

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

**Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний інститут  
ім. акад. І. С. Гулого**  
**Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій  
проектування**

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту (декан факультету)  
\_\_\_\_\_ **Сергій БЛАЖЕНКО**  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ **Микола ЯКИМЧУК**  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв  
на тему: Інтенсифікація процесу виробництва вершкового масла шляхом  
удосконалення масловиготовлювача ММ-1000

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗОХ-2-4М

**Васюк Владислав Вадимович**  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

***Керівник* Лементар Святослав Юрійович**

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Консультанти**

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) \_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Рецензент**

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Київ – 2024 р.**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій  
проектів Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг харчових виробництв»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТОКТП

\_\_\_\_\_ Микола ЯКИМЧУК

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Васюка Владислава Вадимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Інтенсифікація процесу виробництва вершкового масла шляхом удосконалення масловиготовлювача ММ-1000

керівник проекту (роботи) Лементар Святослав Юрійович, доц., кандидат тех. наук  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «08» листопада 2023 р.№ 918-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2024р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

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

Вступ

Аналітичний огляд стану питання; Обґрунтування удосконалення масловиготовлювача ММ-1000; Будова та принцип роботи ; удосконаленого масловиготовлювача ММ-1000; Дослідна частина; Підбір конструкційних матеріалів; Розрахункова частина; Правила монтажу та технічного сервісу ; модернізованого обладнання; Заходи з охорона праці та охорони довкілля; Технологія машинобудування; Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування; Маркетингове обґрунтування проекту; Висновки; Додатки;

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

Технологічна схема – 1 аркуш; Загальний вигляд обладнання – 2 аркуші; 3D модель обладнання – 1 аркуш; Схема автоматизації – 1 аркуш; Технологічна карта збирання вузла – 1 аркуш, Наукова частина – 4 аркуші.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	05.10.2023	
2	<i>Аналітичний огляд стану питання</i>	12.10.2023	
3	<i>Обґрунтування удосконалення масловиготовлювача ММ-1000</i>	25.11.2023	
4	<i>Будова та принцип роботи удосконаленого масловиготовлювача ММ-1000</i>	06.12.2023	
5	<i>Дослідна частина</i>		
6	<i>Підбір конструкційних матеріалів</i>	18.12.2023	
7	<i>Розрахункова частина</i>	15.12.2023	
8	<i>Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання</i>	25.12.2023	
9	<i>Заходи з охорона праці та охорони довкілля</i>	29.12.2023	
10	<i>Технологія машинобудування</i>	09.01.2024	
11	<i>Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування</i>	19.01.2024	
12	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	25.01.2024	
13	<i>Висновки</i>	28.01.2024	
14	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	30.01.2024	
	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.02.2024	

**Здобувач** \_\_\_\_\_

( підпис )

**Владислав ВАСЮК**

( прізвище та ініціали )

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_

( підпис )

**Святослав ЛЕМЕНТАР**

( прізвище та ініціали )

## Реферат

Магістерська робота виконана на тему «Інтенсифікація процесу виробництва вершкового масла шляхом удосконалення масловиготовлювача ММ-1000».

**Метою дослідження** є знаходження раціональних конструкційних параметрів масловиготовлювача періодичної дії ММ-1000.

**Предметом дослідження** є конструкції робочих органів масловиготовлювача періодичної дії ММ-1000.

**Об'єктом дослідження** є процес збивання вершків в масловиготовлювачі періодичної дії ММ-1000.

У даній роботі проведено аналітичний огляд стану механічної обробки вершків у масловиготовлювачах періодичної дії з метою вивчення процесу утворення масляного пласта. Проведено розрахунок і дослідження на комп'ютерній моделі для визначення полів швидкостей руху вершків в барабані. Виявлено недоліки в процесі руйнування жирової дисперсії вершків під час механічної обробки в масловиготовлювачі ММ-1000.

Запропоновано конструктивне рішення для підвищення продуктивності цього масловиготовлювача без зміни його геометричних розмірів.

Проведено моделювання процесу виробництва вершкового масла з урахуванням внесених змін. Отримані результати підтверджують очікуване підвищення продуктивності при виробництві вершкового масла періодичним способом та підвищення якості продукції.

**Ключові слова:** вершкове масло, масловиготовлювач, продуктивність, масляне зерно.

## Summary

The master's thesis is on the topic "Intensification of butter production process by improving the MM-1000 butter maker".

The aim of the study is to find the rational design parameters of the MM-1000 batch oil maker.

The subject of the study is the design of the working bodies of the batch butter maker MM-1000.

The object of research is the process of whipping cream in the batch butter maker MM-1000.

In this work, an analytical review of the state of mechanical processing of cream in batch butter makers was carried out in order to study the process of formation of an oil layer. A calculation and study on a computer model were carried out to determine the fields of cream velocity in the drum. The shortcomings in the process of destruction of the fat dispersion of cream during mechanical processing in the MM-1000 butter maker have been identified.

A constructive solution to increase the productivity of this butter maker without changing its geometric dimensions has been proposed.

The modelling of the butter production process was carried out taking into account the changes made. The obtained results confirm the expected increase in productivity in the production of butter by the batch method and the improvement of product quality.

Keywords: butter, butter maker, productivity, butter kernel.

## Зміст

Вступ.....	
1. Аналітичний огляд стану питання.....	
1.1 Загальні відомості про вершкове масло.....	
1.2 Способи виробництва масла і схеми технологічних процесів.....	
1.3 Вимоги до якості молока і вершків.....	
1.4 Виробництво масла способом збивання вершків.....	
1.5 Огляд обладнання для виробництва вершкового масла способом збивання вершків.....	
1.6 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва масла, що містить масловиготовлювач ММ-1000.....	
2. Обґрунтування удосконалення масловиготовлювача ММ-1000.....	
3. Будова та принцип роботи удосконаленого масловиготовлювача ММ-1000.....	
4. Дослідна частина.....	
5. Підбір конструкційних матеріалів.....	
6. Розрахункова частина.....	
6.1. Технологічний розрахунок.....	
6.2. Енергетичний розрахунок.....	
6.3. Розрахунок барабану масловиготовлювача на міцність.....	
6.4. Кінематичний і силовий розрахунок приводу та вибір електродвигуна.....	
7. Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання.....	
8. Заходи з охорона праці та охорони довкілля.....	
9. Технологія машинобудування.....	
10. Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування.....	
11. Маркетингове обґрунтування проекту.....	
Висновки.....	
Список використаних джерел.....	
Додатки.....	

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> <i>Лементар С.Ю.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i>  <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> <i>Васяк В.В.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i>  <b>Зміст</b>	<b>22-2137.MP.04.000 ПЗ</b>			
<b>22</b>	<i>Документ затверджено</i> <i>Якимчук М.В.</i>	<b>22-.....</b>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>

## Вступ

В наш час так як і в інші дні однією з важливих галузей промислового виробництва є молокопереробна промисловість. І виробництво вершкового масла є невід'ємною складовою представленої галузі.

Вершкове масло як харчовий продукт являє собою концентрат молочного жиру. Молочний жир відрізняється цінними біологічними та смаковими якостями. Він включає оптимально збалансований комплекс жирних кислот, містить значну кількість жиророзчинних вітамінів, має низьку температуру плавлення, легко засвоюється організмом. Від якості вершків і молока залежить смак і запах майбутнього масла, терміни його зберігання. Тому, вибір цих складників повинен бути вкрай ретельний.

Нині у світі зростає виробництво вершкового масла і високов'язких харчових продуктів. Важливу роль в якості і собівартості кінцевого продукту відіграє вартість сировини. На виробництво 1 кг вершкового масла необхідно в середньому біля 20 кг молока. Але все більш важливим стає вартість енергії, затраченої при виробництві продукту.

Різноманіття обладнання, призначеного для виробництва вершкового масла, що нині використовується в харчовій промисловості, не забезпечує достатньої енергоефективності, а тому потребує аналізу та вдосконалення.

# 1. Аналітичний огляд стану питання

## 1.1 Загальні відомості про вершкове масло

Вершкове масло – харчовий продукт, що виробляється з коров'ячого молока і складається переважно з молочного жиру, має специфічний смак, запах і пластичну консистенцію. Крім жиру масло містить воду, білки, молочний цукор, фосфатиди, вітаміни, мінеральні речовини та ін.

Асортимент вершкового масла обумовлюється видом сировини, умовами переробки і складом готової продукції. Наприклад, солодко-вершкове масло виробляють зі свіжих пастеризованих вершків, а кисло-вершкове – з заквашених вершків.

Вершкове масло поділяють на наступні види: топлене (98 % жиру), вологодське (81,5...82,5 % жиру), любительське (77,0...78,0 % жиру), селянське (71,0...72,5 % жиру), бутербродне (61,5 % жиру), шоколадне (62,0 % жиру). Випускають також продукцію і з пониженим вмістом жиру.

Тепловою і механічною обробкою вершкового масла або високожирних вершків одержують такі види масла:

- *павлене* – виготовляють із вершкового масла плавленням його за невисоких температур з наступним розфасовуванням у металеву тару;
- *стерилізоване* – виробляють із високожирних вершків стерилізацією їх після попередньої обробки у вакуум-апараті;
- *пастеризоване* – із високожирних вершків, вакуумованих, розфасованих у металеву тару та двічі пастеризованих;
- *топлене* – молочний жир, який містить не більш як 1% вологи і таку саму кількість сухого знежиреного молочного залишку.
- *рафіноване* (молочний жир) – за складом і властивостями близьке до топленого масла, відрізняється від нього меншим вмістом сухих знежирених

речовин молока;

- *відновлене* – одержане з чистого молочного жиру, за хімічним складом не відрізняється від вершкового масла;

- *збите масло* – кремоподібний продукт, має підвищений вміст повітря, може бути виготовлене із солоного або несолоного масла.

## **1.2 Способи виробництва масла і схеми технологічних процесів**

У сучасному виробництві існує два способи одержання вершкового масла: збивання вершків і перетворення високожирних вершків.

Спосіб *збивання вершків* передбачає одержання масляного зерна із вершків середньої жирності і наступну механічну його обробку.

Масло таким способом може бути виготовлене у масловиготовлювачах періодичної (вальцьових та безвальцьових) і безперервної дії. Залежно від обладнання, що застосовується, розрізняють способи періодичного збивання вершків при виготовленні масла у масловиготовлювачах періодичної дії і безперервного збивання вершків із застосуванням масловиготовлювачів безперервної дії.

Спосіб *перетворення високожирних вершків* передбачає термомеханічний вплив на високожирні вершки у спеціальних апаратах безперервної дії та термостатуванні в спокої або без термостатування. Охолодження та механічна обробка високожирних вершків можуть проводитися паралельно або послідовно.

На малих молокопереробних підприємствах застосовують при виробництві вершкового масла, в основному, спосіб збивання вершків.

Технологічні операції виготовлення масла способом збивання вершків подані на рис. 1.1, технологічна лінія – на рис. 1.2.

Схеми технологічних процесів можуть змінюватися залежно від виду масла, яке виготовляється, тоді треба включати або виключати окремі операції.

Наприклад, при виробництві кисловершкового масла включаються у схему операції біологічного дозрівання вершків, у виробництві солоного масла

– соління його. Лінії з виробництва кисловершкового масла мають характерне обладнання. Наприклад, у лінії виробництва масла способом збивання вершків є резервуари для фізичного дозрівання вершків, яких немає у лінії виробництва масла способом перетворення високожирних вершків. В останній є сепаратори для одержання високожирних вершків, яких немає у лінії з виробництва масла способом збивання вершків.

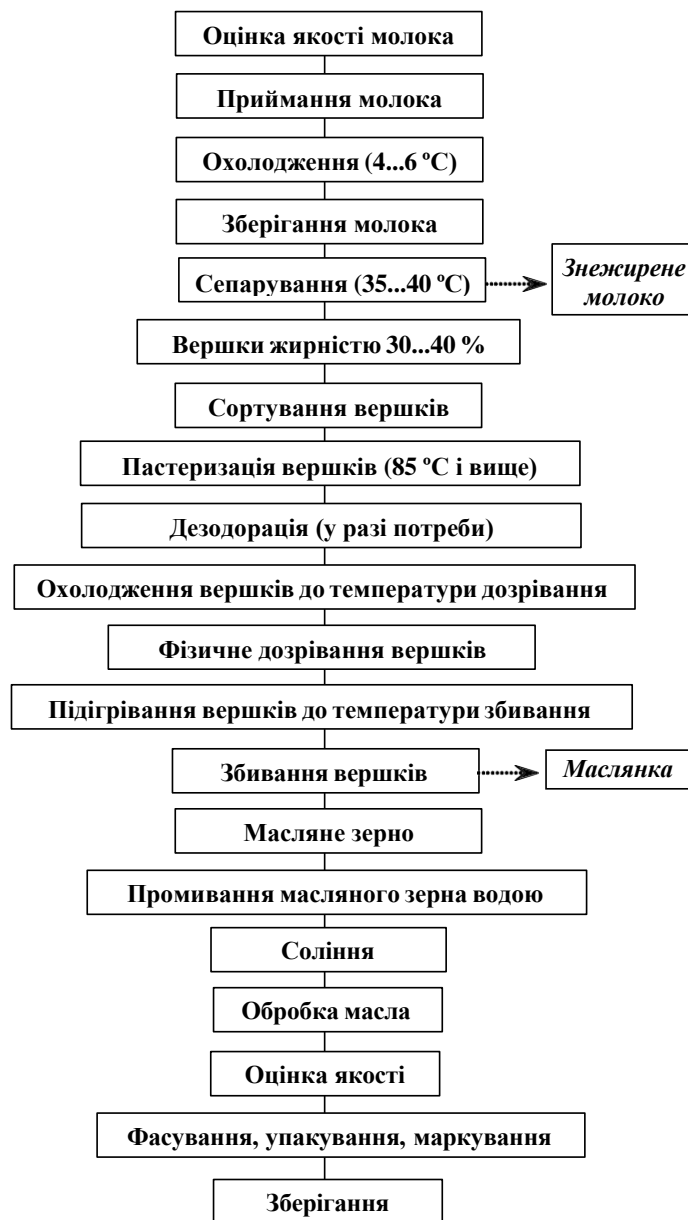


Рис. 1.1 – Схема виробництва масла способом збивання вершків

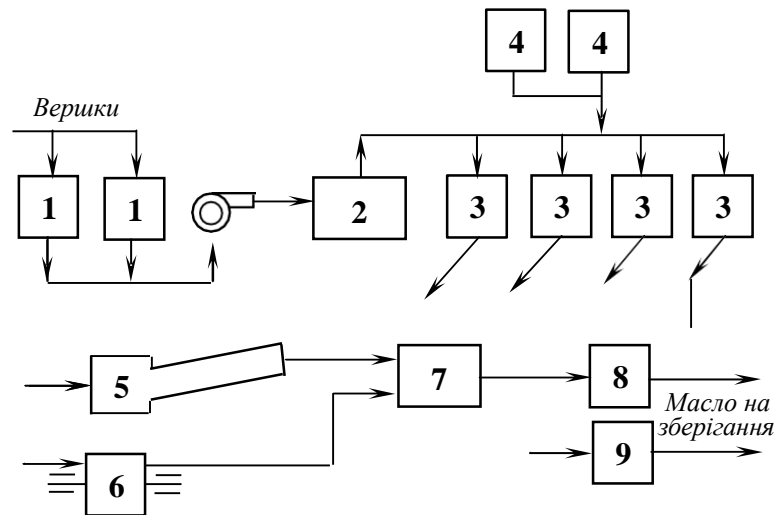


Рис. 1.2 – Схема технологічного процесу виробництва вершкового масла методом збивання: 1 - резервуари; 2 - пастеризаційно-охолоджувальна установка; 3 - ванни для дозрівання вершків; 4 - заквасники; 5 - масловиготовлювач безпе рервної дії; 6 - масловиготовлювач періодичної дії; 7 - гомогенізатор масла; 8 - автомат для фасування масла в брикети; 9 - машина для фасування масла в коробки

### 1.3 Вимоги до якості молока і вершків

Якість вершкового масла та його стабільність під час тривалого зберігання значною мірою залежить від якості молока та вершків, з яких воно виробляється.

Загалом, вимоги до молока, що переробляється на масло, регламентуються чинними стандартами на коров'яче молоко.

При оцінці якості молока особливу увагу звертають на стан його жирової фази - жирність, ступінь дисперсності жирових кульок, стабільність емульсії молочного жиру в молоці та вершках, хімічний склад молочного жиру. Зі збільшенням жирності молока зменшується витрата сировини на одиницю готового продукту і відносно менше жиру залишається в побічних продуктах - знежиреному молоці та вершковому маслі.

Розмір жирових кульок у молоці коливається від 0,1 до 5 мікрон. Зі

збільшенням кількості дрібних жирових кульок у молоці зменшується вихід вершків при сепаруванні, оскільки частина дрібних жирових кульок переходить у знежирене молоко. Тому середній розмір жирових кульок у вершках більший, ніж у молоці. Це сприяє більш повному використанню жиру при переробці вершків на масло.

Склад вершків, які використовують для виробництва вершкового масла, залежить від вмісту жиру – чим його більше, тим більше у їх складі сухих речовин і менше білків, вуглеводів та мінеральних речовин. Вміст жиру у вершках має відповідати вимогам способу виробництва масла та виду продукту, що виробляється.

При визначенні оптимальної жирності вершків враховують необхідність доведення до мінімуму втрат жиру в знежиреному молоці та масляниці, одержання масла доброї консистенції і скорочення затрат часу, робочої сили і енергії на одиницю виробленого продукту.

Для виробництва масла на поточних лініях способом перетворення високожирних вершків використовують вершки жирністю 61...83 % незалежно від виду продукту, що виробляється. У масловиготовлювачах безперервної дії збивають вершки жирністю 36...40 % у весняно-літній і 35...38 % – у осінньо-зимовий період. При використанні вершків меншої жирності знижується продуктивність обладнання, тому переробка таких вершків не рекомендується. У масловиготовлювачах періодичної дії слід збивати вершки жирністю 32...37%.

Вершки за якістю повинні відповідати вимогам ДСТУ. Вершки повинні мати чистий, свіжий, солодкуватий смак без сторонніх присмаків і запахів та однорідну нормальну консистенцію; кислотність плазми – не вище 21 °Т. До I сорту належать вершки, що відповідають зазначеним вимогам, до II сорту – вершки із слабким кормовим присмаком, незначною кількістю грудочок масла, слідами заморожування, кислотністю плазми не вище 26 °Т. Вершки не повинні мати механічних забруднень. Ті, що не відповідають наведеним вимогам, вважаються некондиційними, і їх можна використовувати тільки після

виправлення.

#### **1.4 Виробництво масла способом збивання вершків**

Для видалення механічних домішок вершки фільтрують через щільний фільтрувальний матеріал. Якщо холодні вершки мають високу в'язкість, їх пропускають через лавсанові фільтри.

Призначені для переробки на масло вершки нормалізують за вмістом жиру і пастеризують. Якщо вони мають вади смаку, їх обробляють залежно від виду вади, використовуючи спеціальні технології.

**Пастеризація вершків.** Вершки пастеризують, щоб підвищити стійкість вершкового масла під час зберігання. Стійкість масла підвищується у результаті знищення мікрофлори, ферментів – ліпази, пероксидази і протеази, які прискорюють псування масла.

У виробництві масла застосовують пастеризацію вершків за температури 85 °С і вище. У разі пастеризації за нижчої температури у вершках залишається незруйнованою ліпаза бактеріального походження, яка переходить у масло і спричинює його псування під час зберігання. Нагрівання вершків до 85 °С і вище забезпечує високу ефективність пастеризації – на 99,5...99,9%.

Ефективність пастеризації знижується у таких випадках: за високої жирності вершків; наявності у вершках грудочок жиру, слизу, бруду, бульбашок піни, які захищають від дії високих температур; при початковому високому бактеріальному забрудненні вершків.

Із підвищенням жирності знижується теплопровідність вершків, внаслідок чого для їх нагрівання до бажаної температури потрібно більше часу. Тому під час пастеризації вершків з більш високим вмістом жиру рекомендується зменшувати завантаженість апарата ними, щоб подовжити тривалість впливу температури пастеризації на вершки і тим самим забезпечити високу ефективність процесу.

**Охолодження та визрівання вершків.** Одразу після пастеризації вершки швидко охолоджують до температури нижче точки застигання молочного жиру і витримують деякий час.

Це називається фізичним дозріванням вершків, що означає, що молочний жир застигає, а оболонка жирових кульок змінюється фізично і хімічно.

Його мета - перетворити певну кількість рідкого жиру в твердий стан. Тільки якщо вершки містять затверділий жир, можна збити вершки, щоб отримати масляне зерно, забезпечити бажану консистенцію масла і забезпечити належний стік жиру в масловиготовлювач.

Під час фізичного дозрівання вершків лише частина рідкого жиру переходить у твердий стан. Відношення кількості затверділого рідкого жиру до початкової кількості жиру у відсотках називається ступенем затвердіння жиру. Витримувати вершки слід у спеціальних резервуарах з програмним керуванням. На затвердіння жиру впливає значна кількість факторів, тому вказати точні строки витримування вершків для фізичного їх визрівання неможливо.

Прийнятні результати в зимовий період дає застосування способу низькотемпературної обробки, який передбачає швидке охолодження вершків до 5...7 °С, витримування за цієї температури 2...3 год. та повільне нагрівання (40...60 хв.) до 13...16 °С. Влітку вершки охолоджують до 4...6 °С і залишають до збивання при повільному підвищенні температури.

При фізичному визріванні зростає в'язкість вершків. Ступінь грудкування жиру у дозрілих вершках удвічі більший, ніж в охолоджених, але недозрілих.

У масловиготовлювачах періодичної дії процес збивання вершків можна поділити на **три стадії**.

**Перша – стадія утворення піни.** Під час збивання вершків паралельно відбуваються два процеси – утворення і руйнування повітряних пухирців. На першій стадії збивання за одиницю часу руйнується менше повітряних пухирців, ніж утворюється. До кінця першого періоду збивання вершки майже

повністю перетворюються на структуровану рухому піну. Пухирці повітря з'являються на поверхні і знову тягнуться потоками рідини всередину вершків доти, поки не зруйнуються.

**Інтенсивність руйнування** повітряних пухирців під час збивання вершків залежить від багатьох факторів – швидкості їх перемішування, температури, розміру пухирців, ступеня затвердіння жиру, фізичних властивостей вершків (в'язкості, міцності структури поверхневих шарів) тощо. При збільшенні швидкості перемішування вершків стійкість повітряних пухирців зменшується, а інтенсивність їх руйнування збільшується. Від моменту появи пухирця на поверхні до моменту руйнування відбувається прискорене руйнування повітряних пухирців.

Ступінь заповнення масловиготовлювача вершками повинен бути таким, щоб тривалість контакту повітряних бульбашок на межі з повітрям була достатньою для їх руйнування.

З підвищенням температури вершків стійкість повітряних бульбашок знижується через зменшення в'язкості вершків і плавлення частини твердого жиру всередині жирових кульок. Зі зменшенням стійкості повітряних бульбашок вони швидше руйнуються, і здатність вершків утворювати піну зменшується.

Другий етап - руйнування піни. У процесі збивання кількість вершків без піни і вільного повітря швидко зменшується, що призводить до різкого зниження швидкості утворення бульбашок.

Тому загальний об'єм спінених вершків починає зменшуватися після того, як він досягає певного максимального об'єму і починається другий етап збивання. Цей етап закінчується руйнуванням піни і утворенням невеликих жирових грудочок з жирових кульок, що злиплися, включаючи масляні зерна.

Третій етап пов'язаний з утворенням масляного крему. Окремі маленькі грудочки жиру, в результаті їх багаторазового контакту один з одним, злипаються в більші, в результаті чого утворюється масляне ядро. Залежно від умов збивання, зерна мають різні розміри і форму з гладкою або шорсткою

поверхнею.

**Промивання масляного зерна.** Закінчивши збивання, із масловиготовлювача видаляють маслянку, а масляне зерно промивають. Для цього у масловиготовлювач наливають чисту воду на 40...50 % об'єму вершків.

Воду залишають у маслоробці на 3...5 хвилин і для кращого омивання зерен за цей час обертають діжу 4...5 разів (на швидкості збивання), а потім воду зливають. Вдруге доливають воду до 30...40 % від об'єму вершків і знову обертають діжу 4...5 разів. Не рекомендується промивати масляне ядро більше двох разів, оскільки погіршуються його смак і аромат.

Промиванням видаляють маслянку, адсорбовану поверхнею масляного зерна. У процесі промивання масляних зерен знижується концентрація речовин, розчинених у плазмі, а стійкість масла підвищується.

Температура промивальної води має бути в межах 7...15 °С. Температура першої води для промивання має дорівнювати температурі масляного зерна в кінці збивання, температура другої води для промивання – на 1,5...2 °С нижча за температуру першої. Залежно від консистенції зерна масло можна витримувати у воді від 5 до 15 хв.

Слід уникати надмірно високих температур: вони погіршують консистенцію масла, підвищують вологоємкість і призводять до його пом'якшення. Під впливом низьких температур масло занадто твердне, вміст вологи в ньому зменшується, утруднюється і подовжується обробка, погіршується консистенція. При тугоплавкому жирі (взимку) бажані високі, а при легкоплавкому (влітку) – низькі температури.

**Обробка масляного зерна.** Масляне зерно обробляють для з'єднання його розрізнених зерен в один суцільний пласт, видалення поверхневої вологи, регулювання її вмісту, подрібнення крапель і рівномірного розподілу води по всій масі. Обробляють його в безвальцьових масловиготовлювачах – механічними ударами по маслу, коли воно падає на стінку бочки внаслідок обертання апарата.

**Регулювання кількості води в маслі.** Після видалення промивальної води

і внесення солі (при виробництві солоного масла) люк масловиготовлювача закривають і починають обробку при малих частотах обертання. Залежно від затвердіння масла, ступеня наповнення масловиготовлювача і його конструкції роблять 5...8 обертів для з'єднання зерен у пласт, потім видаляють накопичену вологу і продовжують віджимання.

Віджимають із зупинками люком униз для повного видалення вільної вологи. Як тільки волога перестає виділятися, бочку ставлять краном донизу і щупом відбирають у різних місцях середню пробу масла для визначення його вологості.

За результатами досліджень фактичного вмісту вологи в цій пробі масла теоретично визначають його масу у масловиготовлювачі та кількість води, що підлягає додатковій обробці.

Соління вершкового масла додає смаку і зберігає його, зупиняючи або сповільнюючи розвиток мікроорганізмів. Повне припинення росту мікроорганізмів спостерігається при концентрації солі в плазмі вершкового масла 27%, що відповідає продукту, який містить 4% солі при 15% вологи. Згідно зі стандартом, у вершкове масло дозволяється додавати не більше 1,5% солі, оскільки більша кількість негативно впливає на смак масла. Однак на практиці рідко використовують таку кількість солі для соління масла, оскільки можна досягти позитивних результатів за значно меншої її кількості. Масло солять сухою сіллю або розсолем.

**Вихід масла** залежить від маси молока і вершків, необхідних для виробництва одиниці продукції. Для його розрахунку потрібно знати масу переробленого молока і одержаного масла. Якщо, наприклад, перероблено **1019** кг молока і одержано **44** кг масла, то витрати молока на 1 кг масла становлять: **23,1** кг (**1019 : 44**).

## **1.5 Огляд обладнання для виробництва вершкового масла способом збивання вершків**

**Масловиготовлювачі** періодичної і безупинної дії розрізняються між собою механізмом зародження масла, способом впливу на вершки і конструкцією робочих органів. Виготовлення масла вершкового в масловиготовлювачах дискретної(періодичної) дії відбувається у два етапи: утворення з жирових кульок масляного зерна і утворення з зерна шару вершкового масла. У масловиготовлювачах безперервної дії утворення масляного зерна і шару здійснюється у безупинному потоці.

У обладнанні періодичної дії (без роликів) збивання вершків відбувається в результаті гравітаційного перемішування. Під час обертання робочої ємності змішувача, заповненого на 30...50%, вершки спочатку піднімаються на певну висоту, а потім під дією ваги опускаються, піддаючись механічному сильному впливу. Висота підйому вершків, тиск, що виникає при цьому, і характер руху рідини визначаються розмірами робочої ємності та частотою її обертання. Швидкість руху вершків становить 5...7 м/с. У олійницях, що працюють безперервно, швидкість руху вершків сильно вища (18...22 м/с). Інтенсивний вплив лопатей віночка спричиняє турбулентний рух потоку вершків у машині та інтенсифікує процес агрегації (злипання) жирових глобул і утворення масляного крему.

**Масловиготовлювачі періодичної дії** поділяють на три типи.

**До першого** відносяться масловиготовлювачі, що мають робочий орган – резервуар. Форма його може бути циліндричною, конічною, грушоподібною, кубічною і т.д. У середині ємність не має яких небудь пристосувань, що перемішують.

**До другого типу** відносять масловиготовлювачі, які мають у резервуарі нерухомо закріплені спіралі, лопаті, струни і т.д. Ця група масловиготовлювачів застосовується найчастіше.

**До третього** відносять масловиготовлювачі, що мають нерухомий резервуар з робочими органами, що обертаються в ньому. Цей тип часто

застосовується у виді маслоробок невеликої продуктивності.

Будова і принцип роботи безвальцових масловичотувачів періодичної дії, що випускаються промисловістю, практично однакові і відрізняються лише деякими деталями.

Масловичотувач періодичної дії РЗ-ОБЕ (рисунок 3) складається з вузлів що є основними: станини з коробкою передач, ємності і органами керування, стійки, огороження, зрошувального пристрою, візка і шафи керування.

