси, що пов'язані із утворенням діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>). Газ утворюється внаслідок технологічного процесу бродіння пива. Він містить вуглеводи, деякі інші речовини, що розкладаються під дією дріжджів. При цьому, утворюється діоксид вуглецю та інші сполуки.. ПДК діоксиду вуглецю у повітрі складає порядку

0,5%, що відповідає нормі. Значну небезпеку становить для працівників оксид вуглецю CO . Відповідно із санітарними нормами, ПДК CO становить 20 мг/м<sup>3</sup>.

### 7.2.3 Вентиляція

Приміщення підприємства облаштовуються приточно-витяжною вентиляцією. Витяжна система, встановлюється у спеціальних приміщеннях. Обладнанням, що виділяє вологу та тепло встановлюється із захисним покриттям, облаштовуються притоківі камери.

Повітропроводи виконуються з тонколистової сталі, а витяжні - оцинкованої сталі. Допустима колова швидкість для вентиляторів: відцентрових - до 35 м/с; для осьових - 45 м/с.

### 7.2.4 Освітлення

Робота електричного обладнання на пивоварному підприємстві повинна відповідати «Правилам технічної експлуатації споживачів» і «Правилам техніки безпеки при експлуатації споживачів електроенергії». Освітлення приміщень повинно відповідати вимогам СНиП П-4-79 "Естественное и искусственное освещение". Приміщення виробничі облаштовуються загальним освітленням. На поточних лініях виробництва воно локалізоване. Окрім робочого освітлення технологічними нормами передбачено встановлення аварійного, евакуаційного та охоронного освітлення.

### 7.2.5 Шум

Рівень шуму на робочих місцях від роботи обладнання регламентується за ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности».

Професія	Рівень звукового тиску дБ, у активних смугах із середньо геометричною частотою, Гц									Рівень звуку та еквівалентні рівень звуку, дБА
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Оператор	103	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Найбільш доцільним методом боротьби із шумом є зменшення його у місцях джерела його виникнення.

### **7.2.6. Вібрація**

На підприємстві керуються ГОСТ 12.1012-78 ССБТ «Вибрація. Основные требования безопасности». Для захисту від вібрації застосовують засоби індивідуального захисту: антивібраційні рукавиці та взуття.

Допустимий рівень ультразвуку у зоні дії контакту рук та інших частин тіла оператора з працюючим сепаратором не повинен перевищувати 110 дБ (ГОСТ 12.1.001-83). Для захисту рук від дії ультразвуку потрібно використовувати спеціальні рукавиці або захоплювачі – маніпулятори. До захисту інших ділянок тіла відносять – спеціальний одяг із багатошарової тканини, яка поєднує хлопок та гуму. Основними заходами боротьби з інфразвуком є знешкодження низькочастотної вібрації шляхом підвищення жорсткості конструкції та збільшення частоти обертів машин та механізмів.

### **7.3 Електробезпека**

При виробництві керуються “Правилами улаштування електроустановок” (ПУЕ) та “Правилами техніки безпеки електроустановок споживачів” ГОСТ 12.1.030-81. При цьому передбачений захист працівників від дії електричного струму. Згідно з ПУЕ усі виробничі приміщення поділяються залежно від небезпеки ураження людини електричним струмом на 3 категорії.

Приміщення ділянки цеху виробництва де встановлено сепаратор належить до зони з підвищеною небезпекою.

### **7.4 Пожежна безпека**

Керуються у виробництві пожежо- та вибухонебезпекою згідно ГОСТ 12.1.004-85. ССБТ "Пожарная безопасность. Общие требования", ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. "Взрывобезопасность. Общие требования та ДНАОП 0.01-1.01-95. "Правила пожежної безпеки в Україні".

Небезпека у виробництві може бути при утворенні іскри механічного походження, розрядів статистичного та теплового проявлення електричного

струму. Для запобігання потрібно проводити інструктаж працівників, пожежний нагляд.

Виробничі приміщення підприємства повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння та пожежним інвентарем. Вони повинні бути завжди у належному та справному стані.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської роботи проведений ретельний огляд та аналіз сучасних технологічних та технічних рішень щодо процесу освітлення пивного сусла. Виявлено, що освітлення гарячого охмеленого пивного сусла найкраще відбувається в полі дії відцентрових сил за допомоги сепаратора. Останній визначений та обраний, як найбільш перспективний на сьогоднішній спосіб отримання освітленого пивного сусла.

Створена математична модель процесу гідродинаміки освітлення пивного сусла. Експериментально досліджено роботу відцентрового сепаратора при різних швидкостях обертання робочого органу. Виявлені вплив та залежність між собою основних факторів, що впливають на ефективність роботи обладнання.