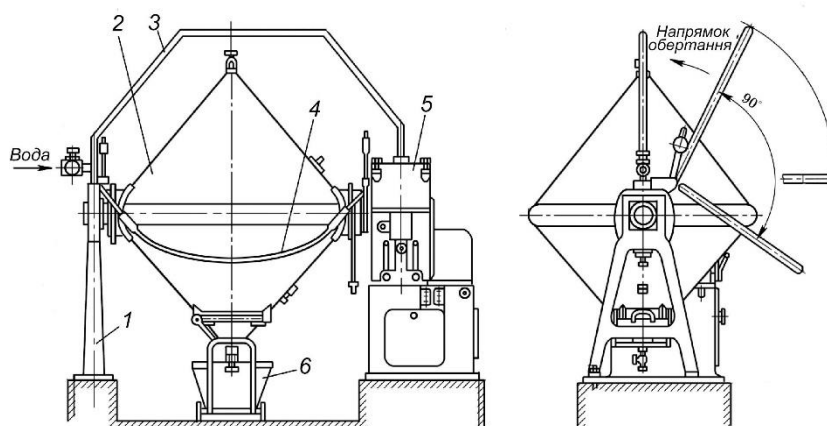


Рис. 1.3 – Схема масловичотувача періодичної дії РЗ-ОБЕ:

1 - стійка; 2 - ємність; 3 - зрошувальний пристрій (душ); 4 - огороження; 5 - станина з коробкою передач; 6 – візок

Ємність (бочка) апарата виконана у вигляді двох конусів, виготовлених з листової неіржавіючої сталі. На вершині одного з конусів змонтований люк. Ємність оснащена оглядовим вікном і двома кранами для спускання повітря і сколотин. З одного боку вона з'єднана з опорною стійкою, а з іншого – з вихідним валом привода. В середині ємність має похило приварені лопаті для збивання вершків і обробки масляного зерна.

Внутрішня поверхня масловичотувача має спеціальне покриття для запобігання прилипанню масла.

Привод масловичотувача складається з двошвидкісного електродвигуна, клинопасової передачі і коробки передач.

Зупинка ємності в потрібному положенні здійснюється за допомогою

гальмівного пристрою, який змонтований всередині коробки передач, та фрикційної муфти зчеплення, яка розташована на вхідному валу коробки передач. Швидкості обертання перемикаються за допомогою рукоятки.

Для малих переробних підприємств застосовують масловиготовлювачі МИМ-1, МИП-1500, ОМС- 0,13.

Масловиготовлювач МИП-1500 (рис. 1.4) має циліндричну ємність, яка обертається навколо поздовжньої осі.

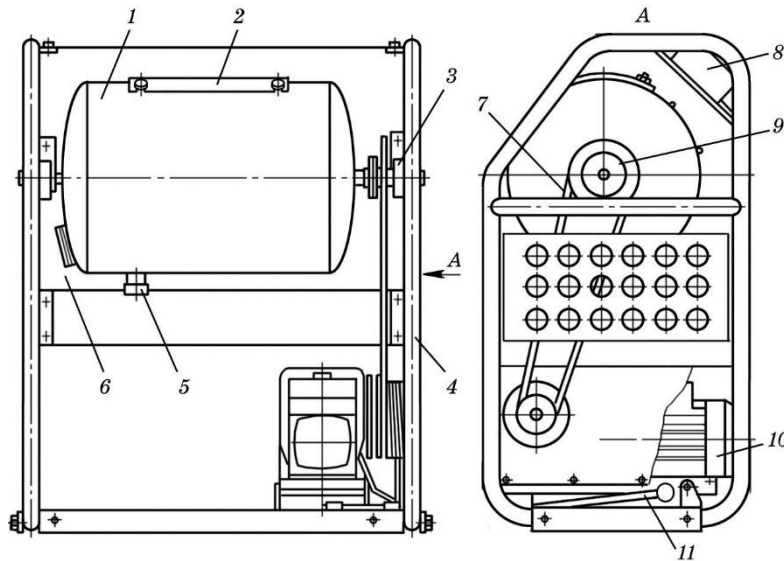


Рис.1.4 – Схема масловиготовлювача МИП-1500:

1 - ємність; 2 - кришка люка; 3 - вузол підшипниковий; 4 - рама; 5 - зливний штуцер; 6 - оглядове вікно; 7 - пас; 8 - електричний вимикач; 9 - шків; 10 - привод; 11 - ручка підіймача платформи

Ємність виконана з харчової неіржавіючої сталі. Збивання вершків і обробка масляних зерен здійснюється спеціально спрофільованими лопатями, закріпленими на внутрішній поверхні ємності.

Привод апарата складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора і пасової передачі.

Малогабаритний маслоробний апарат МИМ-1 призначений для виробництва масла з вершків 30..40% жирності в невеликих фермерських господарствах. За 8-годинну зміну виробляє 160 кг високоякісного масла, придатного для тривалого зберігання.

Дві швидкості обертання барабану і промивання водою забезпечують кращу обробку масляного зерна з найменшим відходом зерна в сколотини. Масловиготовлювач оснащений вентильним блоком, шлангом і розпилювачем для промивання, а за потреби і для охолодження бака.

Масловиготовлювач ОМЕ-0,13 (рис. 1.5) складається з циліндричної ємності з чотирма радіальними лопатями. Ємність установлена на рамі зварної конструкції, має вікно для завантаження і вивантаження, вікно для візуального контролю за процесом і кран для зливання сколотин.

На стійці рами встановлений привод, що складається з електричного двигуна і черв'ячного редуктора. Передача між редуктором і робочим барабаном клинопасова.

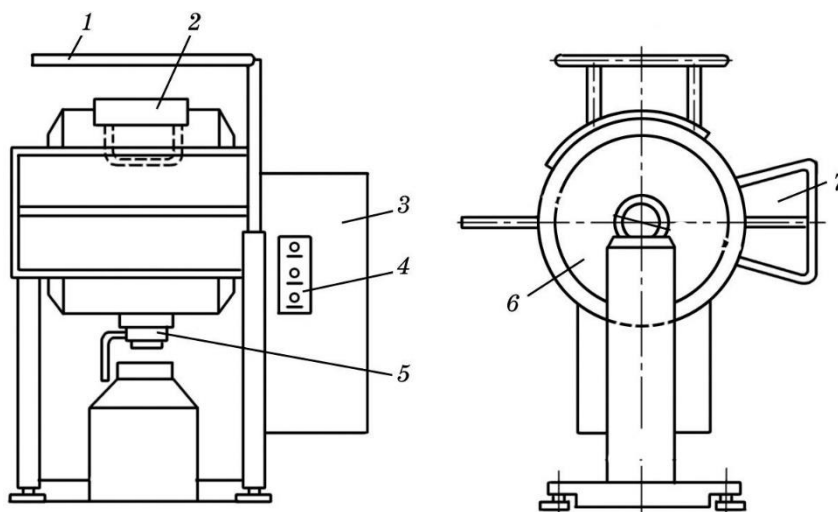


Рис. 1.5 – Схема масловиготовлювача марки ОМЕ-0,13:

1 - зрошувальний пристрій; 2 - завантажувальне вікно; 3 - електрошафа; 4 - пульт керування; 5 - спускний кран; 6 - ємність; 7 – огороження

Масловиготовлювач оснащений зрошувальним пристроєм у вигляді перфорованих трубок у кількості двох, змонтованих над ємністю. Шафа керування приводом і електрошафа об'єднані в один блок.

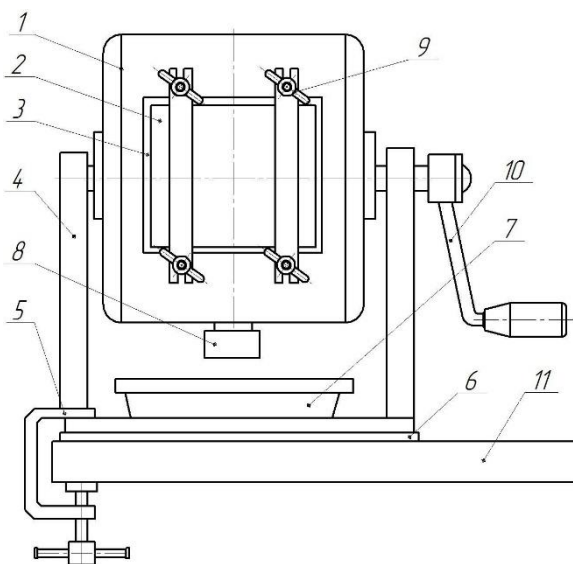


Рис. 1.6 – Маслоготовлювач ручний Г МБ-1: 1 - барабан;  
2 - кришка; 3 - ущільнювач; 4 - опора; 5 - струбцина; 6 - прокладка;  
7 - ванночка; 8 - заглушка; 9 - гайка; 10 - ручка; 11 – стіл

Маслоготовлювачі ручні марок Г МБ-1 і Г МБ-2 (рис.1.6) призначені для виробництва вершкового масла у фермерському і особистому підсобному господарствах.

Маслоготовлювач являє собою барабан 1, горизонтально закріплений в опорах (стійках) 4 рами. За допомогою ручки 10 барабан обертається навколо своєї горизонтальної осі.

Барабан має отвір для завантаження вершків і вивантаження масла.

Через штуцер 8 зливають склотини у ванночку 7 і відводять повітря.

Маслоготовлювач встановлюється на стільниці, на яку накладається прокладка 6 і закріплюється за допомогою струбцини 5. Через отвір у барабан заливають 7,5 кг вершків (бажано дозрілих) жирністю 28...30 %. Гранична норма заповнення маслоробки від 3,5 до 8 кг.

Збивання вершків здійснюється протягом 40...60 хв. при температурі 7...10 °С (улітку) і 10...14 °С (узимку). Температура в приміщенні повинна бути не вища за 16 °С. Процес збивання проводиться до розміру масляного зерна 2...3 мм.

По закінченні збивання маслянку зливають через штуцер, а масло, що

залишилося, промивають питною водою температурою 10...14 °С 1...3 рази, роблячи 5...6 повільних обертів барабана.

Для утримання масляного зерна в барабані промивні води зливають через сито або марлю. Потім масло солять із розрахунку 75...100 г солі на 2,5 кг продукту. Після 4...6 повільних обертів барабана, які приводять до з'єднання масляних зерен у шар, масло викладають на пергамент або в дерев'яну вологу форму для формування у брусок.

На рис. 1.7 показані схеми компоновання масловичотувачів з робочими ємностями різної форми, а на рисунку 8 фото масловичотувачів періодичної дії.

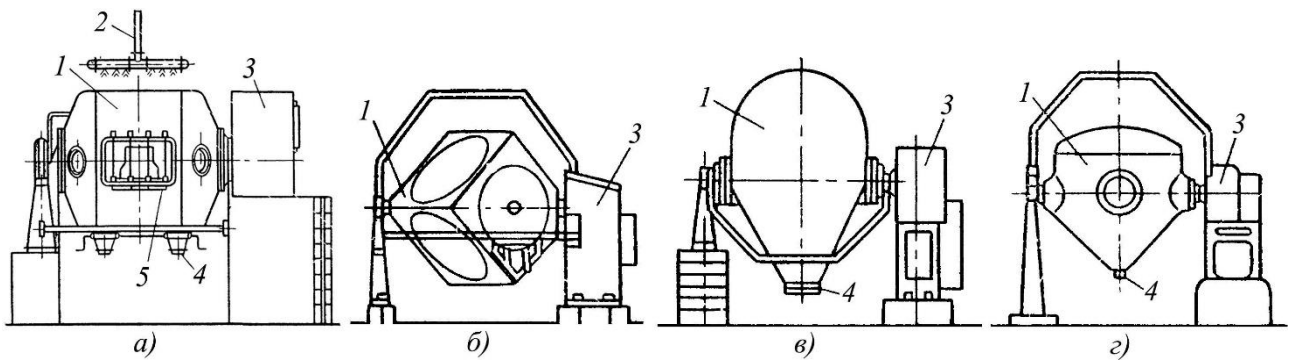


Рис. 1.7 – Масловичотувачі періодичної дії різної форми: а) циліндричної; б) кубічної; в) грушоподібної; г) усіченої



1 - ємність; 2 - пристрій для зрошення; 3 - привод; 4 - кран; 5 - люк.

Рис. 1.8 – Загальний вигляд масловичотувачів періодичної дії

Комбайн молочний Г 6-ОКМ -2 (рис. 1.9) призначений для переробки молока на вершки і масло в домашніх умовах та фермерських господарств.

Змонтований на основі 8, містить у собі сепаратор 2, масловиготовлювач 1 та їх загальний привод, що складається з електродвигуна 3 з роликом 6 і дисків 4 та 5 фрикційної передачі.

За допомогою пристрою 7 електродвигун уводиться у контакт з диском 5 або диском 4 і, відповідно, надає рух сепаратору або масловиготовлювачу.

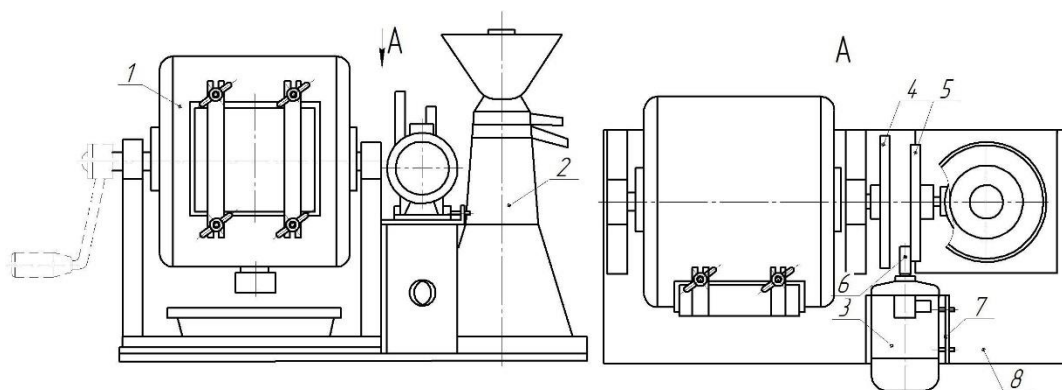


Рис. 1. 9 – Комбайн молочний Г6-ОКМ -2: 1 - масловиготовлювач;  
2 - сепаратор; 3 - електродвигун; 4,5 - фрикційні диски; 6 - ролик; 7 –  
пристрій перемикання; 8 – основа

На переробних підприємствах малого типу застосовують малогабаритні лінії по виробництву вершкового масла методом збивання Я7-ОПМ і Я7-ОКМ (рис. 1.10).

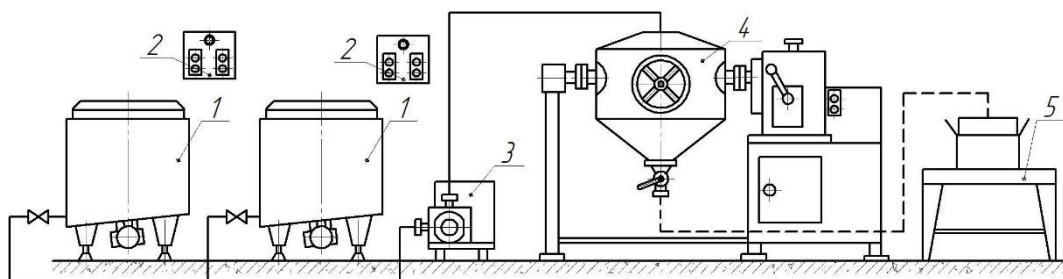


Рис. 1.10 – Малогабаритні лінії марок Я7-ОПМ та Я7-ОКМ:  
1 - універсальні апарати циклічної дії; 2 - пульти керування; 3 - насос  
роторний; 4 - масловиготовлювач; 5 - стіл для фасування і упакування масла.

До складу ліній входить такий перелік технологічного обладнання: два універсальних апарати циклічної дії 1 для пастеризації (можливе використання різних джерел тепла), витримування, охолодження і фізичного дозрівання вершків; роторний насос 3; масловиготовлювач, періодичної дії для збивання вершків 4; стіл для фасування і пакування масла 5; комплект інвентарю, а також молочна трубопровідна арматура і пульти керування 2.

### 1.7 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва масла, що містить масловиготовлювач ММ-1000

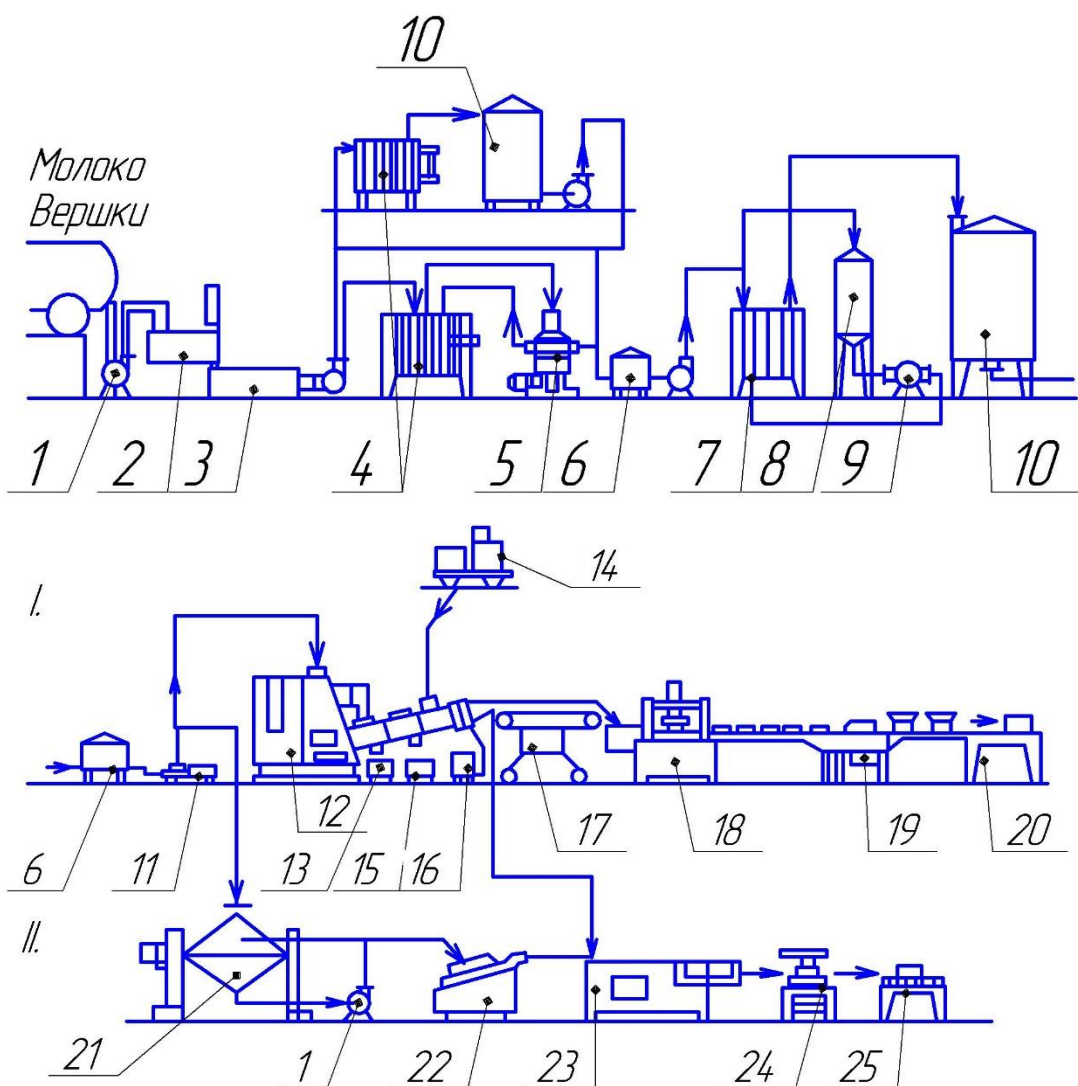


Рис. 1.11 - Виробництво масла в масловиготовлювачах:

I - в масловиготовлювачах безперервної дії, II - в масловиготовлювачах періодичної дії: 1 - насоси; 3 - ванна прийому молока; 4 - теплообмінник пластинчатий; 5 - сепаратор-вершковідділювач; 6 - проміжні бачки;

7 - пастеризатор-охолоджувач пластинчастий; 8 - дезодораційна установка; 9 - насос для вершків; 10 - ємність для вершків; 11 - гвинтовий насос; 12 - масловиготовлювач безперервної дії; 14 – пристрій для підсолювання; 21 – масловиготовлювач періодичної дії, 22 – гомогенізатор масла; 18 та 23 – автомати фасувальні, 19 - автомат-укладач; 2, 20 та 24 – ваговимірювальні пристрої

При виробництві масла на масловиготовлювачах методом збивання вершків, молоко, що надійшло на завод, зливають в приймальну ванну для молока 3, звідки молоко насосом 1 качається в пластинчастий теплообмінник 4. Підігріте до температури сепарування 2-30 °С молоко надходить в сепаратор-вершковідділювач 5. Відділені вершки із сепаратора 5, а також вершки, що надходять від інших сепараторних відділень заводу, направляються в проміжний бачок 6, звідки насосом 1 рівномірно подаються на пластинчасто пастеризаційну-охолоджувальну установку 7 для підготовки до оброблення в масловиготовлювачі.

Підготовлені до збивання вершки самопливом або під напором насосу направляється у періодичний 21 або неперервний 12 масловиготовлювачі, в яких послідовно відбувається збивання вершків, промивка масляного зерна і його механічне оброблення с регулюванням вмісту вологи и консистенції.

При виготовлені соленого масла в масловиготовлювачах періодичної дії, сіль вносять в масляне зерно після його промивання або в пласт масла при його обробці.

Готове масло надходить на автомати 18 та 23 для фасування у брикети чи коробки 19. Упакований продукт зберігається в маслосховищах.

Принцип роботи всіх масловиготовлювачів періодичної дії приблизно однаковий: в ємність масловиготовлювача завантажуються вершки (на 30...50 % об'єму), після чого вмикається привід і ємність починає обертатися. Під час обертання відбувається механічна дія на вершки в результаті утворюється масляне зерно.

## 2. Обґрунтування необхідності удосконалення

### масловиготовлювача ММ-1000

В молокопереробній галузі дуже часто використовуються масловиготовлювачі періодичної дії різних форм, але з однаковим принципом роботи. Відсутність необхідності постійного та стабільного потоку вершків є перевагою таких масловиготовлювачів в порівнянні з масловиготовлювачами безперервної дії та маслоутворювачами, тому вони добре підходять для підприємств з невеликою продуктивністю, при процесі виробництва вершкового мала легко регулювати технологію і харчовий склад компонентів, що входять в масло, а також його властивості. Завдяки такому виду оброблення у такого масла висока термостійкість.

Основним недоліком масловиготовлювачів даного виду є не дуже висока продуктивність, так як коливальний режим руху вершків погано забезпечується через утворення застійних зон та вплив на оброблюваний продукт невисокий. Це приводить до зниження інтенсивності процесу перетворення вершків та продуктивності масловиготовлювача.

В основу удосконалення масловиготовлювача ММ-1000 поставлена задача інтенсифікації виробництва масла, а саме процесу перетворення вершків, поліпшення якості готового продукту і забезпечення рівномірного розподілу вершків по всьому об'єму ємності та отримання ефективного контакту по всій поверхні оброблюваного продукту.

### 3. Будова та принцип роботи удосконаленого масловичовлювача ММ-1000

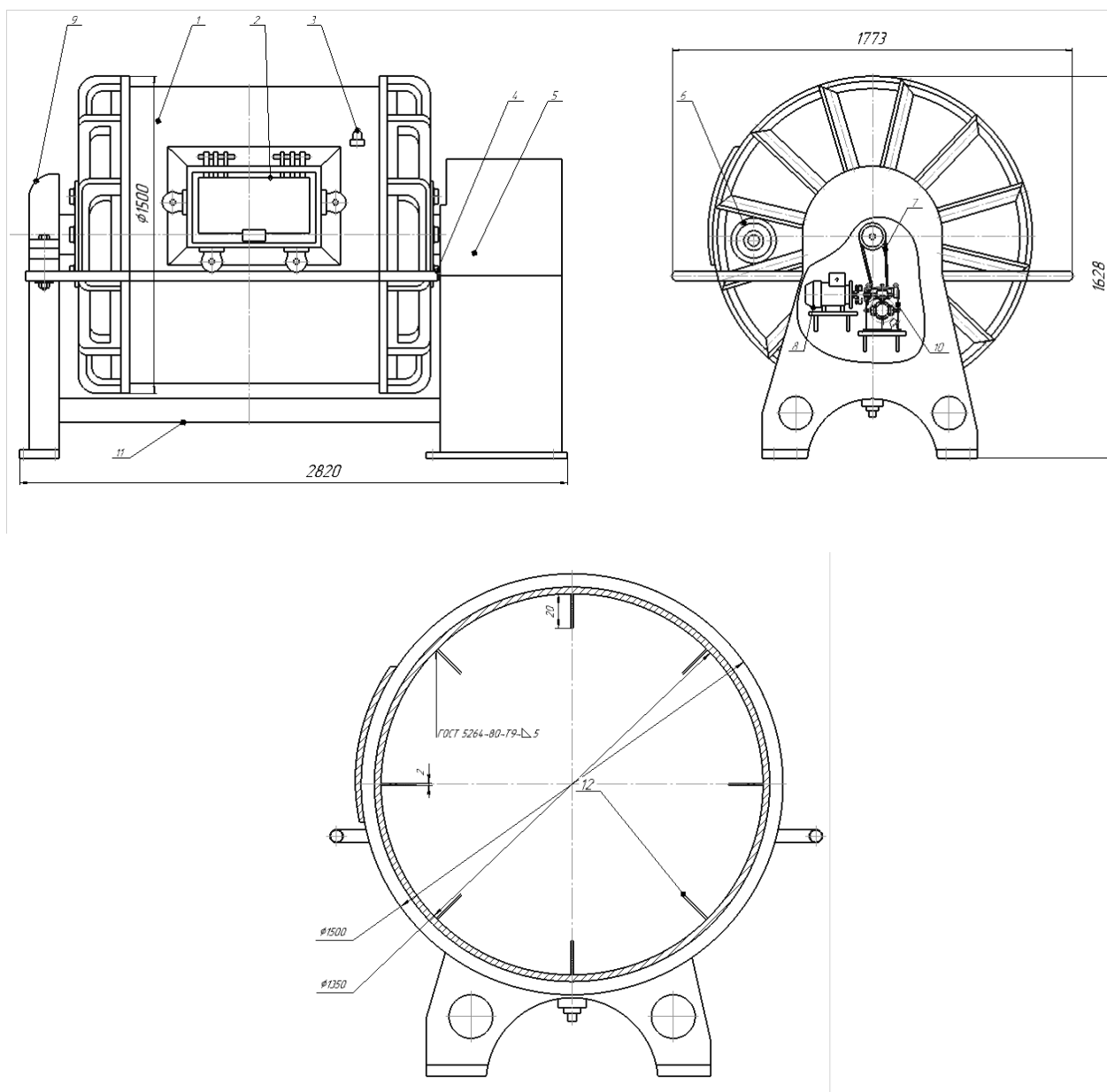


Рис. 3.1 - Масловичовлювач ММ-1000: 1 – робоча ємність (барaban);  
 2 – люк оглядовий; 3 - клапан повітряний; 4 – пристрій для зрошування;  
 5 – привід; 6 - оглядове вікно; 7 - передача пасова;  
 8 - електродвигун; 9 – опора; 10 – редуктор черв'ячний;  
 11 – ніжки; 12 – лопаті

У робочу ємність завантажують підготовлені вершки жирністю 35...45 %, на 35...50 % об'єму масловичого вогнива. Температура вершків при цьому повинна бути в межах 12...15 °С. Після наповнення ємність починає обертатися з швидкістю 28 об/хв. Частота обертання ємності підбирається з умов, щоб відцентрова сила, яка виникає в ємності при обертанні була менше за силу тяжіння й за рахунок цього відбувається піднімання вершків та скидання їх в нижню частину. Підйом вершків забезпечують лопатки 12 які розташовані всередині барабану. Під час збивання вершків утворюється в середині барабану багато піни і для зниження тиску відкривається клапан 3. Через 20...30 хвилин після початку роботи утворюються сколотини (знежирені вершки), для кращого оброблення масляного зерна її зливають, а масляну масу промивають водою теплішою за утворені сколотини на 1... 2 °С, після чого продовжують оброблення. Через 40...45 хвилин утворене готове масло вивантажують через люк 2.

### 3.1 Удосконалення масловичого вогнива

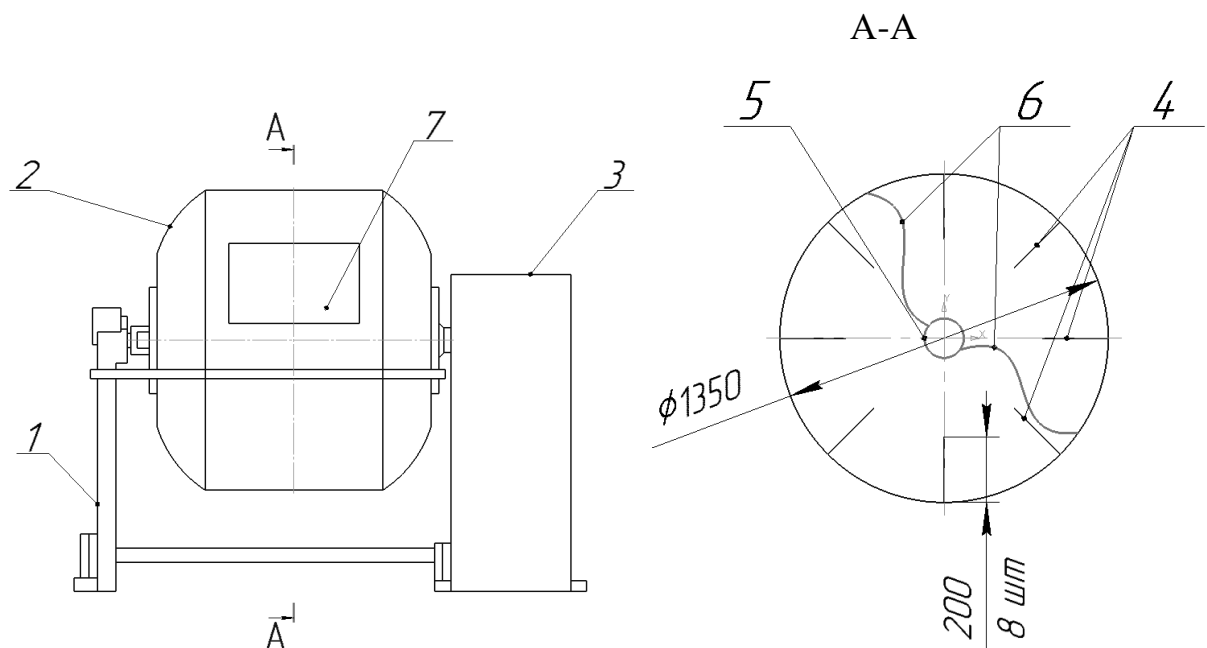


Рис. 3.2 – Удосконалений масловичого вогнива ММ-1000, 1 варіант:  
 1 – рама; 2 - ємність циліндрична; 3 - механізм привідний; 4 - направляючі ребра; 5 – направляючі ребра; 6 - троси, 7- люк завантажувальний

В удосконалення обладнання поставлена задача інтенсифікації процесу виробництва масла, поліпшення якості готового продукту й забезпечення рівномірного розподілу вершків по всьому об'єму барабана та отримання ефективного контакту по всій поверхні продукту що обробляється.

Задача що поставлена вирішується тим, що масловиготовлювач ММ-1000 містить горизонтальну циліндричну встановлену на рамі ємність, що обертається навколо власної вісі та привідний механізм змонтований в станині.

Удосконалений масловиготовлювач має в середині ємності вісім закріплених металевих направляючих пластин прямокутної форми по всій довжині та оснащений додатково трьома інтенсифікуючими елементами в вигляді сфер, які закріплено на металевих тросах перпендикулярно направляючим пластинам.

За рахунок встановлення направляючих пластин та елементів у вигляді сфер відбувається інтенсивне розподілення вершків по всьому об'єму ємності, що виключає утворення застійних зон оброблюваного продукту, таке рішення дозволяє інтенсифікувати процес збивання вершків при перетворенні на масло, поліпшити якість готового продукту і знизити енерговитрати і відповідно підвищити продуктивність масловиготовлювача.

Робота масловиготовлювача ММ-1000 відбувається наступним чином. Через вікно-люк 7 вершки подають в циліндричну ємність 2, після чого вікно 7 закривають. Під час увімкнення приводу 3 контейнер 2 з нерухомими ребрами 8 і сферичними елементами 5 приходить у рух. При цьому напрямні ребра 4 подають потік вершків до елементів 5 у вигляді сфер, закріплених на тросах 6, де рухаються частинки вершків з різними лінійними швидкостями. Така різниця у швидкості руху частинок вершків сприяє їхній інтенсивній турбулентності та призводить до прискореного формування зерен вершкового масла, що скорочує час технологічного процесу збивання вершкового масла та підвищує продуктивність олійника. Процес формування зерна контролюється

візуально через вікно-люк 7. По закінченню технологічного процесу масло вивантажують через вікно-люк 7.

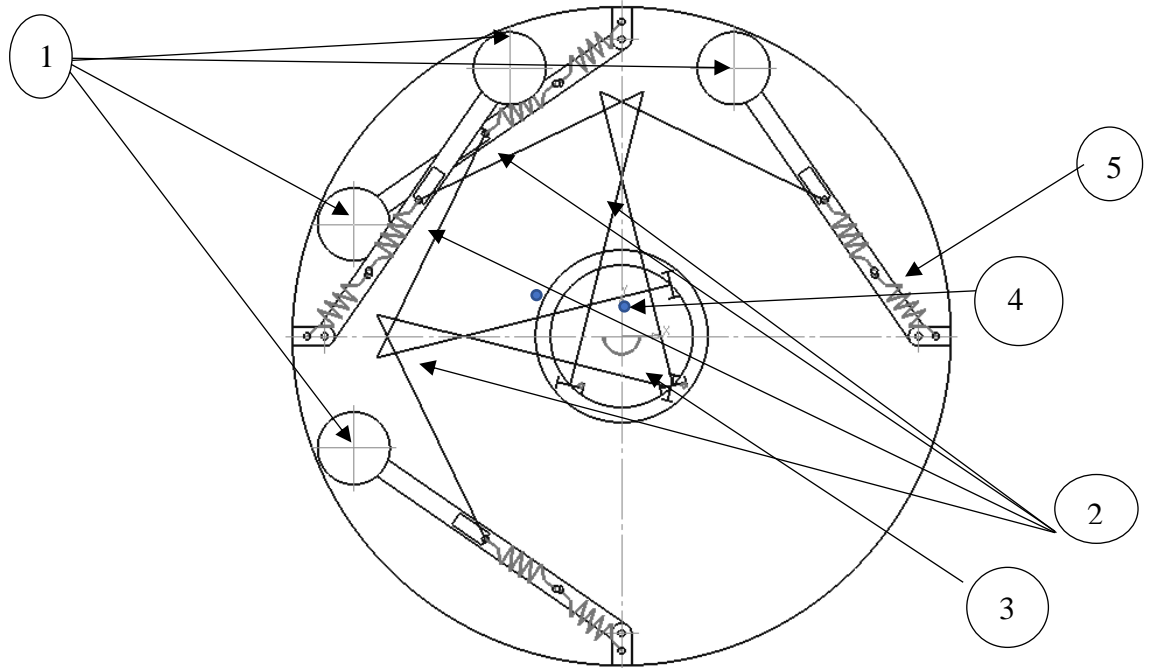


Рис. 3.3 - Удосконалений масловичотвлювач ММ-1000, варіант 2

Удосконалення масловичотвлювача ММ-1000 полягає в додаванні до внутрішньої частини барабану коромисел 1, які коливаються під час обертання барабану масловичотвлювача. Їх коливання забезпечується за рахунок системи важелів 2 та копіру 3. Під час обертання важіль 2 упирається у палець 4 після чого починає обертатися навколо нього, як навколо осі та тягне за собою коромисло 1. При опусканні коромисла 1 нижче осі барабану пружина 5 тягне коромисло донизу і в результаті чого відбувається удар по поверхні вершків відразу з обох боків. Далі процес повторюється та завершується повним приготуванням вершкового масла.

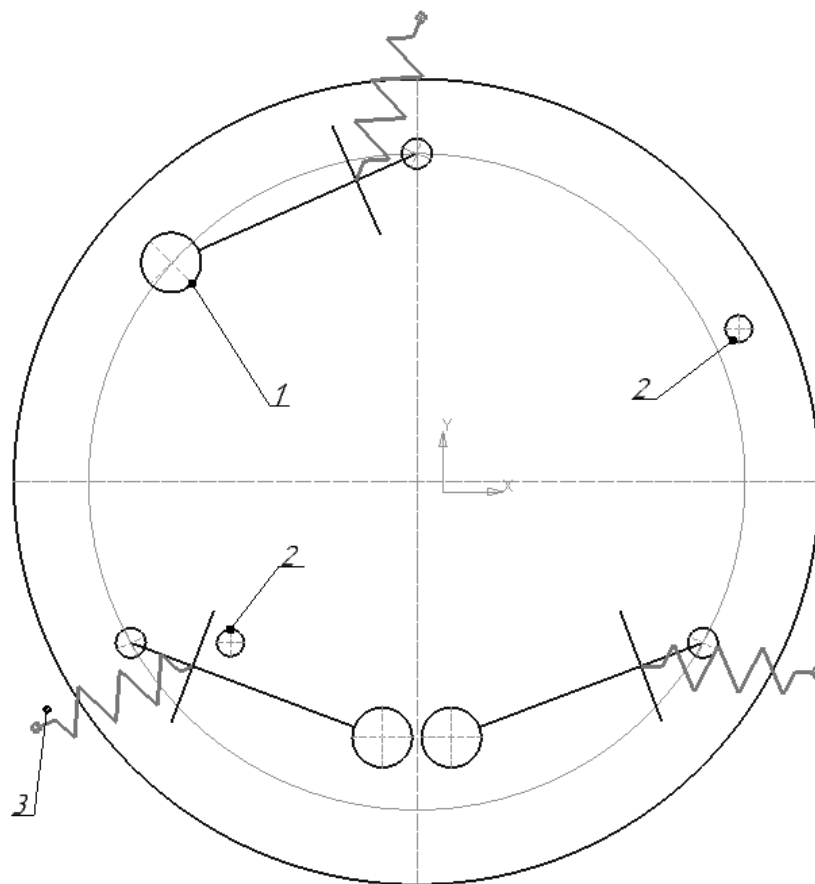


Рис. 3.4 - Модернізований масловиготовлювач, 2 варіант

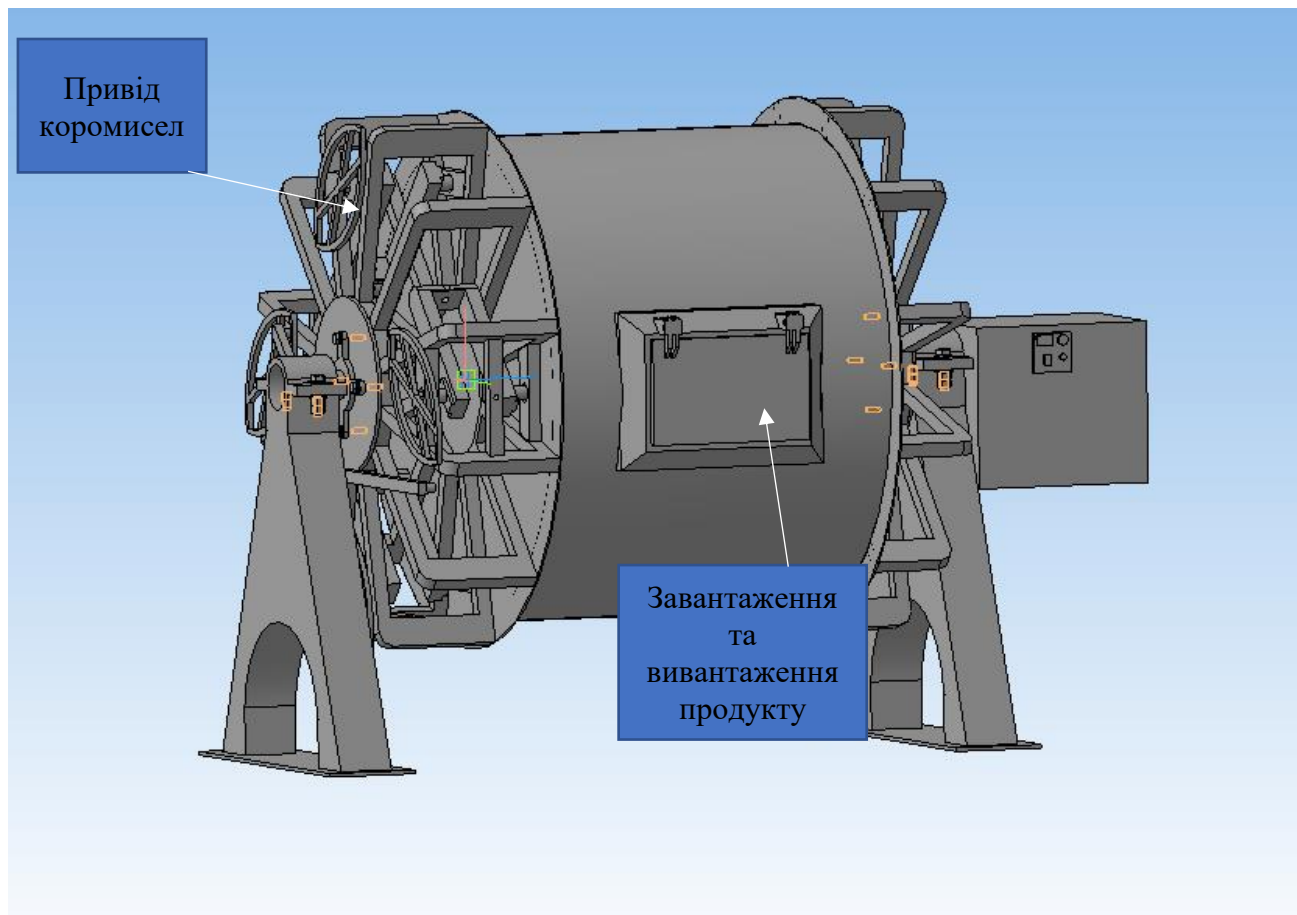
Також наведено варіант без важелів, що значно спростить механізм роботи за таким самим принципом дії.

Коромисло що обертається разом з барабаном, при обертанні, входить у зачеплення з пальцем 2 і починає обертатися навколо своєї вісі. Коли коромисло проходить кут 90 градусів, пружина 3 починає тягнути коромисло 1 і відбувається удар по поверхні вершків. За рахунок такого удосконалення підвищується інтенсивність турбулентних потоків в середині вершкового шару, що призводить до швидшого збивання жирових кульок в жирові згустки, а потім у масляну масу.

Завдяки удосконаленню ми отримуємо підвищення продуктивності масловиготовлювача ММ-1000 й видно, що при роботі обладнання затрачається така ж сама кількість енергії за рахунок встановлення черв'ячного редуктору замість клинопасової передачі, також ми встановлюємо менш потужний двигун на 2,5 кВт замість 4 кВт.

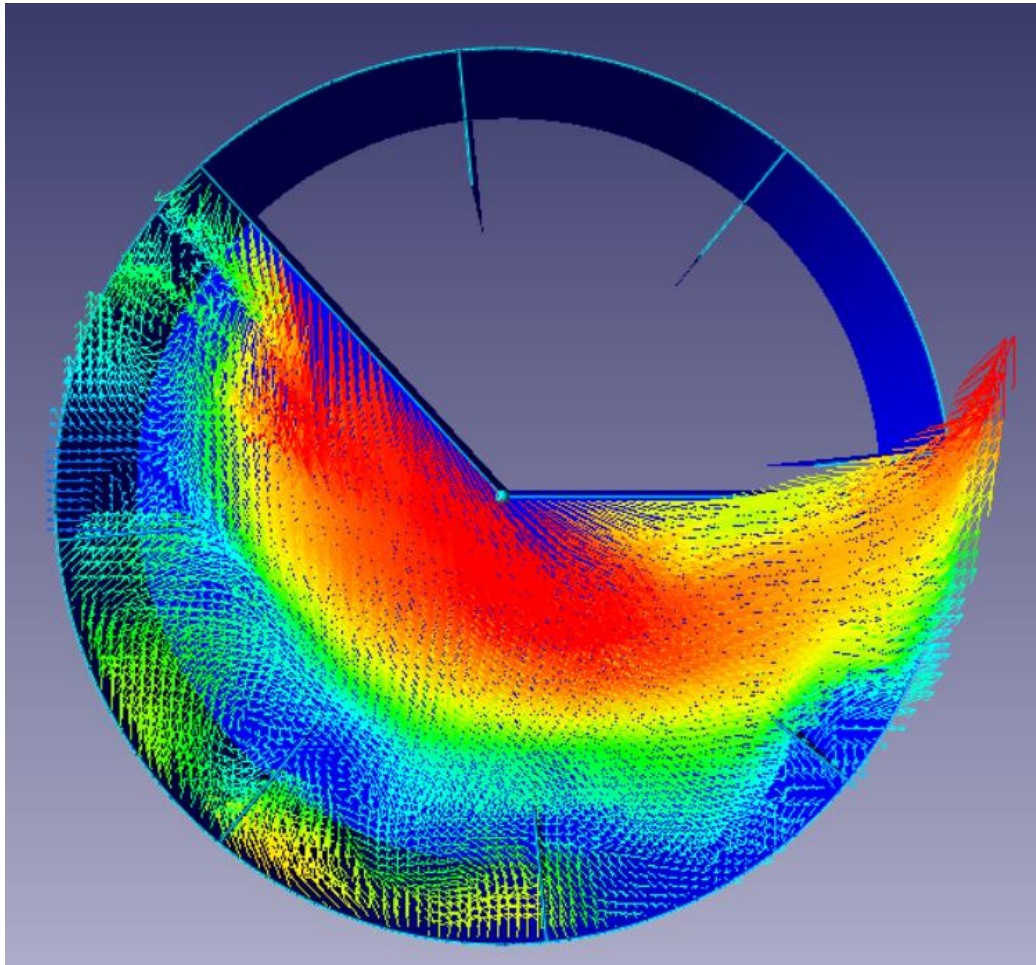
## 4. Дослідна частина

### 3D модель масловиготовлювача ММ-1000



**Рис. 4.1 Тривимірна модель масловиготовлювача ММ-1000, створена в пакеті програм Inventor**

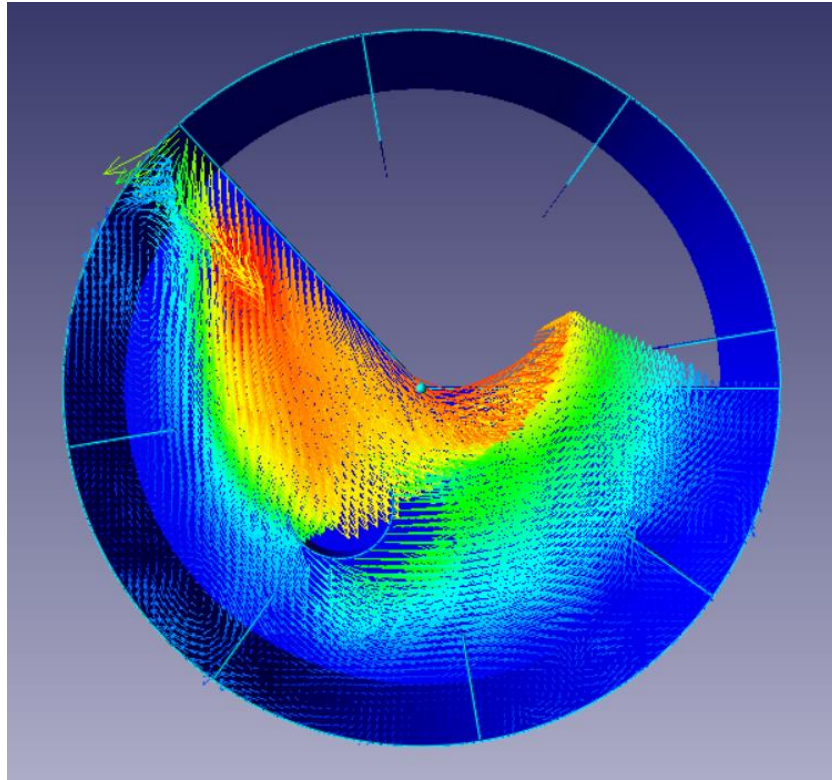
## 4.1 Результати імітаційного моделювання



**Рис. 4.2 Розподіл вершків у масловиготовлювачі**

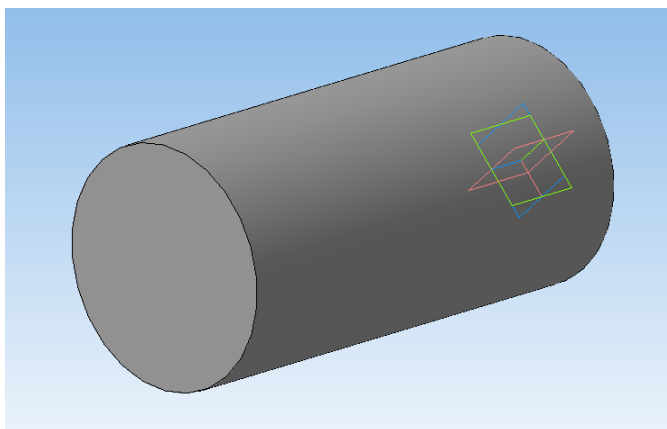
На рис. 4.2 показано масловиготовлювач до модернізації. Найбільші коливання швидкості помітні біля середини барабана, коли розподіл швидкості найменший біля периферії, що призводить до утворення застійних зон і нерівномірного формування масляних зерен.

Додаткові внутрішні елементи штучно додані для отримання картини розподілу швидкості вершків в випадку наявності внутрішніх перегородок різної довжини.

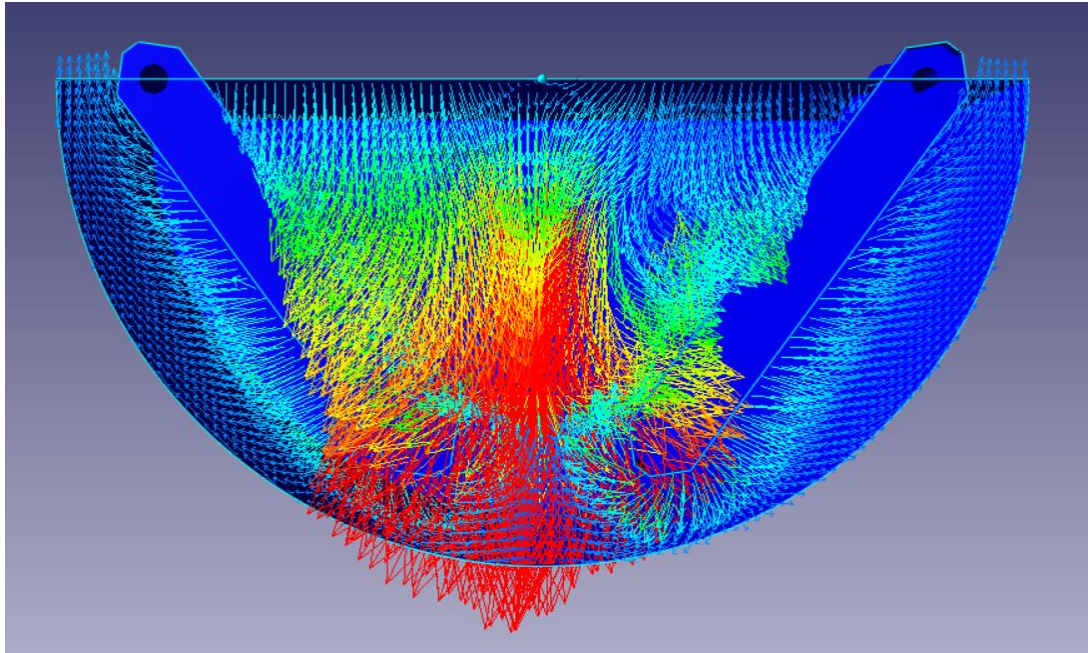


**Рис. 4.3 Розподіл швидкості руху вершків в модернізованому масловиготовлювачі, варіант з кулькоподібним елементом на гнучкому кріпленні**

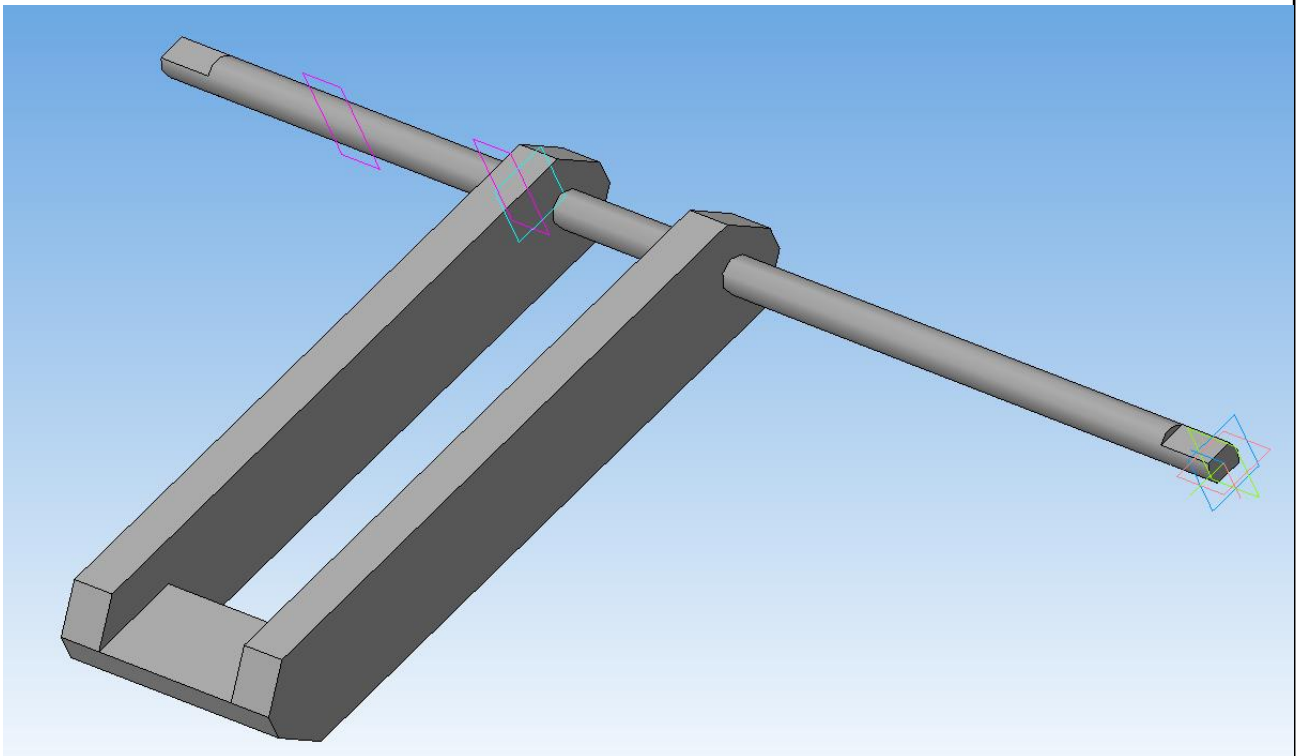
На рисунку 4.3 зображено обладнання після модернізації, ми можемо спостерігати, що після додавання додаткового елемента інтенсифікації створюються турбулентні потоки, які збільшують швидкість збивання вершків. Аналогічно додаткові внутрішні елементи штучно додані для отримання картини розподілу швидкості вершків в випадку наявності внутрішніх перегородок різної довжини.



**Рис. 4.4 Модель барабану**

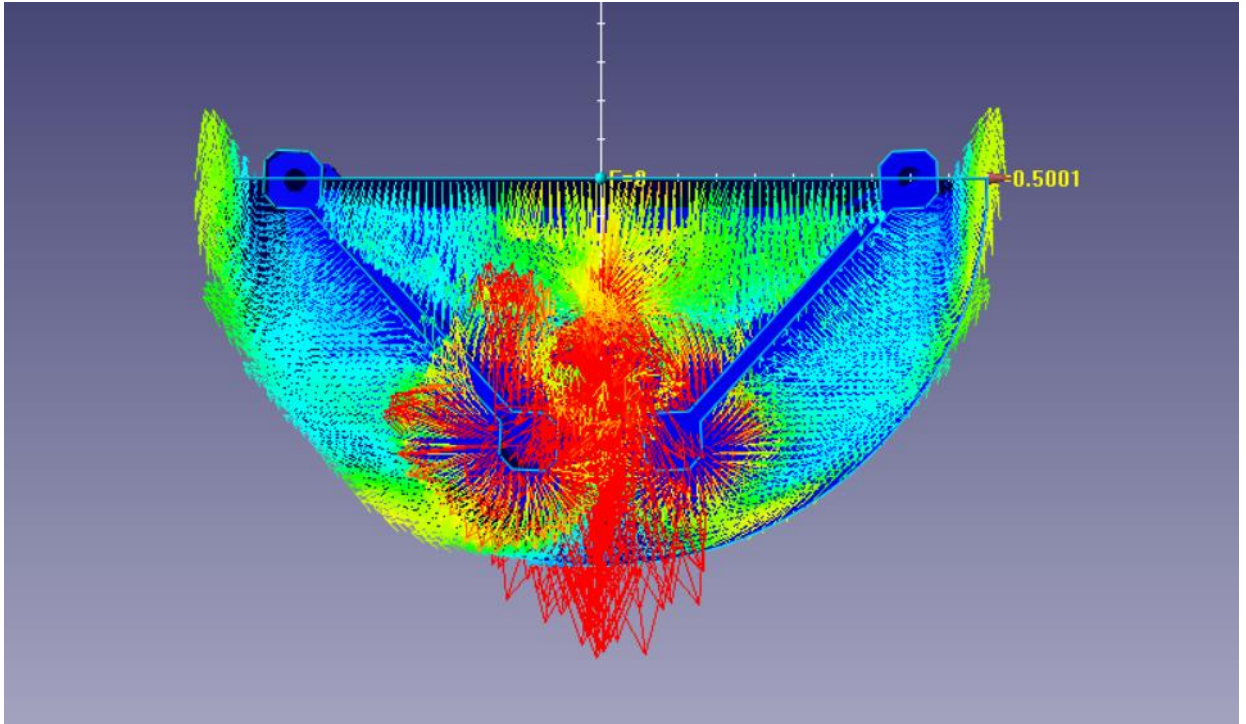


**Рис. 4.5 Розподіл швидкості руху вершків в модернізованому масловиготовлювачі, варіант з коромислами плоскої форми**

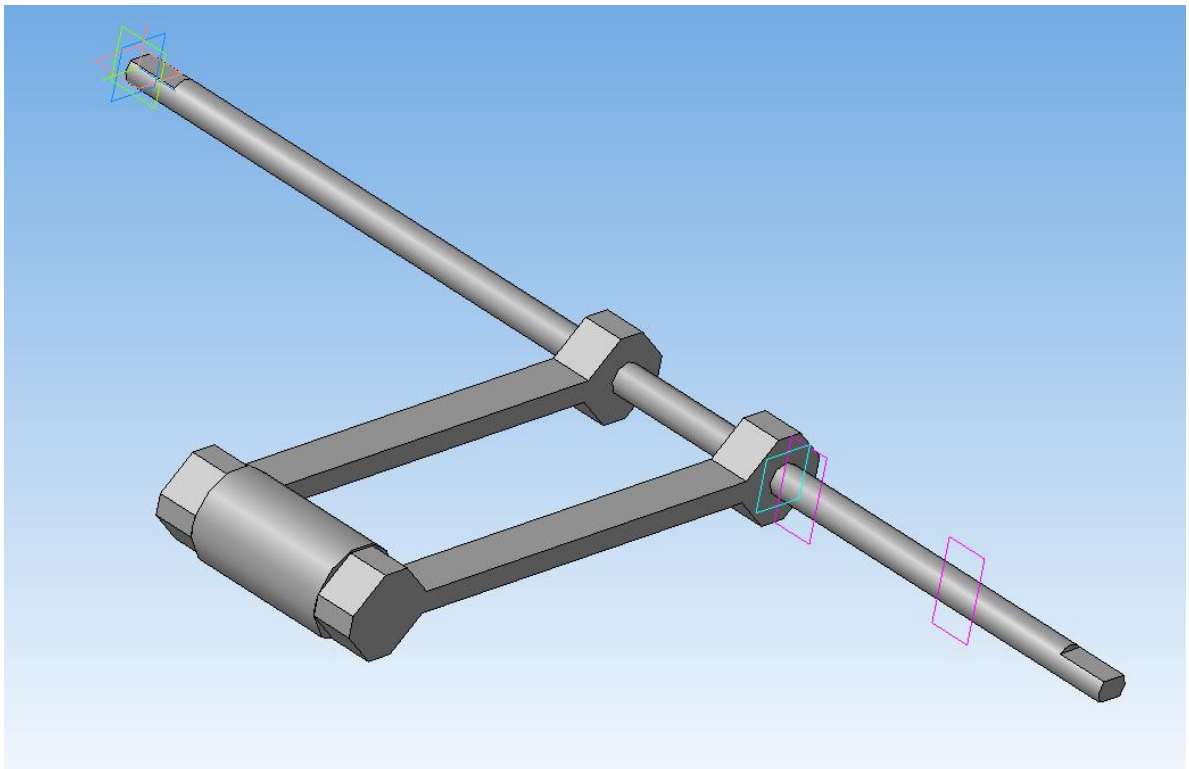


**Рис. 4.6 Коромисло плоскої форми**

Як видно з рис. 4.5, додаткові елементи інтенсифікації (коромисла), які встановлені всередині барабана, створюють значну кількість турбулентних потоків в товщі вершків, що призводить до швидшого формування масляних зерен і кращої однорідності масляного шару.