За результатами проведених досліджень отримані числові значення та рівняння регресії, які можуть бути використані в практиці пивоваріння, а також у проектуванні та створенні нового та удосконаленні існуючого обладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інноваційні технології галузі [Текст] : методичні рекомендації до виконання курсового проекту для студентів спеціальності 7.05170106, 8.05170106 "Технології продуктів бродіння і виноробства" спеціалізації "Технології солоду, пива і безалкогольних напоїв" денної та заочної форм навчання / уклад. : А. М. Куц, В. М. Кошова, Б. І. Хіврич ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2016. — 94 с.
2. Інноваційні технології галузі [Електронний ресурс] [Текст] : лабораторний практик. для студ. спец. 8.05170106, 7.05170106 "Технології продуктів бродіння і виноробства" денної та заочної форми навч. / уклад. : М. В. Карпутіна, А. М. Куц, Ю. В. Булій ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2014. — 42 с.
3. Інноваційні технології галузі [Електронний ресурс] [Текст] : метод. рек. до вивч. дисципліни для студ. спец. 7.05170106, 8.05170106 «Технології продуктів бродіння і виноробства» спеціаліз. «Технології солоду, пива і безалкогольних напоїв» денної та заочної форми навч. / уклад. : Б. І. Хіврич, А. М. Куц, П. Л. Шиян ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2015. — 18 с.
4. Домарецкий, Виталий Афанасьевич. Технология экстрактов, концентратов, напитков из растительного сырья [Текст] : Учеб. / В. А. Домарецкий, А. И. Украинец, А. А. Шубин ; Под ред. А.И. Украинца. — Винница : Nova knyha, 2006. — 368 с.
5. Біологічні та фізико-хімічні основи харчових технологій [Текст] : монографія / В. А. Домарецький, А. М. Куц, О. Ю. Шевченко та ін. ; під ред. В. А. Домарецького ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : Фенікс, 2011. — 704 с. — допоміжна для спец. 181. — ISBN 978-966-651-899-0.
6. Домарецький, В. А. Технологія солоду та пива [Текст] : Підруч. / В. А. Домарецький ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : Інкос, 2004. — 42с.
7. Технологічний облік і звітність у виробництві солоду, пива та безалкогольних напоїв [Текст] : Навч. посіб. / В. А. Домарецький, А. Є. Мелетьєв, М. О. Денисов, Р. В. Білошицька. — К. : Інкос, 2005. — 191 с.

8. Домарецький, Віталій Афанасійович. Технологія екстрактів, концентратів і напоїв із рослинної сировини [Текст] : Підруч. / В. А. Домарецький, В. Л. Прибильський, М. Г. Михайлов ; М-во освіти і науки України ; Нац. ун-т харч. технол. — Вінниця : Нова книга, 2005. — 408 с.
9. Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства [Текст] : підручник / С. В. Іванов, В. А. Домарецький, В. Л. Прибильський та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2012. — 487 с.
10. Мелетьєв, А. Є. Технологія продуктів бродіння і напоїв [Текст] : укр.-рос. тлумач. слов / А. Є. Мелетьєв ; - Київ : НУХТ, 2011. - 192 с.
11. Технологія солоду, пива та безалкогольних напоїв у задачах і прикладах [Текст] : навч. посіб. / А. Є. Мелетьєв, В. А. Домарецький, С. Р. Тодосійчук та ін. ; за ред. А. Є. Мелетьєва ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2007. — 256 с.
12. Мелетьєв, А. Є. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв [Текст] : підручник / А. Є. Мелетьєв, С. Р. Тодосійчук, В. М. Кошова ; за ред. А. Є. Мелетьєва. — Вінниця : Нова книга, 2007. 392 с.
13. Інноваційні технології харчових виробництв [Текст] : монографія / В. А. Піддубний, М. Ф. Кравченко, А. О. Чагайда, С. В. Красножон ; Національний університет харчових технологій, Київський національний торговельно-економічний університет. — Київ : Кондор, 2023. — 374 с.
14. Технологічне обладнання харчових виробництв [Електронний ресурс] [Текст] : метод. рекомендації до викон. курсового проекту для здобувачів освіт. ступ. "Бакалавр" спец. 133 "Галузеве машинобудування" освіт.-проф. програми "Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв" ден. та заоч. форм навч. / уклад. : В. Л. Яровий, Р. Л. Якобчук, Д. М. Люлька ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2021. — 39 с.
15. Технологічне обладнання харчових виробництв [Електронний ресурс] [Текст] : метод. рекомендації до самостійної роботи для здобувачів освіт. ступ. "Бакалавр" спец. 133 "Галузеве машинобудування" освіт.-проф. програми "Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв" ден. та

заоч. форм навч. / уклад. : В. Л. Яровий, Р. Л. Якобчук ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2022. — 19 с.