**Рис. 4.7 Розподіл швидкості руху вершків у модернізованому масловиготовлювачі, варіант з коромислами циліндричної форми**



**Рис. 4.8 Коромисло циліндричної форми**

На рис. 4.7 показано розподіл швидкості в товщі вершків в випадку циліндричної форми коромисел, як бачимо, такі коромисла завдяки своїй

формі дають набагато більш турбулентні потоки, що позитивно впливає на продуктивність обладнання.

Проаналізувавши дослідження [16], які порівнюють подібні удосконалення з базовими типами цього обладнання, можемо прогнозувати наступний ефект від модернізації.

Табл. 4.1.

### Порівняння очікуваної тривалості циклу виробництва масла в масловиготовлювачі ММ-1000 до та після модернізації



**Висновки:** На основі моделювання процесу отримання вершкового масла в модернізованому та стандартному масловиготовлювачі ММ-1000 доведено доцільність модернізації цього обладнання шляхом встановлення додаткових інтенсифікуючих елементів всередині барабана.

## 5. Підбір конструкційних матеріалів

Харчова промисловість вимагає ретельного вибору матеріалів для виготовлення деталей і обладнання. Матеріал має бути схвалений для контакту з харчовими продуктами. У тих вузлах, де немає контакту обладнання з продуктом, можна скористатися загальними правилами вибору конструкційних матеріалів.

Розвиток харчової промисловості, спрямований на скорочення ручної праці та збільшення виробництва якісно нового асортименту харчових продуктів, висуває підвищені вимоги до матеріалів, які використовуються в конструкції сучасних машин і апаратів для підприємств харчової промисловості. Специфіка різних галузей харчової промисловості вимагає використання міцних і надійних металів та інших матеріалів, що працюють в умовах високих температур, тисків, глибокого вакууму та агресивних середовищ.

Специфічні умови харчового виробництва: підвищена вологість, висока або низька температура, безпосередній контакт із харчовими та агресивними середовищами, абразивна дія деяких продуктів, висувають особливі вимоги до вибору матеріалів для харчового обладнання.

Матеріали, що використовуються в харчовому обладнанні, повинні відповідати загальним вимогам до матеріалів, що контактують з харчовими продуктами. Матеріали не повинні містити шкідливих для здоров'я людини елементів, вступати у хімічні реакції з харчовими продуктами, руйнуватися під впливом харчового середовища, мийних і дезінфекційних засобів, мастильних матеріалів.

Однією з основних вимог до матеріалів, що використовуються в харчовому обладнанні, є їхня висока корозійна стійкість.

Галузеві стандарти встановлюють обмеження на марки та асортимент

матеріалів, які використовуються в обладнанні для харчової промисловості, що дає змогу підвищити рівень уніфікації та технологічності машин і обладнання для харчової промисловості.

Під час вибору конкретного конструкційного матеріалу, що має контакт з харчовим середовищем, треба враховувати токсичність матеріалу, а також дозволу органів охорони здоров'я на його використання в безпосередньому контакті з конкретним технологічним середовищем переробного виробництва; корозійну стійкість під час впливу на матеріал реального харчового середовища, підвищених температур і тиску, а також мийних та дезінфекційних розчинів; механічну міцність під час виконання необхідних робочих циклів деталей машин, вузлів і механізмів; технологічність і міцність деталей, які використовуються у машинах і обладнаннях харчової промисловості; механічну міцність під час виконання необхідних робочих циклів деталей машин, вузлів і механізмів; технологічність.

Сталь марки Ст3 застосовується для зварних металоконструкцій у вигляді сортового, фасадного і листового прокату: балки, форми, обичайки, днища, корпуси посудин і посудин під тиском; некритичні шестерні, осі, вкладиші, втулки, важелі, гайки, шайби та інші малоцінні деталі, які не підлягають терміновій обробці, а також деталі, які цементують та ціанують та які вимагають високої твердості поверхні і низької міцності серцевини; ролики, штоки, штовхачі, шестерні.

«Харчова» нержавіюча сталь - це спеціальний матеріал стійкий до температурних перепадів, стійкий до окислення, безпечний при взаємодії з питною водою і харчовими продуктами, не розчиняється, не розкладається і, тим самим, не виділяє в їжу, воду небезпечні, шкідливі, токсичні елементи. Ця сталь міцна, довговічна та стійка до механічних пошкоджень. Такі властивості цієї групи нержавіючих сталей роблять їх практичними у регулярному догляді: очищенні та митті.

При приготуванні, зберіганні та транспортуванні харчових продуктів потрібно дотримуватися особливих вимоги - від них залежить життя та здоров'я людей. Особливе значення має температурний режим, обробка та технологія які використовуються, тара та упакування. Харчова нержавійка, що

біологічно та токсично є безпечною, стійкою до корозії - ідеально підійде для виробництва різного обладнання та ємностей.

Купуючи конкретний виріб чи якийсь матеріал, ми завжди повинні знати, наскільки вони безпечні та відповідають вимогам різних стандартів. Досить часто в стандартах на марочний лад таких нержавіючих сплавів "сталь нержавіюча харчова" окремо не виділяється, а ця продукція просто відноситься до типу загального призначення. Є чимало прикладів такого підходу. Так американський стандарт ASTM A240 / A240M (ASTM це Американське товариство з випробувань та матеріалів) обумовлює вимоги до хромонікелевих корозійностійких сталей для виготовлення посудин під тиском та для загального призначення в тому числі і для харчової промисловості.

Але існує ряд міжнародних стандартів, що поширюються на кінцеві вироби. Такі стандарти обумовлюють хімічний склад та інші параметри кінцевих виробів щодо конкретного застосування. Як приклад можна розглянути стандарт EN 10357 (DIN 11850) «Труби з корозійностійкої сталі для харчової, хімічної та фармацевтичної промисловості». Ним допускається використання для цих цілей лише марок X5CrNi18-10 (аналоги: AISI 304, EN 1.4301), X2CrNi18-9 (аналоги: X2CrNi19-11, AISI 304L, EN 1.4306, EN 1.4307) X2CrNiMo17-12-2 (аналоги: AISI 316L, EN 1.4435).

Для всіх деталей масловиготовлювача ММ-1000, які контактують з продуктом використовується Нержавіюча Сталь Марка AISI 202 | EN 1.4373 | DIN X12CrMnNi18-9-5

AISI 202 | EN 1.4373 - марка нержавіючої сталі яка широко використовується. Вона характеризується високою твердістю, міцністю і гарною корозійною стійкістю. Досить добре обробляються у відпаленому стані. Для повної трансформації та теплової обробки матеріал повинен бути розігрітий до температури 1038 °С протягом 30 хвилин, а потім охолоджується до рівня нижче 16 °С.

## 6. Розрахункова частина

### 6.1 Технологічний розрахунок

Кількість обертів барабану,  $n$ :

$$n = \frac{0.48}{\sqrt{D}} = \frac{0.48}{\sqrt{1.1}} = 0.45 \text{ об/с}$$

Кількість масла в барабані

$$m_M = \frac{m_c(\mathcal{J}c_c - \mathcal{J}c_n)}{\mathcal{J}c_M - \mathcal{J}c_n} = \frac{400(400 - 0,5)}{73 - 0,5} = 217,93 \text{ кг}$$

де  $m_c, m_M, m_{\Pi}$  – кількість вершків, масла і сколотини, кг

$\mathcal{J}c_c, \mathcal{J}c_M, \mathcal{J}c_{\Pi}$  – жирність вершків, масла і сколотини, %.

Об'єм вершків які завантажуються в барабан:

$$V_p = 0.785 D^2 L \eta_{\text{зп}} \eta_{\text{б}} = 0,785 \cdot 1,1^2 \cdot 1,65 \cdot 0,45 \cdot 0,8 = 0,56 \text{ м}^3$$

Продуктивність масловиготовлювача:

$$M_{\text{зп}} = \left( \frac{V \cdot \tau_{\text{зп}}}{\tau_{\text{ц}}} \right) \cdot \rho_M$$

$$M_{\text{зп}} = \left( \frac{1,0 \cdot 28800}{2920} \right) \cdot 997 = 9833 \text{ кг/зп}$$

Де  $V$  - місткість ємкості,  $\text{м}^3$ ;  $\tau_{\text{зп}}, \tau_{\text{ц}}$  - тривалість зміни і циклу, год;  $\rho_M$  - густина вершків,  $\text{кг/м}^3$ ;

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6$$

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6$  - час відповідно наповнення ємності вершками, збивання вершків, вивантаження маслянки, промивання, посолу, оброблення масла.

$$\tau_{\text{ц}} = 300 + 1800 + 180 + 120 + 120 + 200 = 2920 \text{ с}$$

Підвищення температури вершків в масловиготовлювачі

$$\Delta t = \frac{N_{\text{зп}} \eta_{\text{т}} \tau_1}{V_p} = \frac{3.46 \cdot 0.7 \cdot 2400}{0.56 \cdot 107.12} = 21^\circ \text{C}$$

Температура вершків в кінці процесу збивання

$$t_{\text{к}} = t_{\text{Н}} + \Delta t = 15 + 21 = 36^\circ \text{C}$$

де  $t_H$  - початкова температура вершків у барабані масловиготовлювача, °С.

## 6.2 Енергетичний розрахунок

Вихідні дані для розрахунку :

1. довжина коромисла  $L_H = 500$  мм;
2. радіус закріплення ножа  $R = 200$  мм;
3. робоча довжина барабану  $L = 1000$  мм;
4. товщина шару продукту  $\delta = 150 \dots 200$  мм;
5. частота обертання барабану  $n = 28$  об/хв;
6. напруження зрізання масла, тобто сила, яка потрібна для зрізання  $1 \text{ см}^2$  верхні кристалізованих вершків  $P = 0,015$  МПа.

Виходячи з відомих нам даних, спочатку знаходимо радіус зрізання пласта масла коромислом масловиготовлювача:

$$R_{\text{зріз}} = \sqrt{R^2 + L_H^2} = \sqrt{200^2 + 500^2} = 538,51 \text{ мм.}$$

Зусилля зрізання знаходимо за формулою :

$$F_{\text{зріз}} = L \times \delta \times R, \text{ (Н).}$$

Підставивши в дану формулу цифрові значення отримаємо :

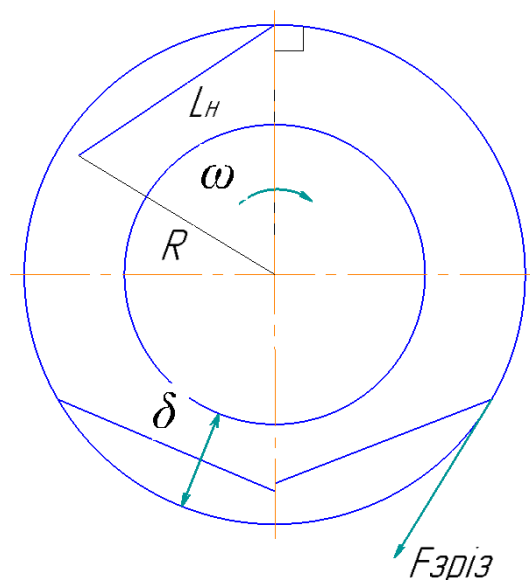
$$F_{\text{зріз}} = 1 \times 0,2 \times 53851 = 807,765 \text{ Н.}$$

Момент зрізання, який виникає на валу барабана при зрізанні коромислами масловиготовлювача шару кристалізованого вершкового масла визначаємо за формулою :

$$M_{\text{зріз}} = 2 \times F_{\text{зріз}} \times R_{\text{зріз}}, \text{ (Н}\cdot\text{м).}$$

Підставивши в цю формулу цифрові значення отримаємо значення моменту зрізання:

$$M_{\text{зріз}} = 2 \times 807,77 \times 0,538 = 869,155 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$



Потужність на валу барабана визначаємо за формулою :

$$N = M_{зріз} \times \omega , (\text{Вт});$$

де  $\omega$  - кутова швидкість барабана, яка в свою чергу буде дорівнювати :

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{3,14 \times 28}{30} = 2,83 \text{ рад/с.}$$

### 6.3 Розрахунок барабана масловиготовлювача на міцність

Барабан масловиготовлювача періодичної дії ММ-000 виготовлений з легованої сталі марки 12Х18Н10Т, зварної конструкції. Для надання барабану жорсткості в його внутрішній площині вварені ребра жорсткості у вигляді металевих пластин, які закріплені по всій довжині барабана. Розрахунок барабана проводимо при тиску 0,3 МПа.

З рівняння Лапласа для тонкостінної циліндричної посудини можна знайти товщину стінки циліндра, який під даним тиском не буде деформуватися [7]:

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{P}{\delta} ,$$

де  $\sigma$  - напруження на стиск матеріалу барабана, МПа;

**R** – зовнішній радіус циліндра, м;

**P** – внутрішній тиск, який діє на барабан, Па;

**δ** - товщина стінки циліндра, м.

Знаходимо розрахункову товщину стінки витискувального барабана за формулою:

$$\delta' = \frac{P \times D_{\text{вн}}}{2 \times \beta \times [\sigma]_{\text{ст}}}, \text{ мм};$$

де  $P$  – внутрішній тиск, який діє на барабан;

$D_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр барабана,  $D_{\text{вн}} = 1000$  мм. ;

$\delta$  - коефіцієнт міцності зварного шва,  $\delta = 0,9$ ;

$[\sigma]_{\text{ст}}$  – допустимі напруження на стиск матеріалу барабана [7] :

$$[\sigma]_{\text{ст}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{n},$$

де  $n$  – коефіцієнт запасу міцності;

$\sigma_{\text{в}}$  - тимчасова межа міцності матеріалу,  $\sigma_{\text{в}} = 400$  МПа.

$$[\sigma]_{\text{ст}} = \frac{400}{2} = 200 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки барабану буде дорівнювати :

$$\delta' = \frac{0,3 \times 10^6 \times 1000}{2 \times 0,9 \times 200 \times 10^6} = 0,3 \times 10^{-3} \text{ м} = 3 \text{ мм.}$$

Виходячи з того, що дійсна товщина стінки барабана буде складатися з припусків на корозію та ерозію, приймаємо товщину стінки барабана 2,5 мм. Товщина стінки барабана,  $\delta_{\text{дійсне}} = 2.5$  мм., забезпечує надійну роботу машини під тиском 0,3 МПа а також допускає незначні перевищення тиску при роботі апарата.

#### 6.4 Кінематичний і силовий розрахунок приводу та вибір електродвигуна

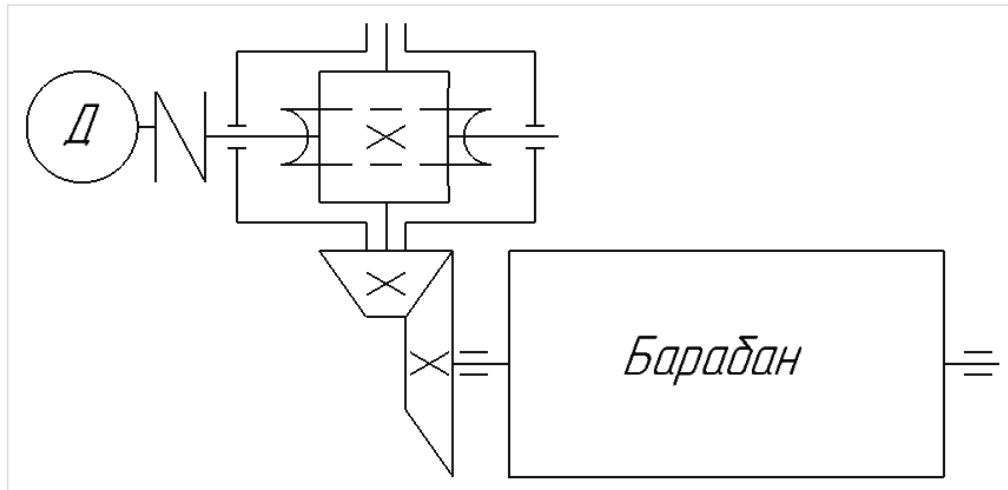
##### Вихідні дані:

Крутний момент,  $M_{\text{вих}} = 0,87$  кН·м

Частота обертання,  $n_{\text{вих}} = 28$  хв<sup>-1</sup>

Термін служби 5 років

Число робочих змін за добу – 2



Ескіз приводу масловичого вальцю Рис.6.1

Потужність на вихідному валу привода:

$$N_{вих} = M_{вих} \cdot \omega_{вих} ,$$

де  $M_{вих}$  – крутний момент на вихідному валу;

$$M_{вих} = 0,87 \text{ кН}\cdot\text{м ( з технічного завдання)}$$

$n_{вих}$  – частота обертів вихідного валу,

$$n_{вих} = 28 \text{ хв}^{-1} \text{ (з технічного завдання)}$$

$$\text{Тоді } N_{вих} = 869,155 \cdot 2,83 = 2459,7 \text{ Вт} = 2,459 \text{ кВт}$$

2. Розрахункова потужність на валу двигуна:

$$N_{дв.розр} = \frac{N_{вих}}{\eta_{прив}}$$

де  $\eta_{прив}$  – коефіцієнт корисної дії привода

$$\eta_{прив} = \eta_{муф} \cdot \eta_{черв} \cdot \eta_{кон} \cdot \eta_{п.підш.}^2$$

де  $\eta_{муф}$  – коефіцієнт корисної дії муфти

$$\eta_{муф} = 0,99 \quad (2, \text{ стор. 15, табл. 1.1})$$

$\eta_{черв}$  – коефіцієнт корисної дії закритої черв'ячної передачі

$$\eta_{черв} = 0,83 \quad (2, \text{ стор. 15, табл. 1.1})$$

$\eta_{кон}$  – коефіцієнт корисної дії відкритої конічної передачі

$$\eta_{кон} = 0,92 \quad (2, \text{ стор. 15, табл. 1.1})$$

$\eta_{п.підш.}$  – коефіцієнт корисної дії пари підшипників

$$\eta_{п.підш.} = 0,993 \quad (2, \text{ стор. 15, табл. 1.1})$$

$$\eta_{прив} = 0,99 \cdot 0,83 \cdot 0,92 \cdot 0,993^2 = 0,745$$

$$\text{Тоді } N_{дв.розр} = \frac{2459}{0,745} = 3301,62 \text{ Вт}$$

З каталогу обираємо трьохфазний асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором – 4А80В4УЗ.

$$N_{\text{дв.кат.}} \geq N_{\text{дв.розр.}} \quad N_{\text{дв.кат.}} \approx N_{\text{дв.розр.}}$$

Характеристики двигуна:

$$N_{\text{дв.кат.}} = 1,5 \text{ кВт}$$

$$\frac{T_{\text{пуск}}}{T_{\text{ном}}} = 2,0$$

$$\frac{T_{\text{макс}}}{T_{\text{ном}}} = 2,2$$

$$n_{\text{дв.асинхр.}} = 1415 \text{ хв}^{-1}$$

$$\eta_{\text{дв}} = 77,0\%$$

$$\cos \varphi = 0,83$$

Передаточне число привода:

$$u_{\text{прив}} = \frac{n_{\text{двиг}}}{n_{\text{вих}}} = \frac{1415}{28} = 50,53$$

Передаточні числа окремих ступенів привода

$$u_{\text{прив}} = u_{\text{черв.}} \cdot u_{\text{кон.}} ;$$

$$u_{\text{черв.}} = 20 \text{ (за ДСТУ 21426-75[2, стор.56] )}$$

Передаточне число закритої зубчастої передачі:

$$u_{\text{кон.}} = \frac{u_{\text{прив}}}{u_{\text{черв}}} = \frac{50,53}{20} = 1,8$$

Потужності на окремих валах привода:

$$N_1 = N_{\text{дв.розр.}} = 1488 \text{ Вт}$$

$$N_2 = N_1 \cdot \eta_{\text{муф}} = 1488 \cdot 0,99 = 1475 \text{ Вт}$$

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_{\text{черв.}} \cdot \eta_{\text{п.підш.}} = 1475 \cdot 0,83 \cdot 0,993 = 1216 \text{ Вт}$$

$$N_4 = N_3 \cdot \eta_{\text{кон.}} \cdot \eta_{\text{п.підш.}} = 1216 \cdot 0,92 \cdot 0,993 = 1111 \text{ Вт}$$

Частота обертання валів привода:

$$n_1 = n_{\text{дв.асинх.}} = 1415 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_2 = n_1 = 1415 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{u_{\text{черв.}}} = \frac{1415}{28} = 50,53 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_4 = \frac{n_3}{u_{\text{кон.}}} = \frac{50,53}{1,8} = 28 \text{ хв}^{-1}$$

Кутові швидкості на окремих валах привода:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1415}{30} = 148,1c^{-1}$$

$$\omega_2 = \omega_1 = 148,1c^{-1}$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{u_{черв}} = \frac{148,1}{28} = 5,28c^{-1}$$

$$\omega_4 = \frac{\omega_3}{u_{кон.}} = \frac{5,28}{1,8} = 2,93c^{-1}$$

Крутні моменти на валах привода:

$$M_1 = \frac{N_1}{\omega_1} = \frac{1488}{148,1} = 10,05H \cdot m$$

$$M_2 = T_1 \cdot \eta_{муф} = 10,05 \cdot 0,99 = 9,95H \cdot m$$

$$M_3 = M_2 \cdot u_{черв} \cdot \eta_{черв} \cdot \eta_{п.підш.} = 9,95 \cdot 28 \cdot 0,83 \cdot 0,993 = 229,61H \cdot m$$

$$M_4 = M_3 \cdot u_{кон.} \cdot \eta_{кон.} \cdot \eta_{п.підш.} = 229,61 \cdot 1,8 \cdot 0,92 \cdot 0,993 = 377,58H \cdot m$$

Таблиця кінематичних і силових параметрів привода

Таблиця 6.1

Номер вала	N, кВт	n, об/хв	$\omega$ , $c^{-1}$	T, Н·м	u
1	1,49	1415	148,1	10,05	
2	1,475	1415	148,1	9,95	28
3	1,216	50,53	5,28	229,61	1.8
4	1,111	27,99	2,93	377,58	

### 6.5. Вибір матеріалу черв'яка і черв'ячного колеса.

За табл. обираємо матеріал черв'яка та вінця черв'ячного колеса. Приймаємо для черв'яка сталь 45 загартовану до твердості 45...50 HRC і послідовним шліфуванням витків. Матеріал вінця колеса Бр.АЖ9-4 (вилівка в пісок) з механічними властивостями  $\sigma_T = 200$  МПа;  $\sigma_B = 400$  МПа.

Приймаємо число заходів черв'яка  $z_1 = 2$ .

Крутний момент на валу колеса  $T_3 = 163,96$  Н/м

Орієнтовна швидкість ковзання :

$$V_c = 0,0004 \cdot n_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_3}{1000}} = 0,0004 \cdot 1415 \cdot \sqrt[3]{\frac{163,96 \cdot 10^3}{1000}} = 3,1m/c$$

При даній швидкості по табл. 3.35 ст.91 [1] потрібна ступінь точності 8-ма.

Допустиме контактне напруження

$$[\sigma_H] = 300 - 25 \cdot v_c = 300 - 25 \cdot 3,1 = 222,5 \text{ МПа} .$$

Допустиме контактне напруження при розрахунку на дію максимального навантаження:

$$[\sigma_{HM}] = 2\sigma_T = 2 \cdot 200 = 400 \text{ МПа} .$$

Допустиме напруження згину при базовому числі зміни напружень  $N_{FO}=10^6$  для нереверсивного навантаження:

$$[\sigma_F]_0^0 = 102 \text{ МПа} .$$

Сумарне число циклів навантажень:

$$t_\Sigma = 8 \cdot c \cdot 365 \cdot L \cdot k_p \cdot k_{доб}$$

$c$  – число робочих змін;

$L$  – термін служби;

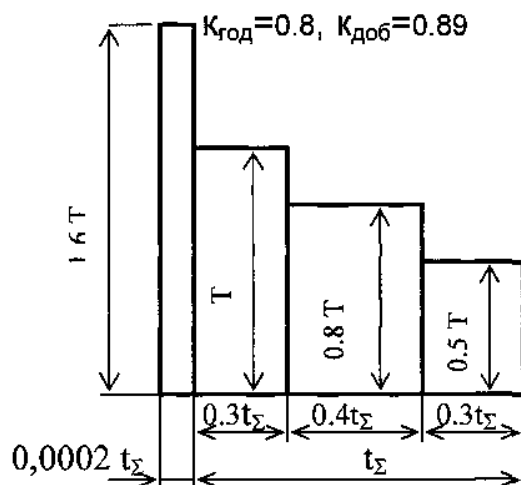
$k_p$  - річний коефіцієнт;

$k_{доб}$  - добовий коефіцієнт;

$$t_\Sigma = 8 \cdot 2 \cdot 365 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 0,89 = 20790,5 \text{ год}$$

$$t_{екв} = t_\Sigma \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_i}{T} \right)^3 \cdot \frac{t_i}{t_\Sigma} = 20790,5 \cdot \left( 1^3 \cdot 0,3 + 0,8^3 \cdot 0,4 + 0,5^3 \cdot 0,3 \right) = 11274,69 \text{ год}$$

$$N_\Sigma = 60 \cdot n_2 \cdot t_\Sigma = 60 \cdot 1415 \cdot 11274,69 = 957,22 \cdot 10^6 \text{ циклів}$$



Коефіцієнт довговічності :

$$K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{N_{FO}}{N_{\Sigma}}} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{957,22 \cdot 10^6}} = 0,47$$

Приймаємо  $K_{FL} = 1,0$

Допустиме напруження на згин :

$$[\sigma_F] = [\sigma_F]_0 \cdot K_{FL} = 102 \cdot 1,0 = 102 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження на згин при розрахунку на дію  
максимального навантаження:

$$[\sigma_{FM}] = 0,8 \cdot [\sigma_m] = 0,8 \cdot 200 = 160 \text{ МПа}$$

Число зубців черв'ячного колеса

$$z_2 = Z_1 \cdot U = 2 \cdot 20 = 40$$

$28 \leq z_2 \leq 80$  – умова виконується.

Коефіцієнт діаметра черв'яка визначаємо за формулою:

$$q = 0,25 \cdot z_2 = 0,25 \cdot 40 = 10,$$

що відповідає стандартному значенню  $q$ .

Коефіцієнт, який враховує розподілення навантаження по ширині  
вінця:

$$K_{H\beta} = K_{\beta} = 1,0$$

Коефіцієнт, який враховує динамічне навантаження:

$$K_{H\nu} = 0,3 + 0,1 \cdot n + 0,02 \cdot v_c = 0,3 + 0,1 \cdot 8 + 0,02 \cdot 3,1 = 1,162$$

Знаходимо міжосьову відстань передачі із умови контактної  
витривалості:

$$a_{\sigma} = \left( \frac{z_2}{q} + 1 \right) \sqrt[3]{ \left( \frac{170}{[\sigma_H] \cdot \frac{z_2}{q}} \right)^2 \cdot T_3 \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} } = \left( \frac{40}{10} + 1 \right) \sqrt[3]{ \left( \frac{170}{222,5 \cdot \frac{40}{10}} \right)^2 \cdot 163,96 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 1,162 } = 94,5 \text{ мм.}$$

Модуль зачеплення :

$$m = \frac{2 \cdot a_{\sigma}}{z_2 + q} = \frac{2 \cdot 94,5}{40 + 10} = 3,816 \text{ мм}$$

Приймаємо по стандарту  $m = 4,0$  мм, (табл. 12 ст.254 [1])

За стандартного модуля міжосьова відстань

$$a_{\sigma} = \frac{m \cdot (z_2 + q)}{2} = \frac{4 \cdot (40 + 10)}{2} = 100 \text{ мм}$$

Із табл. обираємо кут підйому черв'яка  $\gamma = 11^{\circ} 18' 36''$ .

Ділильні діаметри:

черв'яка:  $d_{\omega 1} = q \cdot m = 10 \cdot 4 = 40 \text{ мм};$

колеса:  $d_{\omega 2} = m \cdot z_2 = 4 \cdot 40 = 160 \text{ мм}$

Розрахункова швидкість ковзання

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_{\omega 1} \cdot n_2}{60000 \cdot \cos \gamma} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 1415}{60000 \cdot 0,98058} = 3,0 \text{ м/с.}$$

При швидкості  $v_c = 3,0$  м/с допустиме контактне напруження

$$[\sigma_H] = 300 - 25 \cdot v_c = 300 - 25 \cdot 3,0 = 225 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт динамічного навантаження при  $V_c = 3,0$  м/с і 8-й степені точності

$$K'_{H\alpha} = 0,3 + 0,1 \cdot n + 0,02 \cdot v_c = 0,3 + 0,1 \cdot 8 + 0,02 \cdot 3,04 = 1,16$$

Приведений кут тертя при роботі бронзового колеса у парі зі сталевим черв'яком при  $V_c = 3,0$  м/с —  $\varphi' = 1^{\circ} 75'$

ККД передачі

$$\eta = (0,95 \dots 0,96) \cdot \frac{\text{tg} \gamma}{\text{tg}(\gamma + \varphi')} = 0,955 \cdot \frac{\text{tg} 11^{\circ} 18' 36''}{\text{tg}(11^{\circ} 18' 36'' + 1^{\circ} 75')} = 0,955 \frac{0,19995}{(0,19995 + 0,0393)} = 0,8$$

По уточненим параметрам перевіряємо контактне навантаження

$$\begin{aligned}\sigma_H &= \frac{170}{\frac{z_2}{q}} \cdot \sqrt{\left(\frac{z_2+1}{aw}\right)^3 \cdot T_3 \cdot K_{H\beta} \cdot K'_{Hv}} = \\ &= \frac{170}{\frac{40}{10}} \cdot \sqrt{\left(\frac{40+1}{100}\right)^3 \cdot 163,96 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 1,16} = 207,22 \text{ МПа}\end{aligned}$$

Перевіряємо контактну витривалість зуба колеса при дії  
максимального навантаження

$$\sigma_H = \sigma_H \sqrt{\frac{T_{M2}}{T_2}} = 207,22 \cdot \sqrt{1,6} = 262,1 \text{ МПа}$$

Перевіряємо витривалість зубів черв'ячного колеса на згин

$$Z \vartheta = \frac{z_2}{\cos^3 \gamma} = \frac{40}{0,98058^3} = 42$$

Коефіцієнт форми зуба колеса приймаємо  $Y_F = 1,51$  (табл. 3.28 ст.  
87,[1])

Напруження згину визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned}\sigma_F &= \frac{2 \cdot T_3 \cdot \cos \gamma}{1,2 \cdot d_{\omega 1} \cdot d_{\omega 2} \cdot m} \cdot Y_F \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} = \frac{2 \cdot 163,96 \cdot 10^3 \cdot 0,98056}{1,2 \cdot 160 \cdot 40 \cdot 4} \cdot 1,51 \cdot 1,0 \cdot 1,16 = \\ &= 18,3 \text{ МПа} < [\sigma_F] = 102 \text{ МПа}\end{aligned}$$

де  $K_{F\beta} = 1,0$ ;  $K_{Fv} = 1,16$

Перевіряємо витривалість зуба на згин при дії максимального  
навантаження

$$\sigma_{FM} = \sigma_F \frac{T_{M2}}{T_2} = 18,3 \cdot 1,6 = 29,28 \text{ МПа}$$

29,28 МПа < 160 МПа

Остаточно приймаємо параметри передачі :  $z_1=2$ ;  $z_2=40$ ;  $d_{\omega 1} = 40 \text{ мм}$ ;  
 $d_{\omega 2} = 160 \text{ мм}$ ;  $a_{\omega} = 100 \text{ мм}$ .

Рекомендована в'язкість масла при швидкості

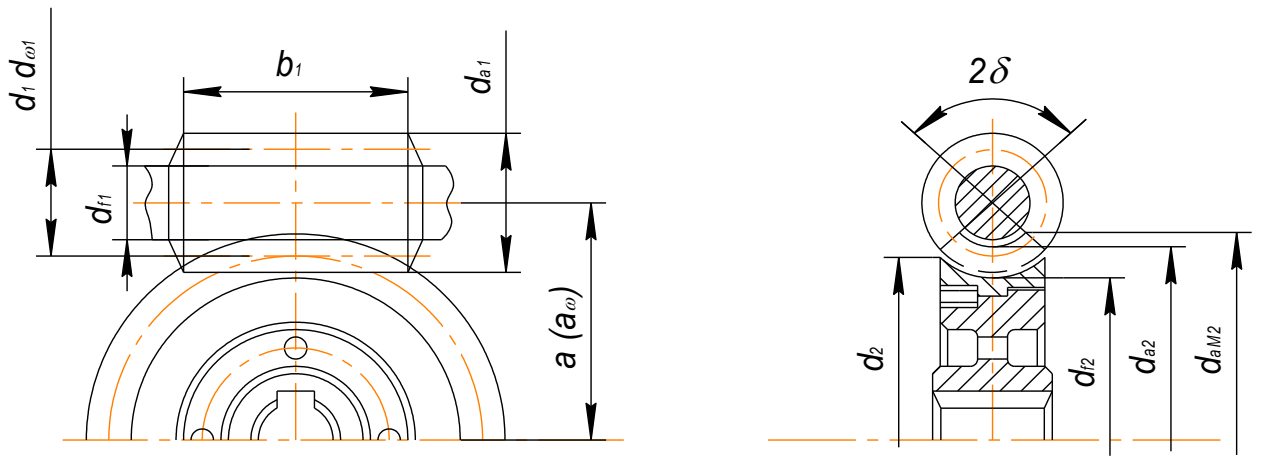
3,0 м/с,  $\nu_{100} = 23 \text{ сСт}$  (або  $10^6 \text{ м}^2/\text{с}$ ).

Приймаємо масло авіаційне МК22.

Повний геометричний розрахунок черв'яка і колеса визначаються по формулам, які наведені у таблиці 6.2:

Таблиця 6.2

Параметри	Позначення	Розрахункові формули
Число зубів черв'ячного колеса	$z_2$	$z_2 = 40$
Ділильна міжосьова відстань	$a$	$a = 0,5(z_2 + q) m = 0,5(40 + 10)4 = 100$
Коефіцієнт зміщення черв'яка	$x$	$x = \frac{a_\omega}{m} - 0,5(z_2 + q) = \frac{100}{4} - 0,5(40 + 10) = 0$
Міжосьова відстань	$a_\omega$	$a_\omega = 0,5(z_2 + q + 2x) m = 0,5(40 + 10 + 0)4 = 100$
Ділильний діаметр: черв'яка колеса	$d_1$ $d_2$	$d_1 = q m = 10 \cdot 4 = 40$ $d_2 = z_2 m = 40 \cdot 4 = 160$
Початковий діаметр черв'яка	$d_{\omega 1}$	$d_{\omega 1} = (q + 2x) m = 10 \cdot 4 = 40$
Ділильний кут підйому	$\gamma$	$tg \gamma = \frac{z_1}{q} = \frac{2}{10} = 0,2$
Початковий кут підйому	$\gamma_\omega$	$tg \gamma_\omega = \frac{z_1 \cdot m}{d_{\omega 1}} = \frac{2 \cdot 4}{40} = 0,2 \quad \gamma_\omega = 11^\circ 18' 36''$
Діаметр вершин: витків черв'яка зубів колеса	$d_{a1}$ $d_{a2}$	$d_{a1} = d_1 + 2 m = 40 + 2 \cdot 4 = 48$ $d_{a2} = d_2 + 2(1 + x) m = 160 + 2 \cdot 1 \cdot 4 = 168$
Діаметр впадин: витків черв'яка зубів колеса	$d_{f1}$ $d_{f2}$	$d_{f1} = d_1 - 2(1 + c) m = 40 - 2(1 + 0,2)4 = 30,4$ $d_{f2} = d_2 - 2(1 + c) m + 2xm = 160 - 2(1 + 0,2)4 + 0 = 150,4$
Найбільший діаметр черв'ячного колеса	$d_{am2}$	$d_{am2} \leq d_{a2} + \frac{6m}{z_1 + 2} = 168 + \frac{6 \cdot 4}{2 + 2} = 174$
Довжина нарізаної частини черв'яка	$b_1$	$b_1 \geq (11 + 0,06z_2) m = (11 + 0,06 \cdot 40)4 = 53,6$
Щиринна вінця черв'ячного колеса	$b_2$	$b_2 \leq 0,75d_{a1} = 0,75 \cdot 48 = 36$ при $z_1 \leq 3$
Условний кут обхвата	$2\delta$	$\sin \delta = \frac{b_2}{d_{a1} - 0,5m} = \frac{36}{48 - 0,5 \cdot 4} = 0,7826$



Ескіз черв'ячного редуктора Рис.6.3

### 6.6. Розрахунок конічної зубчастої передачі.

**Вибираємо матеріал і допустимі напруження для шестерні і колеса:**

Для виготовлення шестерні та колеса вибираємо матеріал Сталь 45, термообробка – нормалізація;

Для колеса:  $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_T = 450 \text{ МПа}$ ,  $225 \text{ HB}_2$ ;

Для шестерні:  $\sigma_B = 600 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_T = 340 \text{ МПа}$ ,  $190 \text{ HB}_1$  ;

6.4.2. Визначаємо допустимі напруження згину для шестерні:

$$[\sigma_{F_1}] = \frac{\sigma_{F \lim 1}}{S_F} Y_S Y_R$$

Попередньо межа витривалості зубів при згині, відповідну еквівалентному

числу змін напруги:

$$\sigma_{F \lim 1} = \sigma_{F \lim b1}^0 K_{FC} K_{FL_1},$$

де  $\sigma_{F \lim b1}^0$  - межа витривалості зубів при згині, відповідна базовому числу змін напруги

$$\sigma_{F \lim b1}^0 = 1,8 \text{ HB}_1 = 1,8 \cdot 190 = 342 \text{ МПа};$$

$K_{FC}$  - коефіцієнт, який враховує дію двостороннього прикладання навантаження, для нереверсивної передачі вибираємо його рівним одиниці ( $K_{FC} = 1$ ), (табл. 3.20,

ст. 79, [1]);

$K_{FL_1}$  - коефіцієнт довговічності, який розраховується за формулою:

$$K_{FL_1} = m_F \sqrt{\frac{N_{FO}}{N_{FE_1}}},$$

де  $m_F$  - показник ступеню кривої витривалості при згині, для зубів з шліфованою перехідною поверхнею ( $m_F = 6$ );

$N_{FO}$  - базове число циклів змін напруги, для сталей  $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$ , (ст.77, [1]);

$$t_{\Sigma} = 8 \cdot c \cdot 365 \cdot L \cdot k_p \cdot k_{доб}$$

$c$  – число робочих змін;

$L$  – термін служби;

$k_p$  - річний коефіцієнт;

$k_{доб}$  - добовий коефіцієнт;

$$t_{\Sigma} = 8 \cdot 2 \cdot 365 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 0,89 = 20790,5_{год}$$

$$t_{екв} = t_{\Sigma} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_i}{T} \right)^3 \cdot \frac{t_i}{t_{\Sigma}} = 20790,5 \cdot \left( 1^3 \cdot 0,3 + 0,8^3 \cdot 0,4 + 0,5^3 \cdot 0,3 \right) = 11274,69_{год}$$

$N_{FE1}$  - еквівалентне число циклів змін напруги при змінній нарузі:

$$N_{FE1} = 60 \cdot n_3 \cdot t_{\Sigma} = 60 \cdot 70,75 \cdot 11274,69 = 47,86 \cdot 10^6_{циклів}$$

$$K_{FL1} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE1}}} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{47,86 \cdot 10^6}} = 0,66$$

Приймаємо  $K_{FL1} = 1,0$ , оскільки  $N_{FE1} > N_{FO}$  ( $47,86 \cdot 10^6 > 4 \cdot 10^6$ )

$$\sigma_{F_{lim1}} = \sigma_{F_{limbl}}^0 K_{FC} K_{FL1} = 342 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 342 МПа$$

Коефіцієнт безпеки  $S_F$  визначаємо за формулою:

$$S_F = S'_F S''_F,$$

$S'_F$  - коефіцієнт, який враховує нестабільність характеристик матеріалу ( $S'_F = 1,75$ ),  $S''_F$  - коефіцієнт, який враховує спосіб отримання заготовки і умови експлуатації передачі  $S''_F = 1,5$ .

$$S_F = S'_F S''_F = 1,75 \cdot 1,5 = 2,625$$

Коефіцієнт  $Y_S$  враховує чутливість матеріалу до концентрації напруги в функції від модуля зачеплення. При проектному розрахунку враховуючи те що модуль невідомий  $Y_S = 1,0$ . Коефіцієнт  $Y_R$  враховує шорсткість перехідної поверхні зуба

в залежності від способу обробки. Для зубофрезерування з шорсткістю не більше Rz40  $Y_R = 1,0$ .

Тоді

$$[\sigma_{F1}] = \frac{342}{2,625} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 130,3 МПа$$

Визначаємо допустимі напруження згину для колеса:

$$[\sigma_{F_2}] = \frac{\sigma_{F \lim 2}}{S_F} Y_S Y_R$$

Межа витривалості зубів при згині, відповідна еквівалентному числу змін напруги:

$$\sigma_{F \lim 2} = \sigma_{F \lim b 2}^0 K_{FC} K_{FL_2},$$

де  $\sigma_{F \lim b 2}^0$  - межа витривалості зубів при згині, відповідна базовому числу змін напруги

$$\sigma_{F \lim b 2}^0 = 1,8 HB_2 = 1,8 \cdot 225 = 405 \text{ МПа};$$

$K_{FC}$  - коефіцієнт, який враховує дію двостороннього прикладання навантаження,

для нереверсивної передачі вибираємо його рівним одиниці ( $K_{FC} = 1$ );

$K_{FL_2}$  - коефіцієнт довговічності, який розраховується за формулою:

$$K_{FL_2} = m_F \sqrt{\frac{N_{FO}}{N_{FE_2}}},$$

де  $m_F$  - показник ступеню кривої витривалості при згині, для зубів з шліфованою перехідною поверхнею ( $m_F = 6$ );

$N_{FO}$  - базове число циклів змін напруги, для сталей  $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$ ;

$N_{FE_2}$  - еквівалентне число циклів змін напруги при змінній нарузі:

$$t_{\Sigma} = 8 \cdot 2 \cdot 365 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 0,89 = 20790,5 \text{ год}$$

$$t_{\text{екв}} = t_{\Sigma} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_i}{T} \right)^3 \cdot \frac{t_i}{t_{\Sigma}} = 20790,5 \cdot \left( 1^3 \cdot 0,3 + 0,8^3 \cdot 0,4 + 0,5^3 \cdot 0,3 \right) = 11274,69 \text{ год}$$

$N_{FE_1}$  - еквівалентне число циклів змін напруги при змінній нарузі:

$$N_{FE_2} = 60 \cdot n_3 \cdot t_{\Sigma} = 60 \cdot 20 \cdot 11274,69 = 13,52 \cdot 10^6 \text{ циклів}$$

$$K_{FL_2} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE_2}}} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{13,52 \cdot 10^6}} = 0,81$$

Приймаємо  $K_{FL_1} = 1,0$ , оскільки  $N_{FE_2} > N_{FO}$  ( $13,52 \cdot 10^6 > 4 \cdot 10^6$ )

$$\sigma_{F \lim 2} = \sigma_{F \lim b 2}^0 K_{FC} K_{FL_2} = 405 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 405 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт безпеки  $S_F$  визначаємо за формулою:

$$S_F = S'_F S''_F,$$

$S'_F$  - коефіцієнт, який враховує нестабільність характеристик матеріалу ( $S'_F = 1,75$ ), (табл. 3.19, ст. 78, [1]),  $S''_F$  - коефіцієнт, який враховує спосіб отримання заготовки і умови експлуатації передачі  $S''_F = 1,5$ .

$$S_F = S'_F S''_F = 1,75 \cdot 1,5 = 2,625$$

Коефіцієнт  $Y_S$  враховує чутливість матеріалу до концентрації напруги в функції від модуля зачеплення. При проектному розрахунку враховуючи те що

модуль невідомий  $Y_S = 1,0$ . Коефіцієнт  $Y_R$  враховує шорсткість перехідної поверхні зуба в залежності від способу обробки. Для зубофрезерування з шорсткістю не більше Rz40  $Y_R = 1,0$ .

Тоді

$$[\sigma_{F_2}] = \frac{405}{2,625} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 154,3 \text{ МПа}$$

Допустимі напруження згину при розрахунку на дію максимального навантаження для зуба шестерні:

$$[\sigma_{FM1}] = \frac{\sigma_{F \text{ lim } M1}}{S_{FM}} Y_S$$

$\sigma_{F \text{ lim } M}$  - граничне напруження, яка не викликає залишкових деформацій чи крихкого злому зуба.

$$\sigma_{F \text{ lim } M1} = 4,8 HB_1 = 4,8 \cdot 190 = 912 \text{ МПа},$$

коефіцієнт  $Y_S$  - визначається так само, як і при розрахунку на витривалість при згині;  $S_{FM}$  - коефіцієнт безпеки,  $S_{FM} = S'_{FM} S''_{FM}$ , де  $S'_{FM} = 1,75$ , а  $S''_{FM} = S''_F = 1,5$  тоді  $S_{FM} = 2,625$ . Отже,

$$[\sigma_{FM1}] = \frac{912}{2,625} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 347,4 \text{ МПа}.$$

Допустимі напруження згину при розрахунку на дію максимального навантаження для зуба колеса:

$$[\sigma_{FM1}] = \frac{\sigma_{F \text{ lim } M1}}{S_{FM}} Y_S$$

$\sigma_{F \text{ lim } M}$  - граничне напруження, яка не викликає залишкових деформацій чи крихкого злому зуба.

$$\sigma_{F \text{ lim } M1} = 4,8 HB_2 = 4,8 \cdot 225 = 1080 \text{ МПа},$$

коефіцієнт  $Y_S$  - визначається так само, як і при розрахунку на витривалість при згині;  $S_{FM}$  - коефіцієнт безпеки,  $S_{FM} = S'_{FM} S''_{FM}$ , де  $S'_{FM} = 1,75$ , а  $S''_{FM} = S''_F = 1,5$  тоді  $S_{FM} = 2,625$ . Отже,

$$[\sigma_{FM1}] = \frac{1080}{2,625} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 411,4 \text{ МПа}$$

Допустиме контактне напруження при розрахунку на дію максимального навантаження:

для шестерні:

$$[\sigma_{HM1}] = 2,8 \sigma_T = 2,8 \cdot 340 = 952 \text{ МПа},$$

для колеса:

$$[\sigma_{HM2}] = 2,8 \sigma_T = 2,8 \cdot 450 = 1260 \text{ МПа}.$$

Розрахунок зубів на витривалість при згині.

Визначаємо зовнішній круговий модуль зачеплення:

$$m = \sqrt[3]{\frac{4,5T_3 K_{F\beta} K_{Fv} Y_{F1} Y_{\beta}}{(1-\psi_k)\psi_k \sqrt{u^2 + 1} \cos \beta_m [\sigma_{F1}] z_1^2}}$$

Попередньо визначаємо величини, які необхідні для розрахунку. Номінальний крутний момент на шестерні  $T_3 = 163,96 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ . Коефіцієнт ширини вінця  $\psi_k = 0,25$ . Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження по ширині зубчастого вінця при консольному розташуванні шестерні на роликівих опорах і відношенні

$$\frac{\psi_k u}{2 - \psi_k} = \frac{0,25 \cdot 3,54}{2 - 0,25} = 0,51, \quad K_{F\beta} = 1,2,$$

Орієнтовна швидкість зубчастих коліс:

$$v = 0,0125 \sqrt[3]{N_3 n_3^2} = 0,0125 \sqrt[3]{1,215 \cdot 70,75^2} = 0,23 \text{ м/с}$$

При такій швидкості встановлюємо 9-у ступінь точності передачі.

Коефіцієнт, який враховує динамічне навантаження  $K_{Fv} = 1,11$ . За таблицею приймаємо число зубів шестерні  $z_1 = 18$ .

Число зубів колеса

$$z_2 = z_1 u = 18 \cdot 3,54 = 64.$$

Знаходимо еквівалентне число зубців для шестерні і колеса:

$$z_{e1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1}; \quad z_{e2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2},$$

де  $\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{18}{64} = 0,28125, \quad \delta_1 = 15^\circ 42' 31", \quad \text{звідки}$

$$\delta_2 = (90 - \delta_1) = (90 - 15^\circ 42' 31") = 75^\circ 18' 29".$$

Отже,

$$z_{e1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1} = \frac{18}{\cos(15^\circ 42' 31")} = 18,66; \quad z_{e2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2} = \frac{64}{\cos(75^\circ 18' 29")} = 259,2.$$

Коефіцієнти, що враховують форму зуба для шестерні і колеса відповідно  $Y_{F1} = 4,6$ ,  $Y_{F2} = 4,3$ . Коефіцієнт, який враховує нахил зуба на напружений стан зубів прямозубих коліс  $Y_{\beta} = 1,0$ .

Модуль зачеплення

$$m = \sqrt[3]{\frac{4,5 \cdot 163,96 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 1,11 \cdot 4,6 \cdot 1,0}{(1 - 0,25) \cdot 0,25 \cdot \sqrt{3,54^2 + 1} \cdot 130,3 \cdot 18^2}} = 5,4 \text{ мм}$$

Отриманий модуль приймаємо по стандарту:  $m = 6$ .

Початковий діаметр по більшому торцю становить:

$$d_{\omega 1} = m_{te} z_1 = 6 \cdot 18 = 108 \text{ мм},$$

відповідно,

$$d_{\omega 2} = m_{te} z_2 = 6 \cdot 64 = 384 \text{ мм}$$

Число зубців плоского колеса:

$$z_c = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = \sqrt{18^2 + 6^2} = 66,48308$$

Зовнішня конусна відстань:

$$R_e = 0,5m_{te}z_c = 0,5 \cdot 6 \cdot 66,48308 = 199,44924 \text{ мм}$$

Робоча ширина зубчастого вінця при  $\psi_k = \frac{b_\omega}{R_e}$ , звідки

$b_\omega = \psi_k R_e = 0,25 \cdot 199,44924 = 49,8623 \text{ мм}$ . Перевіряємо умову  $b_\omega \leq 10m_{te}$ , тобто  $b_\omega = 49,8623 \leq 10 \cdot m_{te} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ мм}$ ; отже, умову виконано. Уточнюємо розрахунковий модуль

$$m'_{te} = m_{te} \sqrt[3]{\frac{K'_{Fv} Y_S}{K_{Fv} Y'_S}}$$

Попередньо визначаємо величини, необхідні для розрахунку. Середній нормальний модуль:

$$m_n = m_{te} \left( 1 - 0,5 \frac{b_\omega}{R_e} \right) \cos \beta_m = 6 \left( 1 - 0,5 \frac{49,8623}{199,44924} \right) = 5,25 \text{ мм}$$

Середній початковий діаметр шестерні

$$d_{om1} = \frac{m_n z_1}{\cos \beta_m} = 5,25 \cdot 18 = 94,5 \text{ мм}.$$

Розрахункова колова швидкість на середньому початковому діаметрі шестерні

$$v_c = \frac{\pi d_{om1} n_1}{60000} = \frac{3,14 \cdot 94,5 \cdot 70,75}{60000} = 0,35 \text{ м/с}.$$

За заданою швидкістю рекомендована ступінь точності передачі – 9, що співпадає з раніше вибраною. Уточнюємо коефіцієнт динамічного навантаження  $K'_{Fv} = 1,115$ ,. Коефіцієнт чутливості матеріалу до концентрації напруг  $Y'_S = 0,95$ ,.

Модуль зачеплення

$$m'_{te} = m_{te} \sqrt[3]{\frac{K'_{Fv} Y_S}{K_{Fv} Y'_S}} = 5,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,115 \cdot 1,0}{1,111 \cdot 0,95}} = 5,5 \text{ мм}.$$

Приймаємо по стандарту  $m = 6 \text{ мм}$ .

**Перевірочний розрахунок зубців на міцність при згині максимальним навантаженням.**

Розрахункове напруження від максимального навантаження

$$\sigma_{FM} = \sigma_F \frac{T_M}{T_1} \leq [\sigma_{FM}].$$

Розрахункове напруження згину

$$\sigma_{F1} = Y_{F1} Y_\beta \frac{W_{Ft}}{0,85 m_n},$$

де розрахункове навантаження

$$W_{Ft} = \frac{2T_3}{d_{om1} b_\omega} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} = \frac{2 \cdot 163,69 \cdot 10^3}{94,5 \cdot 49,8623} \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,115 = 93,12 \text{ Н/мм},$$

Напруження згину в зубцях шестерні

$$\sigma_{F1} = 4,6 \cdot 1,0 \cdot \frac{93,12}{0,85 \cdot 5,25} = 95,99 \leq [\sigma_{F1}] = 130,3 \text{ МПа}$$

в зубцях колеса

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}} = 95,99 \cdot \frac{4,2}{4,6} = 87,4 \text{ МПа} \leq [\sigma_{F2}] = 154,3 \text{ МПа}.$$

Розрахункове навантаження від максимального навантаження:  
для зубів шестерні

$$\sigma_{FM1} = 95,99 \cdot 1,6 = 153,15 \text{ МПа} \leq [\sigma_{FM1}] = 347,4 \text{ МПа};$$

для зубів колеса

$$\sigma_{FM2} = 87,4 \cdot 1,6 = 139,84 \text{ МПа} \leq [\sigma_{FM2}] = 411,4 \text{ МПа},$$

**Перевірочний розрахунок зубів на контактну міцність при дії максимального навантаження.**

Розрахункове навантаження при дії максимального навантаження

$$\sigma_{HM} = \sigma_H \sqrt{\frac{T_M}{T_1}} \leq [\sigma_{HM}],$$

де  $\frac{T_M}{T_1} = 1,6$  задано в початкових даних.

Розраховуємо контактне напруження від номінального навантаження

$$\sigma_H = Z_H Z_M Z_\varepsilon \sqrt{\frac{4,5 T_3 K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu}}{(1 - \psi_k) \psi_k d_{\omega 1}^3 u}}$$

Визначаємо величини необхідні для подальшого розрахунку. Крутний момент  $T_3 = 163,96 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ . Коефіцієнт, який враховує форму спряження поверхонь  $Z_H = 1,76$ .

Коефіцієнт, який враховує механічні властивості матеріалу зубчастих коліс  $Z_M = 275 \text{ МПа}^{1/2}$ . Коефіцієнт торцевого перекриття  $\varepsilon_\alpha = 1,58$ . Коефіцієнт, який враховує сумарну довжину контактних ліній

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,58}{3}} = 0,9$$

Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубцями, для прямозубих коліс,  $K_{H\alpha} = 1,0$ . Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження по ширині вінця при консольному розташуванні зубчастого колеса на роликівих опорах і відношенні

$$\frac{\psi_k u}{2 - \psi_k} = \frac{0,25 \cdot 3,54}{2 - 0,25} = 0,51, K_{H\beta} = 1,11, \text{ (рис. 3.20 а, ст.81, [1]).}$$

Коефіцієнт, який враховує динамічне навантаження  $K_{H\nu} \cong 1,01$ ,

Контактне напруження

$$\sigma_H = 1,76 \cdot 275 \cdot 0,9 \sqrt{\frac{4,5 \cdot 163,96 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 1,11 \cdot 1,01}{(1 - 0,25) \cdot 0,25 \cdot 108^3 \cdot 3,54}} = 433,3 \text{ МПа}$$

Напруження від максимального навантаження

$$\sigma_{HM} = 400\sqrt{1,6} = 506 \text{ МПа} < [\sigma_{HM}] = 728 \text{ МПа}$$

Приймаємо остаточно параметри передачі:

$$m_{te} = 6 \text{ мм}, \quad z_1 = 18, \quad z_2 = 64, \quad d_{\omega 1} = 108 \text{ мм}, \quad d_{\omega 2} = 384 \text{ мм}, \quad \delta_1 = 15^\circ 42' 31'', \\ \delta_2 = 74^\circ 18' 29'', \quad R_e = 199,44924 \text{ мм}, \quad b_w = 49,8623 \text{ мм}.$$

11. Розрахуємо інші параметри передачі:

$$\text{Число зубців плоского колеса } z_c = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = \sqrt{18^2 + 64^2} = 66,48308$$

$$\text{Ширина зубчастого вінця} \quad b = \psi_k R_e = 0,25 \cdot 199,44924 = 49,8616 \text{ мм}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Зовнішня} & \text{конусна} & \text{відстань} \\ R_e = 0,5m_{te}z_c = 0,5 \cdot 6 \cdot 66,48308 = 199,44924 \text{ мм} & & \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Середня конусна відстань} \\ R_m = R_e - 0,5b = 199,44924 - 0,5 \cdot 49,8616 = 174,5184 \text{ мм} \end{array}$$

Діаметр зовнішнього ділительного кола:

$$\text{шестерні} \quad d_{e1} = d_{\omega 1} = m_{te}z_1 = 6 \cdot 18 = 108 \text{ мм},$$

$$\text{колеса} \quad d_{e2} = d_{\omega 2} = m_{te}z_2 = 6 \cdot 64 = 384 \text{ мм}$$

Середній ділительний діаметр:

$$\text{шестерні} \quad d_{m1} = m_n z_1 / \cos \beta_m = 5,25 \cdot 18 = 94,5 \text{ мм},$$

$$\text{колеса} \quad d_{m2} = m_n z_2 / \cos \beta_m = 5,25 \cdot 64 = 336 \text{ мм}$$

$$\text{Глибина заходу } h_{ze} = 2m_{te} \cos \beta_m = 2 \cdot 6 = 12 \text{ мм}$$

$$\text{Радіальний зазор} \quad c = 0,2m_{te} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \text{ мм}$$

$$\text{Висота зуба на торці} \quad h_e = h_{ze} + c = 12 + 1,2 = 13,2 \text{ мм}$$

Висота головки зуба на торці:

$$\text{шестерні} \quad h_{ae1} = m_{te}(1 + x_1 \cos \beta_m) = 6(1 + 0,28) = 7,68 \text{ мм}$$

$$\text{колеса} \quad h_{ae2} = h_{ze} - h_{ae1} = 12 - 7,68 = 4,32 \text{ мм}$$

Висота ніжки зуба на торці:

$$\text{шестерні} \quad h_{fe1} = h_e - h_{ae1} = 13,2 - 7,68 = 5,52 \text{ мм}$$

$$\text{колеса} \quad h_{fe2} = h_e - h_{ae2} = 13,2 - 4,32 = 8,88 \text{ мм}$$

Кут ділительного конуса:

$$\text{шестерні} \quad \delta_1 = 15^\circ 42' 31''$$

$$\text{колеса} \quad \delta_2 = 75^\circ 18' 29''$$

Зовнішній діаметр вершин:

$$\text{шестерні} \quad d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1 = 108 + 2 \cdot 7,68 \cdot 0,9647 = 122,8178 \text{ мм},$$

$$\text{колеса} \quad d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2} \cos \delta_2 = 384 + 2 \cdot 4,32 \cdot 0,2469 = 386,1332 \text{ мм}$$

Товщина зуба по зовнішньому ділительному колу:

$$\begin{array}{l} \text{шестерні} \\ S_{e1} = (1,571 + 0,728x_1 + x_1)m_{te} = (1,571 + 0,728 \cdot 0,28 + 0,28) \cdot 6 = 12,3291 \text{ мм} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{колеса} \\ S_{e2} = (1,571 + 0,728x_2 + x_2)m_{te} = (1,571 - 0,728 \cdot 0,28 - 0,28) \cdot 6 = 6,523 \text{ мм} \end{array}$$

Відстань від вершини до площини зовнішнього кола вершин зубців:



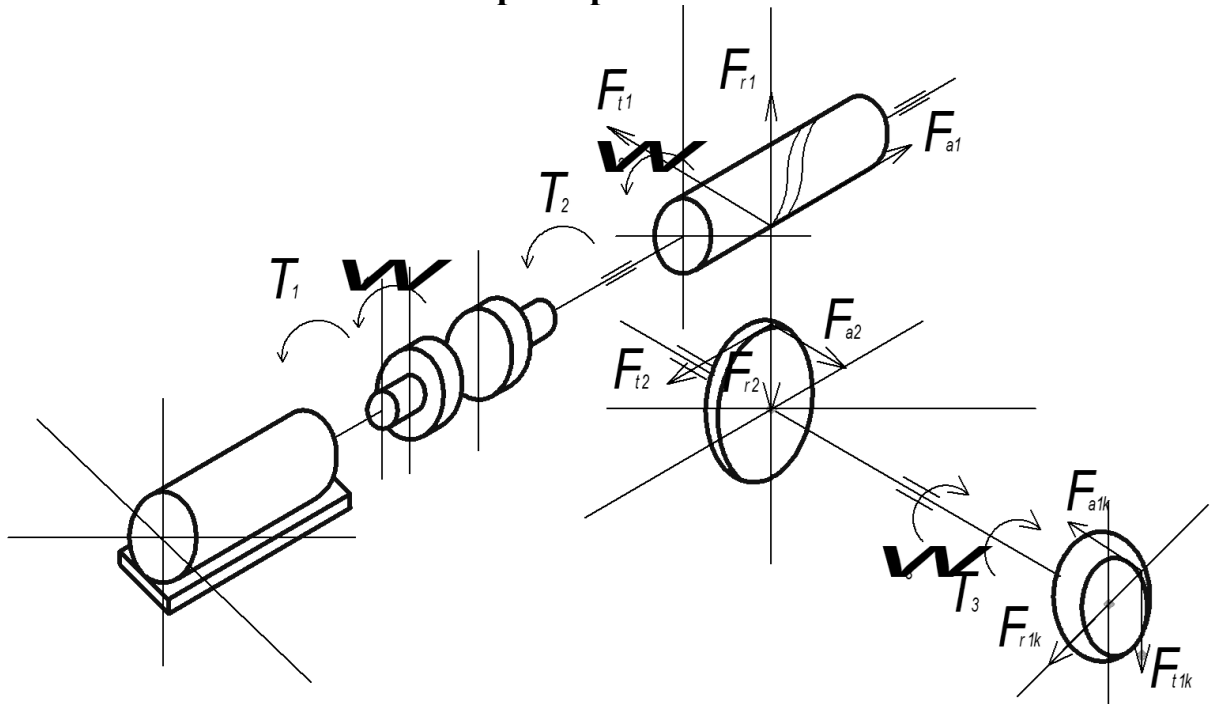
$$d = \sqrt[3]{\frac{163,96 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 25}} = 32 \text{ мм}$$

Приймаємо  $d = 35 \text{ мм}$ .