16. Технологічне обладнання харчових виробництв. Модуль 1 [Електронний ресурс] [Текст] : метод. рекомендації до провед. практ. занять для здобувачів освіт. ступ. "Бакалавр" спец. 133 "Галузеве машинобудування" освіт.-проф. програми "Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв" ден. та заоч. форми навч. / уклад. : Р. Л. Якобчук ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2023. — 111 с.

17. Технологічне обладнання харчових виробництв. Модуль 2 [Електронний ресурс] [Текст] : метод. рекомендації до провед. практ. занять для здобувачів освіт. ступ. "Бакалавр" спец. 133 "Галузеве машинобудування" освіт.-проф. програми "Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв" ден. та заоч. форми здобуття освіти / уклад. : Р. Л. Якобчук ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2023. — 126 с.

18. Березін, О. В. Технічне забезпечення підприємства [Текст] : навч. посіб. / О. В. Березін, С. Р. Вахтін, М. І. Дрогомирецька. Суми : Унів. кн., 2012. - 336 с.

19. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва [Текст] : Навч. посіб. Ч. 1 / П. С. Берник, З. А. Стоцько, І. П. Паламарчук, В. В. Яськов ; Нац. ун-т "Львів. політех.". — Львів : Львів. політех., 2004. — 336 с.

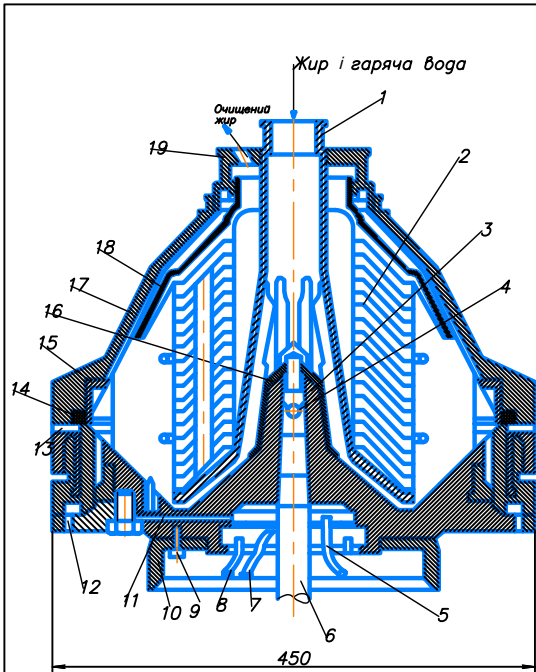
20. Богомоллов, О. В. Курсове та дипломне проектування обладнання переробних і харчових підприємств [Текст] : Навч. посіб. / О. В. Богомоллов, П. В. Гурський, В. П. Богомоллова. — Х. : Еспада, 2005. — 432 с.

21. Транспортні навантажувально-розвантажувальні засоби [Текст] : підручник / І. А. Вікович ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". — Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2018. — 678 с.

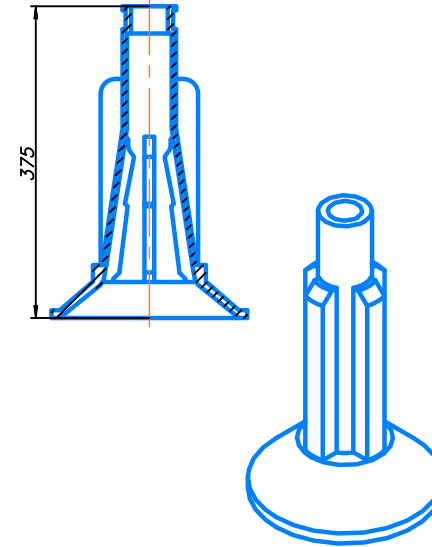
22. Пакувальне обладнання [Текст] : підручник / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. — К. : Упаковка, 2010. — 744 с.

23. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] : Підруч. / І. С. Гулий, М. М. Пушанко, Л. О. Орлов та ін. ; За ред. І.С. Гулого. — Вінниця : Нова книга, 2001. — 576 с.
24. Заплетніков, І. М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посіб. / І. М. Заплетніков, В. Г. Мирончук, В. М. Кудрявцев ; Нац. ун-т харч. технол., Донец. нац. ун-т екон. і торг. — К. : ЦУЛ, 2012. — 344 с.
25. Технологічне обладнання харчових виробництв [Електронний ресурс] [Текст] : курс лекцій для студ. напряму підготов. 6.050502 "Інженерна механіка" денної та заочної форм навч. / уклад. : В. І. Теличкун, В. М. Таран, Ю. С. Теличкун, М. Г. Десик. — К. : НУХТ, 2014. — 240 с.
26. Технологічні комплекси харчових виробництв [Електронний ресурс] [Текст] : метод. рек. до вивч. дисципліни та викон. контрольної роботи для студ. напрямів підготов. 6.050502 "Інженерна механіка" денної та заочної форм навч. / уклад. : В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун. — К. : НУХТ, 2014.
27. Технологія пива: навч. посібник для студ. усіх форм навч. напряму «Харчова технологія та інженерія» / Л. А. Данилова, П. О. Некрасов ; Національний технічний ун-т «Харківський політехнічний ін-т». — Х. : НТУ «ХПІ», 2006. - 224 с.: рис., табл. - Бібліогр.: 197 с.
28. Удодов, С. Півний бізнес / С. Удодов // Харчова і переробна промисловість. – 2004. – № 8 (300). – С. 8–9.



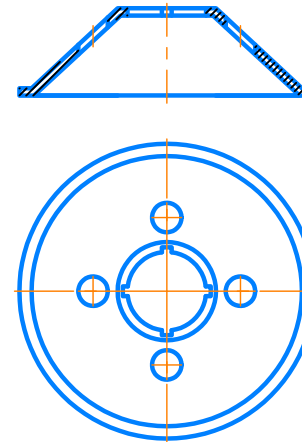
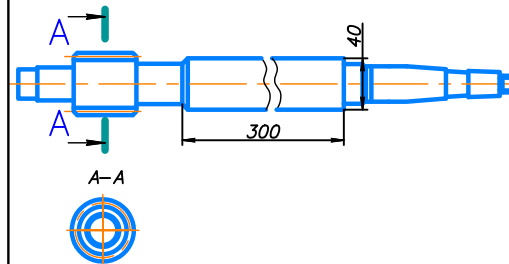
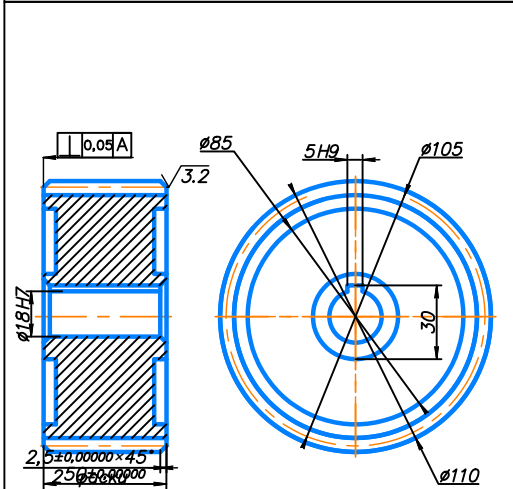


Технічна характеристика  
 Частота обертання барабана, об/хв.....6120  
 Кілі вкіль сть парі лок.....54-102  
 Міжторі локвий зазор, мм.....2-0,75  
 Місткість шламового простору барабана, л.....9  
 Місткість барабана, л.....13



НУХТ	Удодов С.О	Дієвнюк А.О	Гаєва О.М.
Складальне креслення		Складальне креслення	
Назва: Складальне креслення		Назва: Складальне креслення	
05.10.2025	05.10.2025	Укр	А3

НУХТ	Удодов С.О	Дієвнюк А.О	Гаєва О.М.
Складальне креслення		Складальне креслення	
Назва: Складальне креслення		Назва: Складальне креслення	
05.10.2025	05.10.2025	Укр	А4



НУХТ	Удодов С.О	Дієвнюк А.О	Гаєва О.М.
Складальне креслення		Складальне креслення	
Назва: Складальне креслення		Назва: Складальне креслення	
05.10.2025	05.10.2025	Укр	А4

НУХТ	Удодов С.О	Дієвнюк А.О	Гаєва О.М.
Складальне креслення		Складальне креслення	
Назва: Складальне креслення		Назва: Складальне креслення	
05.10.2025	05.10.2025	Укр	А4

НУХТ	Удодов С.О	Дієвнюк А.О	Гаєва О.М.
Складальне креслення		Складальне креслення	
Назва: Складальне креслення		Назва: Складальне креслення	
05.10.2025	05.10.2025	Укр	А4