### 6.8 Розрахунок валів на складний опір

Для розрахунку валів на складний опір необхідно скласти його розрахункову просторову схему.

**Просторова схема.**



Ескіз розподілення і моментів на валах і передачах Рис.6.5

Для подальшого розрахунку визначимо сили в зачепленні черв'ячної передачі

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2 \cdot T_2}{d_{\omega 1}} = \frac{2 \cdot 9,95 \cdot 10^3}{40} = 497,5 \text{ Н}$$

$$F_{t2} = F_{a1} = \frac{2 \cdot T_3}{d_{\omega 2}} = \frac{2 \cdot 163,96 \cdot 10^3}{160} = 2049,5 \text{ Н}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \cdot \text{tg} \alpha_{\omega} = 2049,5 \cdot \text{tg} 20^{\circ} = 746 \text{ Н}$$

конічної передачі

$$F_{t3} = \frac{2 \cdot T_3}{d_{m1}} = \frac{2 \cdot 163,96 \cdot 10^3}{94,5} = 3470 \text{ Н}$$

$$F_{r3} = F_{t2} \cdot \text{tg} \alpha_{\omega} \cdot \cos \delta_1 = 3470 \cdot \text{tg} 20^{\circ} \cdot \cos 15^{\circ} 42' 31'' = 1218,4 \text{ Н}$$

$$F_{a3} = F_{t3} \cdot \text{tg} \alpha_{\xi} \cdot \sin \delta_1 = 3470 \cdot \text{tg} 20^{\circ} \cdot \sin 15^{\circ} 42' 31'' = 341,78 \text{ Н}$$

### Розраховуємо швидкохідний вал.

Визначимо реакції опор на вертикальній площині YZ:

$$\sum M_A = 0: \quad F_{r1} \cdot 79 + F_{a1} \cdot \frac{40}{2} - R_{Bz} \cdot 151 = 0$$

$$R_{Bz} = \frac{F_{r1} \cdot 79 + F_{a1} \cdot 20}{151} = \frac{746 \cdot 79 + 2049,5 \cdot 20}{151} = 661,75H$$

$$\sum M_B = 0: \quad R_{Az} \cdot 151 + F_{a1} \cdot \frac{40}{2} - F_{r1} \cdot 72 = 0$$

$$R_{Az} = \frac{-F_{a1} \cdot \frac{40}{2} + F_{r1} \cdot 72}{151} = \frac{-2049,5 + 20746 \cdot 72}{151} = 84,25$$

$$\sum F_Y = 0:$$

$$-R_{Az} + F_{r1} - R_{Bz} = 0$$

$$-84,25 + 746 - 661,75 = 0$$

Визначимо величини згинальних моментів на площ. YZ в точках А, С, В, D:

$$M^D = 0H \cdot мм$$

$$M^A = 0H \cdot мм$$

$$M^{C1} = -R_{Az} \cdot 79 = -84,25 \cdot 79 = 6656H \cdot мм$$

$$M^{C2} = -R_{Bz} \cdot 72 = -661,75 \cdot 72 = -47646H \cdot мм$$

$$M^B = 0H \cdot м$$

Визначимо реакції опор на вертикальній площині YX:

$$\sum M_A = 0: \quad -F_{t1} \cdot 79 + R_{By} \cdot 151 = 0$$

$$R_{By} = \frac{F_{t1} \cdot 79}{151} = \frac{497,5 \cdot 79}{151} = 260,28H$$

$$\sum M_B = 0: \quad -R_{Ay} \cdot 151 + F_{t1} \cdot 72 = 0$$

$$R_{Ay} = \frac{F_{t1} \cdot 72}{151} = \frac{497,5 \cdot 72}{151} = 237,22H \cdot мм$$

$$\sum F_x = 0:$$

$$R_{Ay} - F_{t1} + R_{By} = 0$$

$$237,22 - 497,5 + 260,28 = 0$$

Визначимо величини згинальних моментів на площині YX в точках А, С, В, D:

$$M^D = 0H \cdot \text{мм}$$

$$M^A = 0H \cdot \text{мм}$$

$$M^{C1} = R_{Ay} \cdot 79 = 237,22 \cdot 79 = 18740,4H \cdot \text{мм}$$

$$M^{C2} = R_{By} \cdot 72 = 260,28 \cdot 72 = H \cdot \text{мм}$$

$$M^B = 0H \cdot \text{мм}$$

Для побудови епюри сумарних згинальних моментів визначимо його величини у відповідних точках за формулою:  $M_{\text{сум}} = \sqrt{M_{ZY}^2 + M_{XY}^2}$

$$M_{\text{сум}}^D = 0H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{сум}}^A = H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{сум}}^{C1} = \sqrt{6656^2 + 18740,4^2} = 19887,31H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{сум}}^{C2} = \sqrt{47646^2 + 18740,6^2} = 51199,06H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{сум}}^B = 0H \cdot \text{мм}$$

Для побудови епюри еквівалентного моменту визначимо його величину у відповідних точках за формулою:  $M_{\text{екв}} = \sqrt{M_{\text{сум}}^2 + \alpha \cdot T^2}$ , де

$$\alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_0]} = \frac{60}{95} = 0,63.$$

$[\sigma_{-1}]$  - допустиме знакозмінне напруження для вала,

$$[\sigma_{-1}] = 60 \text{ МПа}, \text{ (стр.173, таб.5.3, [1])}$$

$\sigma_{-1}$  - знакозмінне напруження,  $\sigma_{-1} = 270 \text{ МПа}$  (для обраного матеріалу);

$[\sigma_0]$  - допустиме пульсуюче від нуля напруження,

$$[\sigma_0] = 95 \text{ МПа} \text{ (стр.173, таб.5.3, [1])}$$

$$M_{\text{екв}}^D = \sqrt{0 + 0,63 \cdot (9,95 \cdot 10^3)^2} = 7897,57H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{екв}}^A = \sqrt{0 + 0,63 \cdot (9,95 \cdot 10^3)^2} = 7897,57H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{екв}}^{C1} = \sqrt{19887,31^2 + 0,63 \cdot (9,95 \cdot 10^3)^2} = 21398H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{екв}}^{C2} = \sqrt{51199,06^2 + 0,63 \cdot 0} = 51199,06H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{екв}}^B = 0H \cdot \text{мм}$$

Визначимо діаметр тихохідного валу в небезпечному перерізі за формулою:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{екв}}^{\text{max}}}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{51199}{0,1 \cdot 60}} = 20,5 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр швидкохідного валу в небезпечному перерізі  $d_B = 30 \text{ мм}$

Тоді приймемо діаметр вала під підшипниками  $d = 25 \text{ мм}$ .

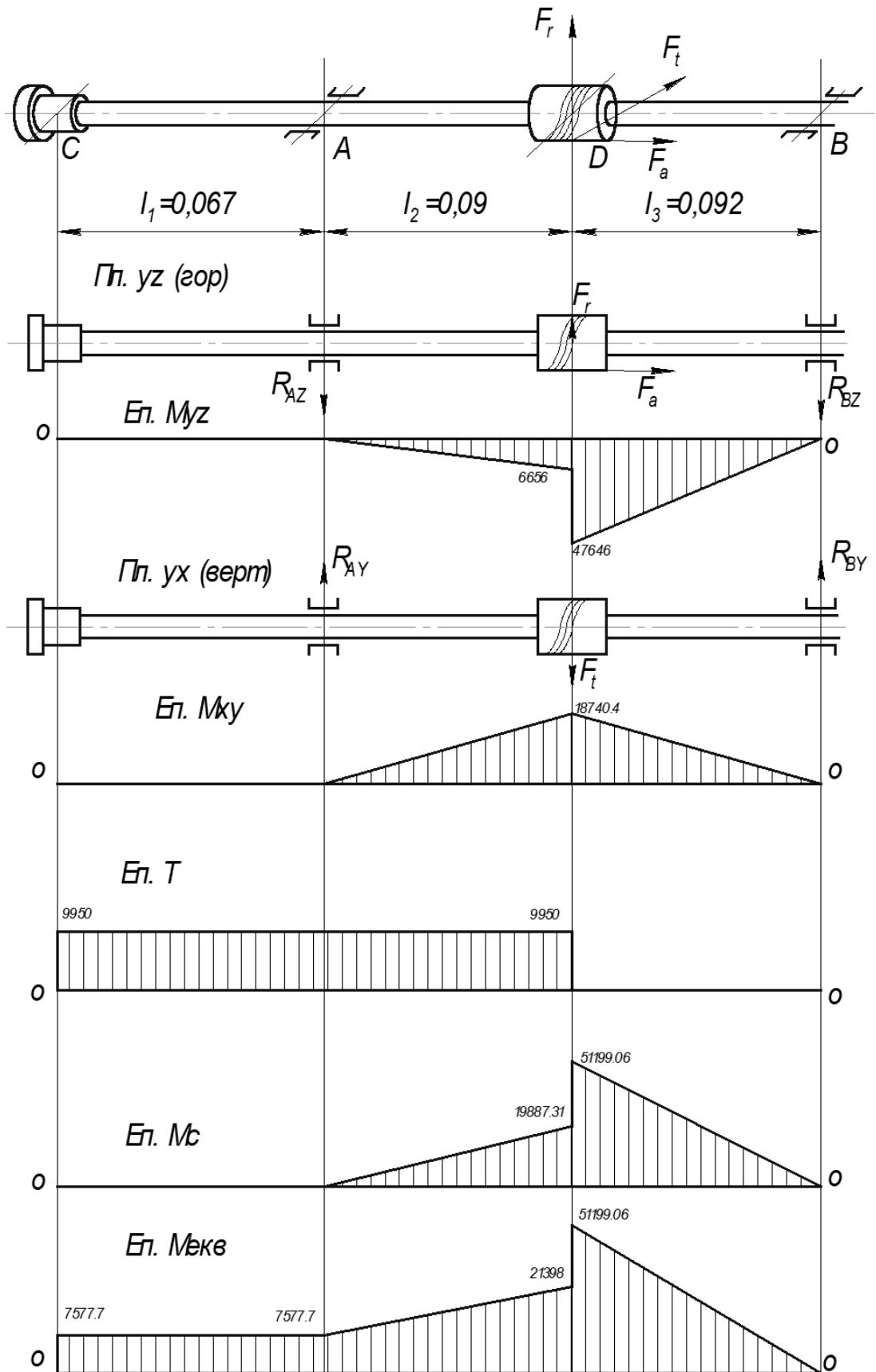


Рис.6.6 Епюри вала черв'яка

### Розраховуємо тихохідний вал.

Визначимо реакції опор на вертикальній площині XZ:

$$\sum M_A = 0: \quad -F_{r2} \cdot 52 - F_{a2} \cdot \frac{160}{2} + R_{Bz} \cdot 104 - F_{t3} \cdot 172 = 0$$

$$R_{Bz} = \frac{F_{r2} \cdot 52 + F_{a2} \cdot 80 + F_{t3} \cdot 172}{104} = \frac{746 \cdot 52 + 497,5 \cdot 80 + 3470 \cdot 172}{104} = 6494,5H$$

$$\sum M_B = 0: \quad R_{Az} \cdot 104 + F_{r2} \cdot 120 - F_{a2} \cdot \frac{160}{2} - F_{t3} \cdot 68 = 0$$

$$R_{Az} = \frac{-F_{r2} \cdot 120 + F_{a2} \cdot 80 + F_{t3} \cdot 68}{104} = \frac{-746 \cdot 120 + 497,5 \cdot 80 + 3470 \cdot 68}{104} = 2278,5H$$

$$\sum F_z = 0:$$

$$-R_{Az} - F_{r2} + R_{Bz} - F_{t3} = 0$$

$$-2278,5 - 746 + 6494,5 - 3470 = 0$$

Визначимо величини згинальних моментів на площині XZ в точках C, A, D, B:

$$M^A = 0H \cdot мм$$

$$M^{C1} = -R_{Az} \cdot 52 = -2278,5 \cdot 52 = 118482H \cdot мм$$

$$M^{C2} = -R_{Az} \cdot 52 + F_{a2} \cdot 80 = -2278,5 \cdot 52 + 497,5 \cdot 80 = -78684H \cdot мм$$

$$M^B = -F_{t3} \cdot 68 = 3470 \cdot 68 = -235960H \cdot мм$$

$$M^D = 0H \cdot мм$$

Визначимо реакції опор на вертикальній площині XY:

$$\sum M_A = 0: \quad -F_{t2} \cdot 52 + R_{By} \cdot 104 + F_{a3} \cdot \frac{94,5}{2} - F_{r3} \cdot 172 = 0$$

$$R_{By} = \frac{F_{t2} \cdot 52 - F_{a3} \cdot 47,25 + F_{r3} \cdot 172}{104} = \frac{2049,5 \cdot 52 - 341,78 \cdot 47,25 + 1218,4 \cdot 172}{104} = 2884,5H \cdot мм$$

$$\sum M_B = 0: \quad -R_{Ay} \cdot 104 + F_{t2} \cdot 52 + F_{a3} \cdot \frac{94,5}{2} - F_{r3} \cdot 68 = 0$$

$$R_{Ay} = \frac{F_{t2} \cdot 52 + F_{a3} \cdot 47,25 - F_{r3} \cdot 68}{104} = \frac{2049,5 \cdot 52 + 341,78 \cdot 47,25 - 1218,4 \cdot 68}{104} = 383,4H$$

$$\sum F_y = 0:$$

$$R_{Ay} - F_{t2} + R_{By} - F_{r3} = 0$$

$$383,4 - 2049,5 + 2884,5 - 1218,4 = 0$$

Визначимо величини згинальних моментів на площ. XY в точках A, C, B, D:

$$M^A = 0H \cdot \text{мм}$$

$$M^C = R_{Ay} \cdot 52 = 383,4 \cdot 52 = 19936,8H \cdot \text{мм}$$

$$M^B = R_{Ay} \cdot 104 - F_{t2} \cdot 52 = 383,4 \cdot 104 - 2049,5 \cdot 52 = 66700H \cdot \text{мм}$$

$$M^D = -F_{a3} \cdot \frac{94,5}{2} = -16149,1H \cdot \text{мм}$$

Для побудови епюри сумарних згинальних моментів визначимо його величини у відповідних точках за формулою:  $M_{\text{сум}} = \sqrt{M_{XZ}^2 + M_{XY}^2}$

$$M_{\text{сум}}^A = 0H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{сум}}^{C1} = \sqrt{118482^2 + 19936,8^2} = 120147,7H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{сум}}^{C2} = \sqrt{78684^2 + 19936,8^2} = 81170,5H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{сум}}^B = \sqrt{235960^2 + 66700^2} = 245206H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{сум}}^D = 16149,6H \cdot \text{мм}$$

Для побудови епюри еквівалентного моменту визначимо його величину у відповідних точках за формулою:  $M_{\text{екв}} = \sqrt{M_{\text{сум}}^2 + \alpha \cdot T^2}$ , де

$$\alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_0]} = \frac{60}{95} = 0,63.$$

$[\sigma_{-1}]$  - допустиме знакозмінне напруження для вала,

$[\sigma_{-1}] = 60 \text{ МПа}$ , (стр.173, таб.5.3, [1]).

$\sigma_{-1}$  - знакозмінне напруження,  $\sigma_{-1} = 270 \text{ МПа}$  (для обраного матеріалу);

$[\sigma_0]$  - допустиме пульсуюче від нуля напруження,

$[\sigma_0] = 95 \text{ МПа}$ , (стр.173, таб.5.3, [1]).

$$M_{\text{екв}}^A = 0H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{екв}}^{C1} = 120147,7H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{екв}}^{C2} = \sqrt{81170,5^2 + 0,63 \cdot 163960^2} = 153378,2H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{екв}}^B = \sqrt{245206^2 + 0,63 \cdot 163960^2} = 277600H \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{екв}}^D = \sqrt{16149,6^2 + 0,63 \cdot 163960^2} = 131137H \cdot \text{мм}$$

Визначимо діаметр тихохідного валу в небезпечному перерізі за формулою:

$$d_{D1} = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{екв}}^{\text{max}}}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{277600}{0,1 \cdot 60}} = 35,9 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр тихохідного валу в небезпечному перерізі  $d_B = 40 \text{ мм}$ .

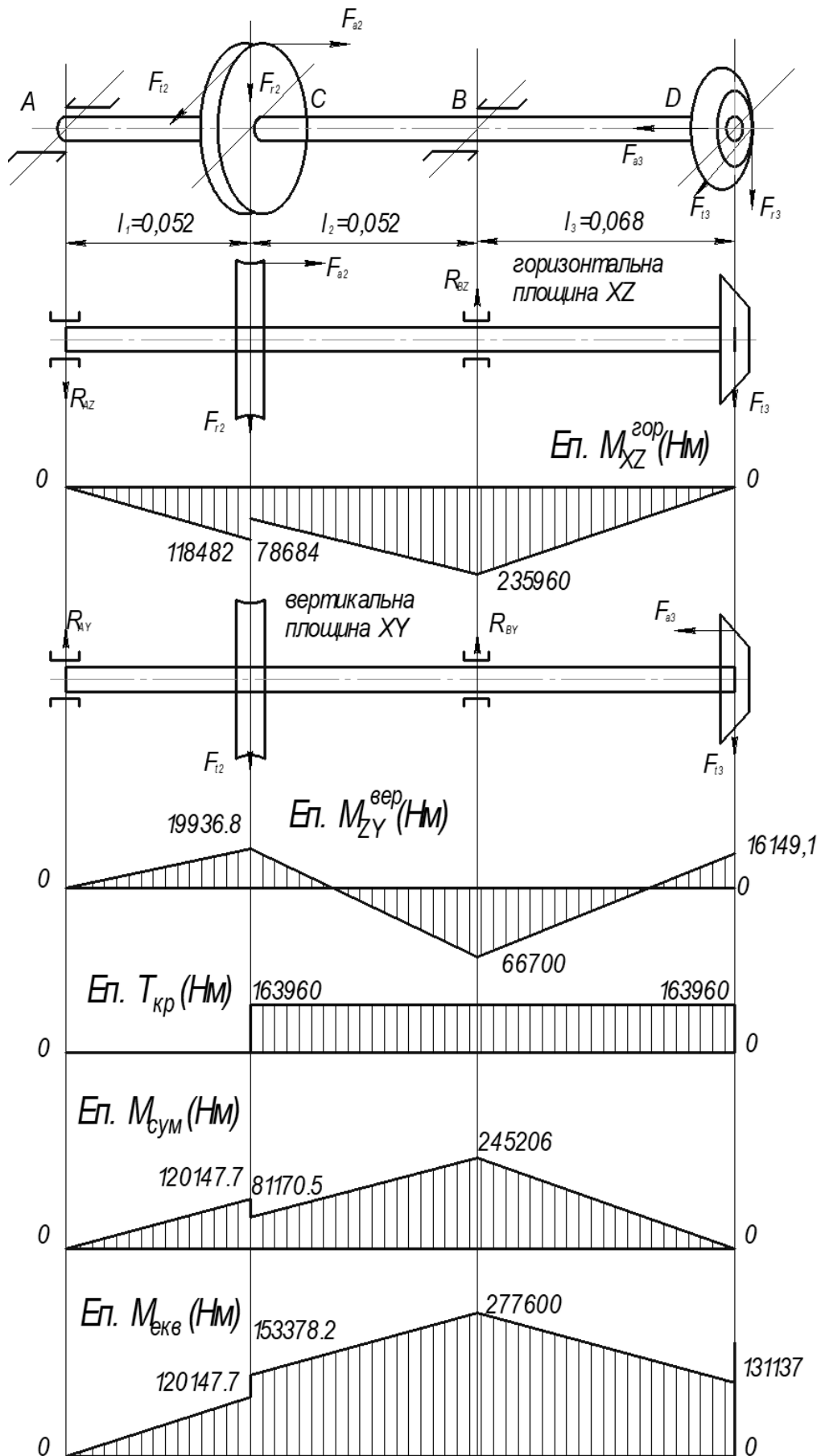


Рис.6.7 Епюри вала Колеса черв'яка і зубчастого колеса

## 6.8 Розрахунок підшипників.

Розрахунок підшипників проводимо за динамічною вантажопідйомністю:

$$C_{розр} \leq C_{кат}$$

$$C_{розр} = P_{екв} \sqrt[p]{L}$$

де  $P_{екв}$  - еквівалентне розрахункове навантаження на підшипник, Н;  
 $p$  - степеневий показник, для шарикопідшипників  $p = 3$ , для роликотпідшипників  $p = 3,33$ .

$$P_{екв} = (XV F_r + Y F_a) \cdot K_B \cdot K_T$$

де  $F_r$  - радіальне навантаження на підшипник, Н;

$F_a$  - осьове навантаження на підшипник Н;

$X$  - коефіцієнт радіального навантаження;

$Y$  - коефіцієнт осьового навантаження;

$V$  - коефіцієнт обертання кільця;

$K_B$  - коефіцієнт безпеки;

$K_T$  - температурний коефіцієнт.

Номінальна довговічність підшипника:

$$L = \frac{60 \cdot n \cdot t_{екв}}{10^6}$$

### 6.8.1. Підбір підшипників для швидкохідного валу редуктора.

Визначимо радіальне навантаження на опори А :

$$F_{rA} = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AZ}^2} = \sqrt{237,22^2 + 84,25^2} = 251,74 \text{ Н}$$

Визначимо номінальну довговічність підшипників:

$$L = \frac{60 \cdot n \cdot t_{екв}}{10^6} = \frac{60 \cdot 1415 \cdot 11274,69}{10^6} = 957,22 \text{ млн. об.}$$

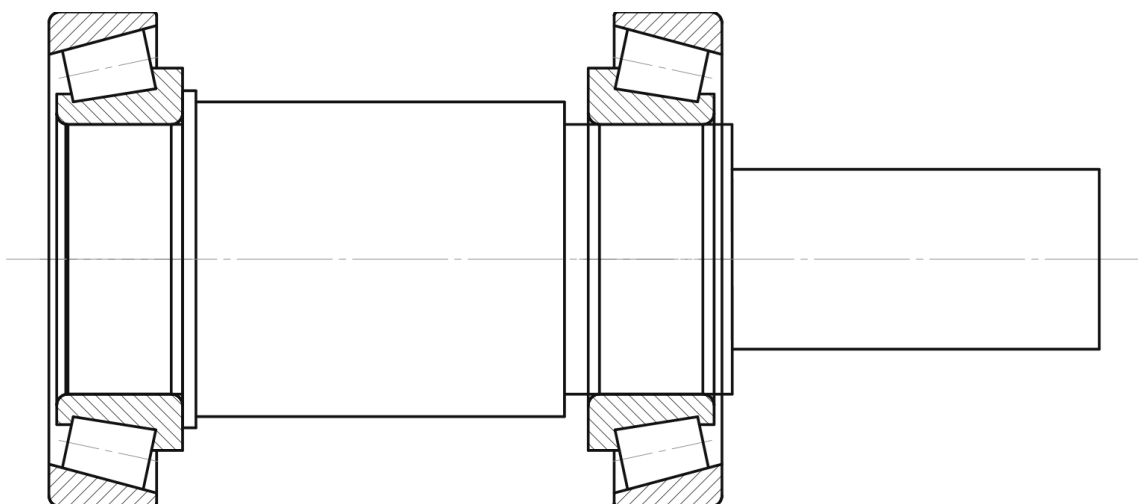


Рис.6.8 Ескіз підшипникового вузла колеса черв'яка

$$P_{екв} = (XV F_{rA} + Y F_{aA}) \cdot K_B \cdot K_T$$

де  $F_{aA} = F_{anni} + F_{SA}$

$$F_{SA} = 0,83 \cdot e \cdot F'_{rA} = 0,83 \cdot 0,37 \cdot 125,87 = 38,65 \text{ Н}$$

$$F'_{rA} = \frac{F_{rA}}{2} = \frac{251,74}{2} = 125,87H$$

$e$  – коефіцієнт осьового навантаження, визначається через кут контакту  $\alpha$ .

$$\text{Приймаємо } \alpha = 14^\circ, \text{ тоді } e = 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1,5 \cdot \operatorname{tg} 14^\circ = 0,37$$

$$F_{aA} = 2049,5 + 38,65 = 2088,15H$$

Коефіцієнт радіального  $X$  і осьового  $Y$  навантаження обирається в залежності від співвідношення  $\frac{F_{aB}}{V \cdot F_{rB}}$ .

$$\text{При } \frac{F_{aA}}{V \cdot F_{rA}} = \frac{2088,15}{125,87} = 16,6 > e = 0,37 \rightarrow \begin{cases} X = 0,4 \\ Y = 0,4 \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 1,6 \end{cases}$$

(стр.197, таб.6.2, [2])

$V = 1,0$  (при обертанні внутрішнього кільця підшипника відносно напрямку навантаження);

$$K_B = 1,4;$$

$$K_T = 1.$$

Отже еквівалентне розрахункове навантаження на підшипник:

$$P_{екв} = (0,4 \cdot 1 \cdot 125,87 + 1,6 \cdot 2088,15) \cdot 1,4 \cdot 1 = 4747,95H$$

Тоді розрахункова вантажопідйомність підшипника:

$$C_{розр} = 4747,95^{3,33} \sqrt[3]{957,22} = 37300H$$

Для встановлення на вал в опорі А обираємо конічний радіально – упорний роликпідшипник №7605 з такими параметрами:

$$d = 25\text{мм}$$

$$D = 62\text{мм}$$

$$B = 24\text{мм}$$

$$C = 45500H$$

Обраний підшипник задовольняє умову  $C_{розр} \leq C_{кат}$ , ( $37300 < 45500$ ).

Визначимо радіальне навантаження на опори В :

$$F_{rB} = \sqrt{R_{BY}^2 + R_{BZ}^2} = \sqrt{260,28^2 + 661,75^2} = 711,1H$$

$$P_{екв} = (XV F_{rB} + Y F_{aB}) \cdot K_B \cdot K_T$$

$$P_{екв} = 711,1 \cdot 1,4 = 995,54H$$

Тоді розрахункова вантажопідйомність підшипника:

$$C_{розр} = 995,54^{3,33} \sqrt[3]{957,22} = 9812H$$

Для встановлення на вал в опорі В обираємо шарикопідшипник радіально – упорний №205 з такими параметрами:

$$d = 25 \text{ мм}$$

$$D = 52 \text{ мм}$$

$$B = 15 \text{ мм}$$

$$C = 11000 \text{ Н}$$

Обраний підшипник задовольняє умову  $C_{розр} \leq C_{кат}$ , ( $9812 < 11000$ ).

### 6.8.2. Підбір підшипників для тихохідного валу редуктора.

Визначимо радіальне навантаження на опори А і В:

$$F_{rA} = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AZ}^2} = \sqrt{2278,5^2 + 383,4^2} = 2310,5 \text{ Н}$$

$$F_{rB} = \sqrt{R_{BY}^2 + R_{BZ}^2} = \sqrt{6494,5^2 + 2884,5^2} = 7106,3 \text{ Н}$$

Визначимо номінальну довговічність підшипників:

$$L = \frac{60 \cdot n \cdot t_{екв}}{10^6} = \frac{60 \cdot 70,75 \cdot 11274,69}{10^6} = 47,86 \text{ млн. об. млн. обертів}$$

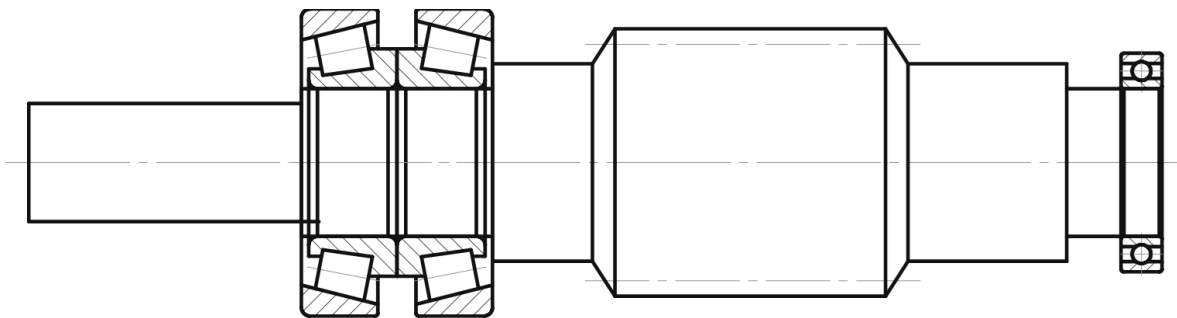


Рис.6.9 Ескіз підшипникового вузла черв'яка

Проводимо розрахунок підшипників для більш навантаженої опори, тобто для опори В:

$$P_{екв} = (XV F_{rB} + Y F_{aB}) \cdot K_B \cdot K_T$$

$$\text{де } F_{aB} = F_{амп} + F_{SB}$$

$$F_{SB} = 0,83 \cdot e \cdot F_{rB} = 0,83 \cdot 0,37 \cdot 7106,3 = 1887,43 \text{ Н}$$

$e$  – коефіцієнт осьового навантаження, визначається через кут контакту  $\alpha$ .

$$\text{Приймаємо } \alpha = 14^\circ, \text{ тоді } e = 1,5 \cdot \text{tg} \alpha = 1,5 \cdot \text{tg} 14^\circ = 0,37$$

$$F_{aB} = 497,5 - 341,78 + 1887,43 = 2043,15 \text{ Н}$$

Коефіцієнт радіального  $X$  і осьового  $Y$  навантаження обирається в залежності від співвідношення  $\frac{F_{aB}}{V \cdot F_{rB}}$ .

$$\text{При } \frac{F_{aB}}{V \cdot F_{rB}} = \frac{2043,15}{1,0 \cdot 7106,3} = 0,28 > e = 0,374 \rightarrow \begin{matrix} X = 0,4 \\ Y = 0,0 \end{matrix} \quad (\text{стр.197, таб.6.2, [2]})$$

$V = 1,0$  (при обертанні внутрішнього кільця підшипника відносно напряму навантаження);

$$K_B = 1,4$$

$K_T = 1,0$ , (стр. 198, таб.6.3, [1]);

Отже еквівалентне розрахункове навантаження на підшипник:

$$P_{екв} = (0,4 \cdot 1,0 \cdot 7106,3 + 0 \cdot 1887,43) \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 3979,53H$$

Тоді розрахункова вантажопідйомність підшипника:

$$C_{розр} = 3979,53 \sqrt[3]{47,86} = 12700H$$

Для встановлення на вал в опорах А і В обираємо конічний радіально – упорний роликпідшипник №7108 з такими параметрами:

$$d = 40\text{мм}$$

$$D = \text{мм}$$

$$B = 19\text{мм}$$

$$C = 31900H$$

Обраний підшипник задовольняє умову  $C_{розр} \leq C_{кат}$ . ( $12700 < 31900$ )

### 6.8.3Перевірочний розрахунок веденого вала редуктора на витривалість.

Матеріал валу – сталь 45 ГОСТ 1050-74 з наступними характеристиками:

Таблиця 6.3

ПАРАМЕТР	ПОЗН.	ЗНАЧЕННЯ
тимчасовий опір розриву	$\sigma_B$	610 МПа
границя витривалості при симетричному циклі напружень згину	$\sigma_{-1}$	270 МПа
границя витривалості при симетричному циклі напружень кручення	$\tau_{-1}$	150 МПа
коефіцієнт чутливості матеріала до асиметрії цикла напружень при згині	$\psi_\sigma$	0,1
коефіцієнт чутливості матеріала до асиметрії цикла напружень при крученні	$\psi_\tau$	0,05

Сумарні згинаючі моменти в ймовірних небезпечних перерізах дорівнюють:

$$M_I = 120,15H \cdot м$$

$$M_{II} = 245,21H \cdot м$$

$$M_{III} = 245,21H \cdot м$$

Крутний момент, який передає вал  $T = 163,96H \cdot м$

22-2137.MP.04.001.ПЗ

Інд.  
змін.

Дата  
видання

Мова  
UA

Аркуш  
70

Коефіцієнт запасу витривалості  $[n] = 2,0$ .

Спочатку, перевіряємо запас міцності в перерізі I-I. Концентрація напружень обумовлена шпоночним пазом та посадкою ступиці на вал.

Знаходимо ефективні коефіцієнти концентрації напружень при згині та крученні від шпоночного пазу. Для нашого валу з шпоноковим пазом, що виконано пальцевою фрезою:

$$K_{\sigma} = 1,765$$

$$K_{\tau} = 1,565$$

Масштабний коефіцієнт при згині та крученні для вала зі сталі 45 діаметром 45мм:

$$\varepsilon_{\sigma} = 0,82$$

$$\varepsilon_{\tau} = 0,72$$

Коефіцієнт стану поверхні при шорсткості  $R_a=2,5$  мк  $K_{\sigma}'' = K_{\tau}'' = 1,0775$  (2, стр.184, таб.5.14). Ефективні коефіцієнти концентрації напружень для даного перерізу вала при згині та крученні в разі відсутності технологічного

зміцнення:

$$K_{\sigma D} = \frac{K_{\sigma} + K_{\sigma}'' - 1}{\varepsilon_{\tau}} = \frac{1,765 + 1,0775 - 1}{0,82} = 2,25$$

$$K_{\tau D} = \frac{K_{\tau} + K_{\tau}'' - 1}{\varepsilon_{\tau}} = \frac{1,565 + 1,0775 - 1}{0,72} = 2,28$$

Визначаємо ефективні коефіцієнти концентрації напружень при згині та крученні вала, що обумовлені ступицею колеса, що насаджена на вал за посадкою  $\frac{H7}{k6}$ :

$$K_{\sigma D} = 2,44$$

$$K_{\tau D} = 1,94$$

Оскільки в даному перерізі два концентратори напружень, то при розрахунку враховуємо лише один – той, для якого  $K_{\sigma D}$  та  $K_{\tau D}$  більше, тобто  $K_{\sigma D} = 2,44$  та  $K_{\tau D} = 2,28$ .

Визначаємо запас міцності для нормальних напружень:

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_m} = \frac{270}{2,44 \cdot 15,4} = 7,19$$

де амплітуда номінальних напружень згину

$$\sigma_a = \sigma = \frac{M_l}{W_0} = \frac{120,15 \cdot 10^3}{7800} = 15,4 \text{ МПа},$$

де осьовий момент опору  $W_0 = 7800$  мм<sup>3</sup>.

Знаходимо запас міцності для дотичних напружень. Попередньо визначаємо полярний момент опору  $W_p = 16740$  мм<sup>3</sup> та напруження кручення

$$\tau = \frac{T}{W_p} = \frac{163,96 \cdot 10^3}{16740} = 9,79 \text{ МПа}$$

амплітуда та середнє значення номінальних напружень кручення

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau}{2} = \frac{9,79}{2} = 4,9 \text{ МПа}$$

Запас міцності для дотичних напружень

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{\sigma d} \tau_a + \psi_\tau \tau_m} = \frac{150}{2,28 \cdot 4,9 + 0,05 \cdot 4,9} = 13,14$$

Визначаємо запас міцності в перерізі I-I:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} = \frac{7,19 \cdot 13,14}{\sqrt{7,19^2 + 13,14^2}} = 6,3 > [n] = 2,0$$

Перевіряємо запас міцності за границею витривалості в перерізі II-II.

Визначаємо ефективні коефіцієнти концентрації напружень при згині та крученні вала, що викликані посадкою внутрішнього кільця підшипника на вал. Для вала з  $d = 40$  мм:

$$K_{\sigma d} = 3,1$$

$$K_{\sigma d} = 2,25$$

Запас міцності для нормальних напружень:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma d} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} = \frac{270}{3,1 \cdot 38,3} = 2,27$$

де амплітуда номінальних напружень згину:

$$\sigma_a = \sigma = \frac{M_{II}}{W_0} = \frac{M_{II}}{0,1d^3} = \frac{245,21 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 40^3} = 38,3 \text{ МПа}$$

Визначаємо запас міцності для дотичних напружень:

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{\sigma d} \tau_a + \psi_\tau \tau_m} = \frac{150}{2,25 \cdot 6,4 + 0,05 \cdot 6,4} = 10,19$$

де напруження кручення:

$$\tau = \frac{T}{W_p} = \frac{T}{0,2 \cdot d^3} = \frac{163,96 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 40^3} = 12,8 \text{ МПа}$$

амплітуда та середнє значення номінальних напружень кручення:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau}{2} = \frac{12,8}{2} = 6,4 \text{ МПа}$$

Загальний коефіцієнт міцності в перерізі II-II

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} = \frac{2,27 \cdot 10,19}{\sqrt{2,27^2 + 10,19^2}} = 2,22 = [n] = 2,0$$

Перевіряємо запас міцності за границею витривалості в перерізі III-III. Концентрація напружень в цьому перерізі обумовлена галтельним переходом від діаметра  $d_2 = 40$  мм,  $d_3 = 35$  мм.

При  $d_2 = 40$  мм,  $d_3 = 35$  мм і  $r = 2,5$  мм, за таблицею відношень знаходимо відношення:

$$\frac{h}{r} = \frac{2,5}{2,5} = 1, \quad \frac{r}{d_3} = \frac{2,5}{35} = 0,071$$

і знаходимо ефективні коефіцієнти концентрації напружень в галтелі при згині та крученні  $K_{\sigma} = 1,592, K_{\tau} = 1,45$ . Масштабний фактор при згині та крученні для даної ділянки  $\varepsilon_{\sigma} = 0,85, \varepsilon_{\tau} = 0,75$ . Коефіцієнт стану поверхні при шорсткості галтелі  $R_a = 2,5$  мкм  $K_{\sigma}'' = K_{\tau}'' = 1,0775$ .

Ефективні коефіцієнти концентрації напружень для даного перерізу вала при відсутності технологічного зміцнення:

$$K_{\sigma d} = \frac{K_{\sigma} + K_{\sigma}'' - 1}{\varepsilon_{\sigma}} = \frac{1,592 + 1,0775 - 1}{0,85} = 1,97$$

$$K_{\tau d} = \frac{K_{\tau} + K_{\tau}'' - 1}{\varepsilon_{\tau}} = \frac{1,45 + 1,0775 - 1}{0,75} = 2,1$$

амплітуда номінальних напружень згину:

$$\sigma_a = \sigma = \frac{M_{III}}{W_0} = \frac{245,21 \cdot 10^3}{0,1 \cdot d_3^3} = \frac{245,21 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 35^3} = 57,2 \text{ МПа}$$

номінальне напруження кручення:

$$\tau = \frac{T}{W_p} = \frac{163,96 \cdot 10^3}{0,2 \cdot d_2^3} = \frac{163,96 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 35^3} = 19,2 \text{ МПа}$$

амплітуда та середнє значення номінальних напружень кручення:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau}{2} = \frac{19,2}{2} = 9,6 \text{ МПа}$$

Запас міцності для нормальних напружень

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma d} \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_m} = \frac{270}{1,97 \cdot 57,2} = 2,4$$

Визначаємо запас міцності для дотичних напружень:

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau d} \tau_a + \psi_{\tau} \tau_m} = \frac{150}{2,1 \cdot 9,6 + 0,05 \cdot 9,6} = 7,3$$

Загальний запас міцності в перерізі III-III.

$$n = \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}} = \frac{2,4 \cdot 7,3}{\sqrt{2,4^2 + 7,3^2}} = 2,3 > [n] = 2,0$$

## 7. Правила монтажу, та технічного сервісу модернізованого обладнання

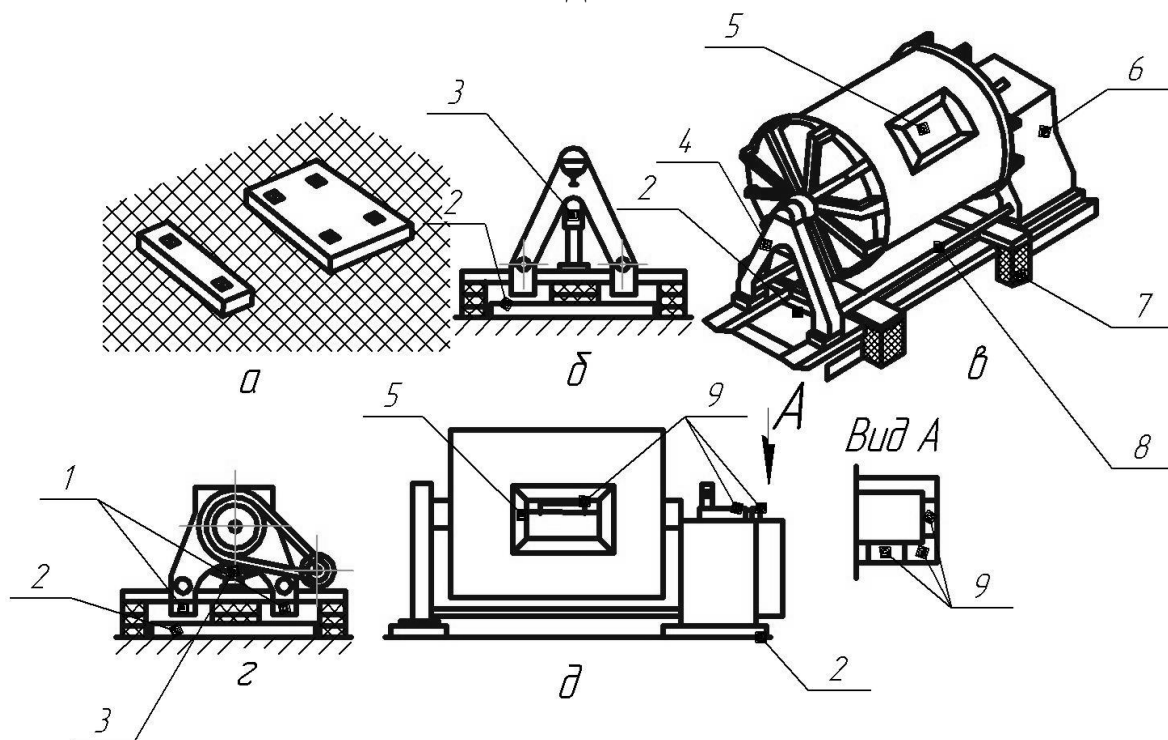


Рис. 7.1 Схема монтажу масловиготовлювача ММ-1000

Завод-виробник постачає обладнання в дерев'яній упаковці або без неї на дерев'яних піддонах 1. Масловиготовлювач звільняють від упаковки, знімають антикорозійне змащення і очищують.

При роботі масловиготовлювач виникають великі динамічні навантаження, тому його слід ретельно закріплювати на фундаменті. Глибина закладення фундаменту, рахуючи від рівня підлоги, повинна бути не менше 800 мм і залежить від виду ґрунту основи. Висота наземної частини зазвичай дорівнює 50 мм.

До позначки монтажу машину доставляють на санчатах 1. Потім за допомогою домкратів 3, які встановлюють під фланці бочки, її піднімають. У міру підйому підкладають дерев'яні бруски 7, розташовані по обидва боки фундаменту 2. Потім від'єднують санчата 1 від станини б і стійки 4, прибирають їх з-під машини, навішують фундаментні болти і опускають

машину разом з ними на фундамент, заводячи болти в його колодязі.

Болти в колодязях заливають цементним розчином і після його затвердіння вивіряють масловиготовлювача на горизонтальність за рівнем. Для вивірки в поздовжньому напрямку рівень 9 встановлюють на верхню кромку станини (базову площину) (рис. 7.1 ) і в бочці уздовж осьової балки 5, а в поперечному напрямку - на верхню кромку станини. Положення машини можна змінити, встановлюючи під станину металеві підкладки. Точність встановлення в поздовжньому і поперечному напрямках повинна становити 0,1-0,2 мм на 1 м вивіряної поверхні. Після вивірки і закріплення масловиготовлювача на фундаменті перевіряють рівень масла в коробці швидкостей, підшипники якої змащуються під тиском. Рівень мастила повинен відповідати середині мастилопоказника для заливки слід використовувати мастило індустріальне 45 (машинне С).

Потім відповідно до схеми змащення, що прикладається до паспорта машини, змащують всі підшипники шляхом набиванням прес маслянок.

Якщо масловиготовлювача надходить в розібраному вигляді, то спочатку встановлюють, вивіряють і закріплюють станину, а потім стійку. Вивіряють стійку по струні і штихмасу, причому струну спочатку центрують по підшипнику станини (при знятій вісі), а потім по ній вивіряють положення підшипника стійки. Відстань між фланцями обох осей повинна дорівнювати 1730 мм. Після вивірки і закріплення стійки встановлюють барабан і збирають огорожу і душовий пристрій.

## **Технічний сервіс**

### ***Налагодження масловиготовлювача***

Випробують масловиготовлювач, вхолосту, без заповнення барабана. До проведення індивідуальних випробувань люк для вивантаження масла щільно закривають, а огорожу встановлюють в робоче положення. Рукоятки управління на коробці швидкостей встановлюють в положення «ввімкнено». Потім за допомогою маховика барабан провертають вручну на 2...3 оберти і переконуються в легкості його обертання. Після цього знімають клинові паси

з маховика електродвигуна і випробують електродвигун. Слідом за цим одягають клиноподібні ремені і при короткочасному включенні електродвигуна рукояткою пуску і гальмування перевіряють напрямок обертання барабана. Якщо дивитися з боку приводу, барабан повинен обертатися в напрямку за годинниковою стрілкою. Маслоготовлювач випробовують вхолосту протягом 1 год з перемиканням на різні швидкості обертання барабана.

Індивідуальне випробування маслоготовлювача під навантаженням з водою, якою заповнюють барабан на 1/3 ємності. Тривалість випробування на різних швидкостях 2 години.

Як при випробуваннях вхолосту, так і під навантаженням, маслоготовлювач повинен працювати без стукотів, сторонніх шумів і різких вібрацій самої машини і перекриття. Температура нагріву підшипників не повинна перевищувати 60 °С.

#### ***Налагодження роботи маслоготовлювача***

В маслоготовлювачі регулюються і налагоджуються різні параметри, одним із них є температура збивання масла.

Температура збивання повинна змінюватися в залежності від вмісту жиру у вершках. Для вершків з малою жирністю температура збивання повинна бути більшою. Температура збивання повинна змінюватися обернено пропорційно від кислотності вершків. Для вершків з меншою кислотністю - більш висока температура збивання. Температура збивання залежить від середовища. Температура повинна бути вищою зимою, ніж літом. Температура збивання повинна змінюватися в залежності від властивостей вершків.

Швидкість збивання. Чим менша швидкість збивання, тим дрібніше масляне зерно (до певного розміру), тим менші втрати жиру в пахті.

Вологовміст масла. Вологовміст масла збільшується розміру масляного зерна, збільшення швидкості збивання, збільшення рівня води в шнековому текстураторі.

Для того, щоб відрегулювати швидко й легко степінь вологовмісту потрібно одночасно проводити тільки одне регулювання. Після кожного регулювання проводити аналіз вологовмісту.

При досягненні потрібного вмісту вологи вона зазвичай постійна, якщо немає змін в регулюванні та вершки поступають з одного танка.

При виробництві вершкового масла методом збивання вершків має місце двохсторонній вплив різних елементів регулювання, що не дозволяє привести точні цифрові данні температур збивання. Тому маслозавод повинен сам на основі практики встановлювати «Таблицю температур» для кожного виду вершків (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Регулювання параметрів масловиготовлювача

Елементи регулювання		Об'єкти регулювання	
		вологовміст масла	продуктивність
Помірність вершків	↗	↗	↗
Кислотність вершків	↗	↗	↘
Температура вершків	↗	↗	↗
Подача вершків	↗	↘	↗
Швидкість збивача	↗	↗	→
Швидкість обертання шнеків	↗	↗	→
Рівень сифонів	Їх підняттям	↗	→
Температура промивної води	↗	↗	→

- ↗ - підвищення;
- ↘ - пониження;
- - стала.

Якщо елемент регулювання змінюється в напрямку, зворотному тому, який в таблиці, вологовміст масла та продуктивність масловиготовлювача змінюється також в зворотному напрямку, ніж дано в таблиці 7.1.

### ***Експлуатація масловиготовлювача ММ-1000***

Масловиготовлювач до роботи готують не більше 15 хв. Спочатку перевіряють наявність мастила в коробці механізму. Потім закривають оглядові вікна і кран і наливають в бочку чисту гарячу воду (близько 10 % ємності). Люки закривають і бочку обертають 4...5 хв на великій швидкості. Гарячу воду спускають, наливають холодну чисту воду (температура води не вище температури збивання) і бочку знову обертають 4...5 хв. Після цього спускають воду і заливають вершки.

Наповнивши ємність вершками, беруть пробу вершків для аналізу і перевіряють їх температуру. Потім закривають люки, опускають огорожу і вмикають масловиготовлювач на велику швидкість. Збивання триває 30...45 хв. Протягом перших 3...5 хв збивання масловиготовлювач зупиняють 1...2 рази для випуску з бочки газів.

Як тільки утворюється масляне зерно, збивання закінчують. Масловиготовлювач зупиняють, зливають сколотини через крани або для скорочення часу через люк з прикріпленою до нього сіткою. Потім промивають масляне зерно водою. Після спуску промивної води виробляють посолку і обробку масла на тихому ході масловиготовлювача.

В процесі обробки ємність зупиняють для спуску залишилася промивної води, взяття проби масла для визначення вмісту вологи та внесення потрібної кількості води, що встановлюється розрахунком.

Видаливши масло, в ємність наливають холодну воду в кількості 10 % від об'єму ємності бочки і обертають бочку 2-3 хв. Після зупинки спускають через кран холодну воду, наливають таку ж кількість гарячої води і обертають бочку 2-3 хв. Бочку зупиняють, змінюють воду і знову обертають 2-3 хв. При

обертанні бочки з гарячою водою треба періодично відкривати клапан для випуску пари.

Після спорожнення останньої промивної води знімають оглядові вікна, розбирають спускний кран і протирають масловиготовлювач зовні ганчіркою. У такому вигляді його залишають до початку роботи. Для більш ретельного очищення і дезінфекції слід промивати бочку гарячим содовим розчином або розчином хлорного вапна.

Ємності з нержавіючої сталі ретельно миють гарячим содовим розчином і чистою водою.

### ***Технічне обслуговування масловиготовлювача***

Для довготривалої експлуатації масловиготовлювача потрібно його обслуговувати згідно технічного паспорта.

Як зверху, так і в середині масловиготовлювач повинен бути завжди чистим. Не можна, щоб вода збиралась внизу машини, бо це викликає корозію. Місця, де знову стерлась фарба, потрібно пофарбувати.

Потрібно постійно контролювати температуру нагріву рухомих частин. В роботі масловиготовлювача не повинно бути шуму. Постійно слідкувати за рівнем масла в масло-мастильних пристроях. Якщо рівень масла падає, потрібно перевірити сальникові з'єднання.

Завжди перевіряти жир в пахті. Для зменшення витрат жиру з пахтою слід дотримуватись таких правил:

а) добре підігрівати вершки до збивання (пастеризація, дезодорація і особливо дозрівання вершків). Не можна різко нагрівати вершки;

б) регулювати до мінімуму зазори між білими і стінкою ємності. Номінальний зазор 1,5...2,5 мм;

в) постійно досягати того, щоб масляне зерно було малого розміру. Чим менше масляне зерно, тим менша швидкість збивання, менші втрати жиру;

г) не працювати на великих швидкостях збивання;

д) отримувати так зване «сухе масляне зерно», а потрібну вологість досягти за рахунок роботи апарата для дозування вологи;

ж) обробку масляного зерна проводити якомога меншою швидкістю, для того, щоб утримати згущення масляних зерен коло під'ємної плити.

Вміст води в пахті не повинен перевищувати 10 %. У випадку перевищення цієї величини потрібно відрегулювати сифону трубу і перевірити тиск води. При залишковому тиску відбувається велике попадання зерен масла в промивну воду. Зменшення тиску води аналізує вихід масляного зерна.

## **8. Заходи з охорони праці та охорони довкілля**

### **8.1. Заходи з охорони праці і техніки безпеки в маслоцеху**

До основного технологічного обладнання по виробництву масла вершкового відносяться: зважуючі приймальні місткості, насоси, сепаратори, пастеризаційні установки, сепаратори для отримання високожирних вершків, маслоутворювач, маслообробник, дестабілізатор, технологічні візки, установка для фасування масла.

Основні вимоги з безпечної експлуатації електричних насосів і стабілізатора передбачають в першу чергу якісне складання і забезпечення точності монтажу. При складанні насосу слід старанно встановлювати ущільнюючі прокладки, кільця і манжети. Основними небезпечними для людей факторами роботи насосів є вібрації та можливість ураження електричним струмом внаслідок надмірної вологості. Для мінімізації і уникнення шкідливої дії вищеназваних чинників передбачається встановлення віброізоляції і заземлення. Заземлення повинно відповідати УДК 621.316.9:006.354 “ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення”.

Нормативним документом, який регламентує рівень шумів для різних категорій робочих місць і службових приміщень являється УДК 534.835.46:658.382.3:006.354 “ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки”.

Під час роботи підтікання насосу не повинно перевищувати встановлених для даної конструкції максимальних нормативних значень.

При несправному насосі (при зачепленні робочих органів за корпус, кришку, при підвищеній вібрації та шумі) працювати не дозволяється.

Технологічні місткості закритого типу повинні в першу чергу забезпечувати герметичність.

Підтікання є недопустимим фактором, оскільки створює додаткові

небезпечності для обслуговуючого персоналу (слизька підлога, підвищена вологість). Зростає імовірність падіння і отримання травм, а також ураження електричним струмом.

Головними вимогами, які слід витримати при експлуатації сепараторів-молокоочищувачів і сепараторів-вершковідділювачів, є:

– пуск і зупинка машини може проводитись тільки відповідальною за експлуатацію особою, призначеною відповідним наказом або розпорядженням на підприємстві;

– до обслуговування сепараторів допускаються працівники, які мають досвід роботи, пройшли спеціальну підготовку і вивчили інструкцію з експлуатації;

– перед пуском слід перевірити наявність заземлення, надійність кріплення болтових з'єднань, щільність закриття кришок;

– категорично забороняється знімати кришку сепаратора до повної зупинки;

– тарілки після миття слід монтувати суворо у встановленому порядку згідно нанесеної на них нумерації;

– у випадку постійного наростання вібрацій при роботі (входженні сепаратора у зону резонансу) слід відключити подачу електричного струму і негайно покинути приміщення цеху до повної самовільної зупинки сепаратора.

Відкриті місткості слід розміщувати на висоті, яка б унеможливила випадкове падіння у них обслуговуючого персоналу. Рекомендується встановлення захисних огорож.

Перед і після подачі продукту місткість слід обов'язково піддавати миттю.

При експлуатації установок для пастеризації суттєву небезпеку становлять ситуації, пов'язані з тепловими опіками. Стандартами передбачається максимально допустима температура поверхонь, які є вільні для дотику, не більша від 50 °С. З метою забезпечення нормальних умов праці

пропонується застосовувати теплоізоляцію або кожухи, які б забезпечували відсутність вільних умов дотику до нагрітих поверхонь. Для деяких випадків допускається застосування тканинних рукавиць (ДСТУ 7239:2011).

Маслозмішувачі (закритого виконання) можна віднести до категорії малонебезпечних машин. Вони не працюють при високому надлишковому тиску або високих температурах. Робочі органи закриті зовні огорожувальними конструктивними елементами. Температура охолоджувальної рідини не настільки низька, щоб становити небезпеку для здоров'я обслуговуючого персоналу.

У приводу масловиготовлювача джерелом живлення є промислова мережа струму напругою 380 В, тому під час його експлуатації необхідно дотримуватися основних правил безпеки під час роботи з електрообладнанням.

Робочі елементи машини (ножі-мішалки) конструктивно розміщені в замкненому просторі й тому не становлять явної небезпеки. Однак олійниці можуть працювати на відносно високих швидкостях, що може спричинити вібрацію та шум. Ці пристрої приводяться в дію електродвигунами і повинні відповідати ПУЕ, бути надійно заземленими, оскільки в процесі роботи можуть накопичувати значні заряди статичної електрики. Приводні шестерні мають бути закриті захисними кожухами. Для забезпечення безпеки під час ремонту або огляду необхідно також використовувати захисні пристрої.

Для зниження ризику ураження електричним струмом передбачено окремий автоматичний вимикач. Протягом усього терміну служби масловіддільника необхідно стежити за станом ізоляції струмоведучих елементів мережі та заземлення. Останнє допомагає уникнути ураження електричним струмом у разі дотику неізольованих частин до корпусу маслоутворювача. Вибір заземлення вибирається згідно з ДСТУ 7237:2011.

Основним джерелом шуму в машині є електродвигун приводу ножів мішалки та самі ножі мішалки. Оскільки рівень шуму електродвигуна масловиготовлювача знаходиться в межах норм, вважаємо, що жодні

додаткові засоби для зниження рівня шуму електродвигуна приводу не є доцільними. Для зниження рівня шуму трансмісій приводу робочих органів пропонується закрити їх захисними кожухами.

При експлуатації фасувального автомату особливу увагу слід звернути на його герметичність і відсутність підтікання. Відкриті рухомі частини (зубчасті сегменти, муфти, виступаючі кінці валів, махові колеса, гребінки тощо), передачі (шків, паси) повинні мати захисні засоби, які забезпечують безпеку при обслуговуванні, виступаючі частини машин, що обертаються (шпонки, штопорні гвинти тощо) закриті гладенькими футлярами; зубчасті шестерні, муфти редукторів закриті з усіх сторін кожухами (щитками).

Пристрої для пуску і зупинки машин і агрегатів розміщують так, щоб ними можна було користуватися зручно і швидко. Всі частини машин, апаратів, які треба змащувати, мають автоматичні мастильні прилади. Якщо таких приладів немає, а підшипники треба наповнити мастилом під час роботи трансмісій, змащувати їх можна лише при безпечному підході до підшипників, або при допомозі спеціальних трубок і маслянок, виведених у безпечну і зручну зону.

### ***Санітарно-гігієнічні вимоги в маслоцеху***

При проектуванні і монтажі нового устаткування треба забезпечити: основні проходи у місцях постійного перебування робітників шириною не менш ніж 1,5 м; проходи біля прорізів віконних, доступних з рівня підлоги, або площадки - не менше 1 м; проходи для огляду і регулювання апаратів і приладів - не менше 0,8 м; проходи для огляду трубопроводів і апаратів, які не треба регулювати - не менше 0,7 м; ширина проходів між автоматичними і механізованими лініями (по їх осях) і головних проїздів - не менше 2,4 м. Розриви між окремими машинами, верстатами, ємкостями, розміщеними в одному ряду - не менше 0,35 м.

При розміщенні стрічкових, роликівих та інших транспортерів треба передбачати проходи між стіною і однією поздовжньою стороною транспортера не менше 0.7 м, а між двома паралельно розміщеними

транспортерами - не менше 0,9 м. При цьому з протилежної сторони транспортери при стрічці завширшки до 60 см можна встановлювати впритул до стіни, а при стрічці завширшки понад 60 см роблять розрив від стіни завширшки не менше 0,4 м; при наявності на транспортерах перекидних візків проходи збільшують з врахуванням виступаючої частини візка.

Експлуатація обладнання, пов'язаного з відкритими дзеркалами технологічних рідин (приймальні місткості ванни тощо) пов'язана з інтенсивним випаровуванням і виділенням теплоти. Одним з найбільш ефективних засобів боротьби з ними є встановлення місцевої вентиляції. До найбільш ефективних прикладів застосування місцевої вентиляції належать повітряні душі. Температури і швидкості руху повітря на постійних робочих місцях, які обслуговуються повітряними душами, слід приймати згідно з СН 245-71, а розрахункові параметри оточуючого повітря – згідно СНіП II-33-75.

Одними з найбільш поширених на переробних підприємствах небезпечних ситуацій є ситуації, пов'язані з використанням обладнання, яке має рухомі елементи (так звані механічні небезпеки). До механічних відносять небезпечності, які можуть виникнути біля любого об'єкту, здатного спричинити травму в результаті неспровокованого контакту об'єкту або його частини з людиною. До таких небезпечних елементів на молокозаводі в першу чергу відносяться ланцюгові та пасові передачі приводу технологічного обладнання, відкриті зубчаті передачі, перемішуючі робочі органи (перемішуючі органи ванн, мішалки резервуарів для зберігання молока) тощо. Ситуації, пов'язані з механічними небезпечностями нормуються з чинними ДСТУ.

Найбільш дієвими в такому випадку запобіжними заходами є створення умов, коли небезпечна частина не є легкодоступною (наприклад, закривається кожухом чи кришкою), а також застосування кінцевих електричних контактних датчиків, які припиняють подачу струму у випадку відкриття або демонтажу запобіжної кришки чи кожуха.

## ***8.2. Розроблення заходів з охорони довкілля***

При інтенсивному розвитку всіх галузей народного господарства, а особливо молочної галузі питання охорони навколишнього природного середовища мають винятково важливе значення.

Поширення ери НТР спричинило фундаментальні зміни в техніці та технології виробництва. Впровадження нових, більш ефективних технологічних процесів, різке зростання продуктивності праці та розширення масштабів виробництва вимагали відповідного збільшення матеріальних та енергетичних ресурсів, що, в свою чергу, призвело до багаторазового збільшення різних видів відходів виробництва.

У вітчизняному законодавстві дані питання є досить широко розробленими. Ще на стадії проектних робіт згідно Законів України “Про охорону природньо-навколишнього середовища” і “Про екологічну експертизу кожен проект необхідно проаналізувати з точки зору здійснення негативного впливу на довкілля і по можливості мінімізації цього впливу.

Викиди в навколишнє середовища внаслідок функціонування молочного виробництва можна класифікувати як організовані та неорганізовані. Неорганізовані – це викиди випарів і пилюки, які утворюються в результаті нещільностей в апаратах, трубопроводах, комунікаціях, через нещільно закриті чи відкриті вікна та двері, при погано організованому транспортуванні, прийманні та складуванні сировини і продуктів. Неорганізовані викиди мають місце при переповненні місткостей та при розлитті технологічних рідин з послідовним змиванням їх в каналізаційні стоки. Особливо небезпечними для водойм та повітряного середовища є аварійні (залпові) скиди рідких та газоподібних речовин, які стаються при неполадках та виробничих аваріях.

З метою здійснення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря та проведення розрахунків забруднення атмосфери в приземному шарі на молочних підприємствах проводять інвентаризацію викидів шкідливих речовин в атмосферу. Валові викиди шкідливих речовин визначають розрахунково-балансовим методом за витратою сировини та матеріалів в

технологічних процесах. Інвентаризацію проводять при нормальному експлуатаційному режимі роботи технологічного обладнання.

Контроль за виконанням заходів з охорони навколишнього природного середовища виконує головний механік та інженер з охорони праці.

Інструментальний контроль за викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря виконує лабораторія спеціалізованої організації.

Утворення забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу, відбувається при спалюванні природного газу, при згорянні якого в атмосферу виділяються окисли азоту та оксид вуглецю.

Економне витрачення природних і сировинних ресурсів – важлива умова раціонального природокористування, а також попередження забруднення навколишнього середовища. Це має досягатися скороченням втрат природних матеріалів на всіх етапах їх руху, а також використанням відходів виробництва.

Головним напрямком раціонального використання ресурсів і охорони оточення є перехід підприємства на маловідходні технології, які відзначаються своєю екологічністю.

Функціонування маловідходного виробництва забезпечується розробкою і впровадженням технологічних процесів та використанням обладнання, що дозволяють комплексно переробляти сировину з використанням усіх компонентів, істотно зменшити забруднення навколишнього середовища відходами виробництва, використовувати відходи без порушення екологічної рівноваги.

Для зменшення викидів в атмосферу потрібно розробляти наступні заходи:

- розроблення режимних карт горіння для котельні;
- встановлення газоочисних та пиловловлюючих установок.

Вони дозволяють без значних видатків зменшити забруднення навколишнього середовища та зекономити витрати енергетичних і природних ресурсів.

До виробництв, що викликають серйозний вплив на забруднення природного середовища, відносяться молокопереробні підприємства. Концентрація органічних забруднень у стоках по хімічному (ХСК) і біологічному (БСК) споживанню кисню сягає 2 – 20 г/л, зважених частинок 5 – 8 г/л, що в 50 – 80 разів більше ніж у господарсько-побутових вод населених пунктів. Висока концентрація органічних забруднень в стоках підвищує навантаження на загальноміські очисні споруди, що призводить до порушення їх роботи.

Виробничі стічні води молокопідприємств характеризуються великим вмістом завислих речовин, у яких до 90 % органічних, високою концентрацією розчинених речовин, серед яких хлорид натрію, сполуки азоту, жири. Температура води сягає 30 °С. Крім того води мають високу степінь бактерицидної забрудненості. Тому перед скиданням стічних вод їх обов'язково очищають. Оскільки стічні води скидаються в міську каналізаційну систему, то вимоги до концентрації забруднювачів не такі суворі, як при скиданні у водойми. Однак вміст жиру у всіх випадках лімітується досить низьким рівнем, 50 мг/л, що обумовлено необхідністю захисту каналізації від жирових відкладень.

Для підтримання холоду у морозильних камерах на підприємстві є аміачна компресорна, від технологічного обладнання якої в атмосферу виділяється аміак.

При згорянні палива в котельні, яка забезпечує цех теплом і паром, в атмосферу виділяється сажа, діоксид азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю II, оксид ванадію.

Крім забруднень стічних вод викликаних особливостями технологічного процесу, відбувається також забруднення їх миючими розчинами лугів, які використовуються при митті технологічного обладнання. До них відносяться розчини кальцинованої соди, каустичної соди.

Аналізуючи матеріали по викидам шкідливих речовин, можна зробити невтішний висновок, що забруднення атмосфери підприємством проходить в основному в трьох напрямках:

- викиди організовані від технологічного обладнання;
- скиди вентиляційного повітря системи витяжної вентиляції;
- неорганізовані викиди від відкритих площадок та споруд (відкриті ємності, відкриті споруди очистки стічних вод, зони проведення завантажувально-розвантажувальних робіт, відстійники і т.п.).

### ***Заходи по зменшенню негативного впливу на довкілля***

Природоохоронні заходи для діючих підприємств включають комплекс заходів, визначених системою державних законодавчих актів, згідно з якими комплекс захисних заходів щодо запобігання забрудненню атмосферного повітря викидами підприємств включає архітектурно-планувальні, конструктивні та технологічні засоби розсіювання шкідливих викидів через високі димові труби, очищення вентиляційного повітря, технологічних і димових газів перед їх викидом в атмосферу, а також контроль за забрудненням атмосферного повітря викидами.

Важливе значення для забезпечення потрібних санітарно – гігієнічних нормативів повітряного середовища має правильне планування промислової площадки. Для зменшення шкідливого впливу на довкілля захисна зона підприємства засаджена зеленими насадженнями. Крім поглинання шкідливих парів та газів зелені насадження знижують рівень шуму, а також збагачують повітря киснем. Зелені насадження складають 55 % від загальної площі санітарно-захисної зони.

Одним з найважливіших конструктивно-технологічних засобів зменшення забруднення навколишнього середовища для цього підприємства є рекуперація тепла за рахунок використання вторинних енергоресурсів, значна частина яких споживається, збільшуючи теплове забруднення довкілля.

Санітарно-технічні заходи включають рециркуляцію та утилізацію відходів, очищення вентиляційного повітря від шкідливих речовин.

Основним методом захисту повітряного басейну від шкідливих викидів є очищення попереднє технологічних газів і вентиляційного повітря, яке також здійснюється на газокислотних виробництвах. Застосовують сухе механічне очищення, вологе очищення, електроочищення та фільтрацію. Використовуються такі пристрої: циклони, пиловловлювальні камери, жалюзійні пристрої, відцентрові пиловловлювачі.

Для ефективної роботи очисних споруд і повітреочисного обладнання необхідно постійно контролювати якість їх роботи і оперативно усувати недоліки, розробляти і вдосконалювати конструкції діючих установок.

## 9. Технологія машинобудування

### 9.1. Розроблення технологічного процесу складання черв'ячного редуктора приводу масловиготовлювача ММ-1000

Як виріб машинобудівного виробництва було вибрано привод масловиготовлювача. Привод масловиготовлювача призначений для приведення в обертальний рух барабану масловиготовлювача. Складається з черв'яка 7, валу колеса 8, колеса 1 які встановлюються на підшипники 23, 24 та 25. Підшипникові вузли закріплюються стаканами 13, 14 та кришками 11, 12. Вузли закріплені в корпусі 5 та кришці корпуса 6.

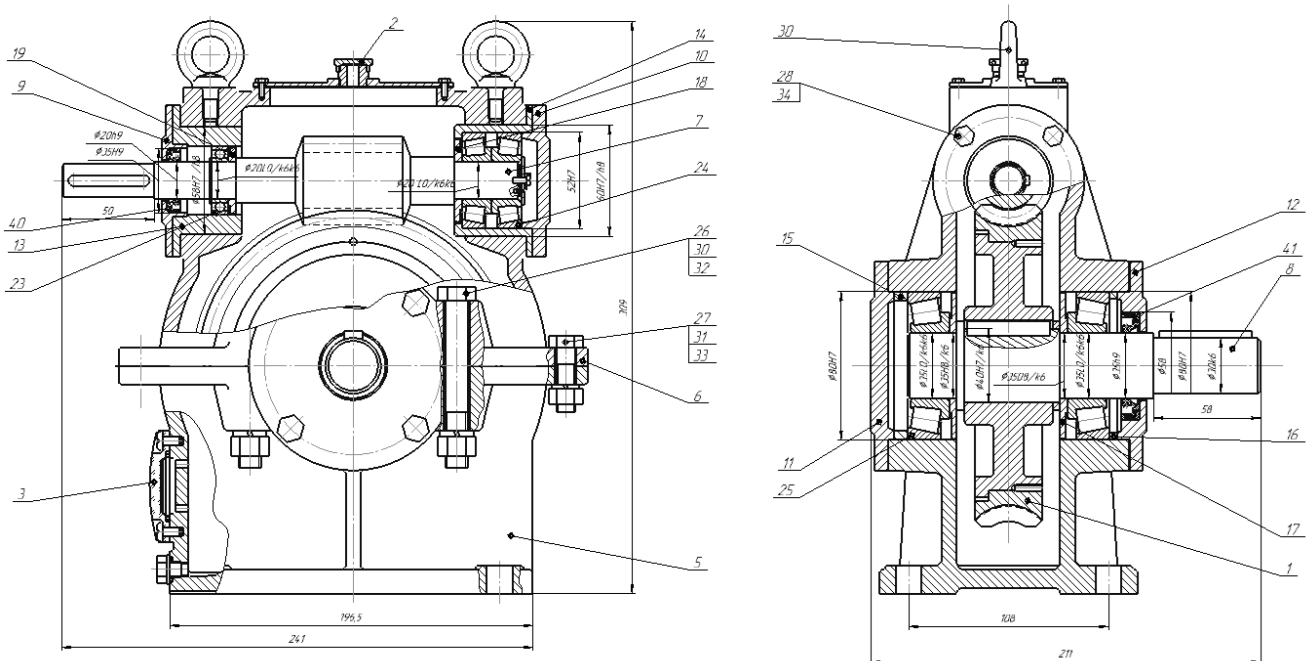


Рис. 9.1 Загальний вигляд черв'ячного редуктора

## Подетальний склад черв'ячного редуктору

Таблиця 9.1.

Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей	Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1	Колесо	1	24	Підшипник 7304 ТУ37.006. 162-89	2
2	Віддушина	1	25	Підшипник 7304 ТУ37.006. 162-89	2
3	Показчик рівня мастила	1	26	Болт М12 х 90 ДСТУ(ГОСТ) 7805-70	4
5	Корпус	1	27	Болт М10 х 35 ДСТУ(ГОСТ) 7805-70	2
6	Кришка корпусу	1	28	Болт М6 х 20 ДСТУ(ГОСТ) 7805-70	8
7	Черв'як	2	29	Болт М6 х 20 ДСТУ(ГОСТ) 7805-70	8
8	Вал	1	30	Гайка М12 ДСТУ(ГОСТ) 5915-70	4
9	Кришка	1	31	Гайка М10 ДСТУ(ГОСТ) 5915-70	2
10	Кришка	1	32	Шайба 12 Н ДСТУ(ГОСТ) 6402-70	4
11	Кришка	1	33	Шайба 10 Н ДСТУ(ГОСТ) 6402-70	2
12	Кришка	1	34	Шайба 6 Н ДСТУ(ГОСТ) 6402-70	8
13	Стакан	1	35	Шайба 8 Н ДСТУ(ГОСТ) 6402-70	8
14	Стакан	1	36	Шпонка 6 х 6 х 28 ДСТУ(ГОСТ) 23360-78	1
15	Втулка	1	37	Шпонка 6 х 6 х 28 ДСТУ(ГОСТ) 23360-78	1
16	Втулка	1	38	Шпонка 10 х 8 х 45 ДСТУ(ГОСТ) 23360-78	1
17	Маслозгінне кільце	2	39	Шпонка 10 х 8 х 45 ДСТУ(ГОСТ) 23360-78	2
18	Маслозгінне кільце	1	40	Манжета 1-20 х 35-1 ДСТУ(ГОСТ) 8752-79	1
19	Маслозгінне кільце	1	41	Манжета 1-35 х 58-1 ДСТУ(ГОСТ) 8752-79	1
23	Підшипник 1000904 ДСТУ(ГОСТ) 8338-75	1			

З аналізу конструкції приводу мішалок (рис.1) необхідно виділити складальні одиниці 1-го порядку, а саме: СК.1 – вал колеса - корпус, СК.2 – вал черв'яка, СК.3 – кришка корпусу.

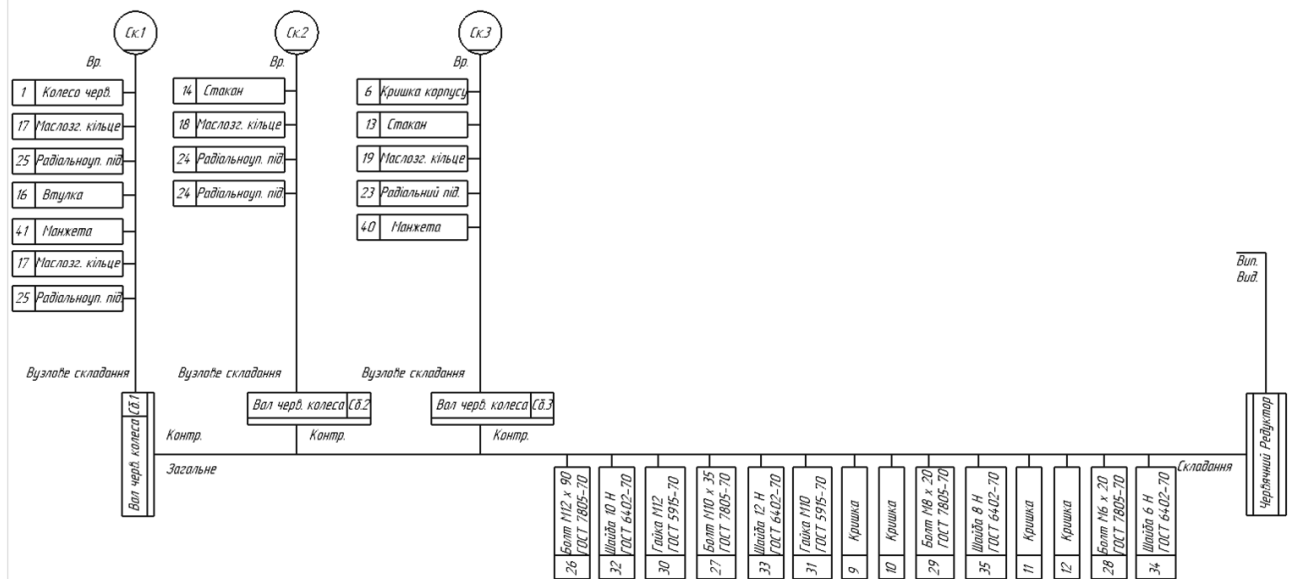


Рис. 9.2 Технологічна схема складання приводу мішалок

### Технологічний маршрут складання приводу

Таблиця 9.2.

№ операції	№ переходу, зміст переходу
10. Складання валу черв'ячного колеса -корпус (СК.1)	<p>10.1. Установити вал черв'ячного корпусу на верстаті</p> <p>10.2. Встановити черв'ячне колесо на вал</p> <p>10.3. Встановити маслосгонне кільце</p> <p>10.5. Встановити радіальноупорний підшипник</p> <p>10.5. Встановити втулку</p> <p>10.6. Встановити гумове ущільнення</p> <p>10.7. Встановити маслосгонне кільце</p> <p>10.8. Встановити радіальноупорний підшипник</p> <p>10.9. Встановити в складальний вузол «вал черв'ячного колеса – корпус СК.1»</p>

<p>20. Складання черв'ячного валу (Ск. 2)</p>	<p>20.1. Установити вал черв'яка на верстаті 20.2. Встановити стакан 20.3. Встановити маслозгінне кільце 20.4. Встановити радіальноупорний підшипник 20.5. Встановити радіальноупорний підшипник</p>
<p>30. Складання кришки корпусу (Ск.3)</p>	<p>30.1. Установити кришку корпусу на верстаті 30.2. Встановити стакан 30.3. Встановити маслозгонне кільце 30.4. Встановити радіальний підшипник 30.5. Встановити гумове ущільнення 30.6. Встановити кришку 30.7. Встановити в складальний вузол «кришка корпусу Ск.3» 30.8. Вкрутити «кришку корпусу Ск.3» на фланець «вал черв'ячного колеса – корпус Ск.1». 30.9.Закрутити болти М12х90 30.10 Закрутити болти М10х35</p>
<p>40. Складання</p>	<p>40.1. Встановити кришки вала колеса 40.2. Закрутити болти М8х20 40.3. Встановити кришки вала черв'яка 40.4. Закрутити болти М6х20</p>
<p>50. Контрольна</p>	<p>50.1. Перевірити роботу вузла</p>
<p>60. Консервація.</p>	<p>60.1 Нанести захисне покриття</p>

## 10. Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування

У наш час впровадження автоматизації у всіх галузях народного господарства – один із головних напрямків створення сучасного виробництва. Цьому питанню приділяється велика увага. Сучасна харчова промисловість – високоомеханізовані підприємства, які потребують комплексної автоматизації.

Автоматизація технологічних процесів є важливим засобом підвищення продуктивності праці, скорочення витрат матеріалів та енергії, підвищення якості продукції, впровадження прогресивних методів керування виробництвом та підвищення ефективності праці.

Впровадження автоматизації в виробництво молока та молочних продуктів дозволяє здійснити контроль та регулювання основних параметрів, що забезпечує високу якість виробленої продукції.

Розрізняють такі ступені автоматизації :

- а) часткова, при якій автоматизовано окремі ділянки виробництва або процесу, їх взаємного зв'язку між собою;
- б) комплексна, при якій автоматизовано всі основні або допоміжні ділянки процесів.

Поряд з локальними системами управління основними технологічними процесами запроваджується централізовані системи на базі управляючих ЕОМ та мікропроцесорних контролерів.

Зокрема, велику увагу приділяють автоматизації процесів на ділянці теплової обробки молока, які впливають на якість продукції, втрати сировини і енергії. Концентрація виробництва, зростання потужностей підприємств,

використання неперервних способів виробництва, оснащення підприємств новим високопродуктивним обладнанням – створюють передумови для запровадження Автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП). Застосування АСУТП обумовлено значним економічним ефектом, який досягається завдяки: забезпеченню заданих якісних показників продукції в незалежності від суб'єктивних факторів, зниженню трудоємності процесів виробництва, підвищенню культури виробництва.

Системи АСУТП на базі мікропроцесорних контролерів дозволяють реалізувати «гнучкі» алгоритми управління, змінювати алгоритми керування без демонтажу системи шляхом перепрограмування, при цьому розширюються і функціональні можливості системи.

### **Опис функціональної схеми автоматизації**

1. Вимірювання маси молока на вагах здійснюється електротензометричним пристроєм для автоматичного зважування продуктів в ємностях, типу 1858 УТВ-(1а);
2. Контроль рівня у зрівнювальному баці здійснюється за допомогою поплавка;
3. Автоматичний контроль та регулювання рівня молока в збірниках;
4. Автоматичний контроль тисків на ділянках технологічної схеми;
5. Автоматичний контроль та регулювання витрат молока до та після теплообмінника;
6. Контроль температури на виході із сепаратора-молокоочисника;
7. Контроль температури пастеризованого молока на виході із трубчастого стерилізатора;
8. Контроль температури молока на виході із секції охолодження здійснюється термометром ТПТ-4;

9. Автоматичне програмно-логічне і ручне дистанційне управління здійснюється електроприводами та клапанами.

Керування всіма технологічними процесами здійснюється за допомогою мікропроцесорного контролера «Siemens».

Сигнали про  $t^0$  молока надходить до логічного мікропроцесорного контролера (19-1), який регулює  $t^0$  пастеризації молока, діючи на подачу води в теплообмінник для підігріву молока через пневматичний виконавчий механізм (5г). Якщо  $t^0$  молока на виході з секції пастеризації буде  $<t^0$  пастеризації то система управління повертає молоко на повторну обробку.

Для контролю рівня мін молока в збірнику використовується система сигналізації, яка складається з датчиків (4а, 4б), і має вихід на контролер, який управляє виконавчим механізмом (4д) встановленим на трубопроводі.

Ручне дистанційне управління електроприводами насосів, сепаратора, гомогенізатора здійснюють системи, які складаються з магнітних пускачів NS, кнопок дистанційного управління H/SBi, перемикачів режиму управління HS/SAi і мають вихід на контролер для програмного управління електроприводами.

Згідно схеми автоматизоване управління технологічним процесом ділянки, здійснюється з пункту управління, де розміщено щит управління і постійно знаходиться оператор.

На щиті управління сконцентроване технічні засоби що дозволяють здійснювати контроль і регулювання параметрів .

### **Обґрунтування вибору системи технічних засобів автоматизації**

При виборі системи автоматизації слід виходити з структурних і алгоритмічних особливостей, умов роботи і вимог до якості роботи проектованої системи. Для забезпечення таких вихідних даних необхідна однорідність вимог до апаратної частини, а також невелика інерційність об'єкта . Сучасні автоматичні пристрої дозволяють швидко обробляти та

приймати значно більшу кількість інформації, ніж це доступно людям. Дякуючи цьому розробляються та втілюються в практику процеси, які важко виконати при звичайному способі керування ними. Автоматизація технологічних процесів є одним із вирішальних факторів, підвищення рівня виробництва та покращення умов праці. Всі наявні виробничі об'єкти та ті які будуються в тій чи іншій мірі забезпечуються засобами автоматизації. При технічно грамотному підборі засобів автоматизації підвищується випуск продукції, знижується її собівартість, скорочується кількість обслуговуючого персоналу, практично виключаються аварійні ситуації.

Завдання на розробку АСУТП наведено в табл.10.1

Таблиця 10.1

№	Обладнання	Кількість	Параметр	Система АСУТП			Місце контролю
				Вид системи	Характер контролю, регулювання	Додаткові вимоги	
1	Збірник молока	1	Рівень мінім., номін	Контроль Управління Регулювання	Сигналізація Автоматична і ручна, дистанційна стабілізація	Світлова, звукова сигналізація Дія на подачу молока	Щит -П- По місцю
2	Теплообмінник	1	$t^0$ Пастеризації	Контроль Регулювання Управління	Покази, запис Сигналізація Стабілізація Автоматичне і ручне блокування	Світлова Дія на подачу пари Дія на потік молока	Щит -П- -П-
3	Підігрівач води	1	$t^0$	Контроль	Покази, сигналізація	Світлова	-П-
4	Трубопровід молока	2	Витрати	Контроль Регулювання	Покази, стабілізація	Дія на подачу молока	-П- по місцю
5	Паропровід Гомогенізатор Сепаратор	3	Тиск	Контроль	Покази		-П-
6	Електроприводи	5	Стан	Контроль Управління	Сигналізація Автоматичне і ручне дистанційне	Світлова, звукова Пуск стоп	Щит по місцю
7	Запірні клапани	2	Стан	Контроль Управління	Покази, Автоматичне регулювання	Відкрити, закрити	Щит -П-

Специфікація на пристрої і засоби автоматизації

Таблиця 10.2

Параметр	Значення параметру	Місце встановлення	Назва приладу та коротка його характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод виготовлювач
Температура	0-100°C	Трубопроводи і в'ємностях	Термометри опору типу ТСП-175. Межі вимірювання 50...150°C, градування М50	ТСП-175	6	м.Львів (НВО) "Термоприлад"
Температура	0-100°C	По місцю	Багатоточковий АЕМ типу КВМ-1 -507. Клас точності 1. Шкала 0...100°C	КВМ-1-507	2	м.Львів (НВО) "Термоприлад"
Температура	0-100°C	По місцю, в трубопроводі	Електропневматичний клапан ЕПК 1/4. Дистанційне керування вимикачем ВТ-1, сигналізується лампочкою.	ЕПК-1/4 ВТ-1	4	м.Львів (НВО) "Термоприлад"
М1-М4			Пускова і сигнальна апаратура електродвигунів, насосів, приводів маслоутворювача та маслообробника	ПМЕ-122 ПМЕ-22	4	Siemens GmbH
Тиск	0,1-0,5 МПа	Трубопроводи	Мановакуометр МЕД, 22364 -0,1÷0÷+0,9 Клас точності 0,5	МЕД, 22364	3	м. Харків ООО «НПП «УАМ» (UAM)

## 11. Маркетингове обґрунтування проекту

*Українські компанії, які виробляють обладнання для виробництва  
вершкового масла*

**ПП «ТХЛ Палладіум»** (м. Тернопіль) пропонує надійне і високо-технологічне харчове обладнання власного виробництва, виготовлене за умовами ТУ У 28.9-33768388-001:2017, а також провідних закордонних виробників під замовлення. У каталозі продукції широко представлене все необхідне обладнання для організації повного виробничого циклу - від приймання молока до фасування та пакування молочної продукції.

**Молочне обладнання, яке реалізується даним підприємством** - спеціальні агрегати, установки та виробничі лінії для таких підприємств молочної промисловості як молочні та молочно-консервні комбінати, масло- і сирзаводи, що здійснюють комплексну переробку сировини і випуск молочної продукції (молоко, сметана, сир, спреди, вершкове масло, згущене молоко, морозиво і багато ін.)

Крім виробництва і постачання обладнання, компанія пропонує повний спектр послуг з монтажу, запуску, ремонту та сервісного обслуговування, а також виконує модернізацію і комплексну реконструкцію молокопереробних та інших харчових виробництв згідно бізнес та проектних документацій.

**Компанія ТОВ «ОріонГруп»** (Київська обл, с. Крюковщина), що була створена в 1995 році, по праву займає провідні позиції у сфері виготовлення, постачання і монтажу ємнісного обладнання в Україні та за її межами. Компанія виготовляє ємності з нержавіючої сталі об'ємом від 0,01 м<sup>3</sup> до 1000 м<sup>3</sup>. Компанія надає послуги з комплексного механічного монтажу технологічного устаткування і трубопроводів, електромонтажу, ізоляції, налагодження та введення в експлуатацію.

Пропонуються такі технологічні рішення з використанням сучасних технологій виробництва:

- Автоматичні системи мийки СІР;
- Лінії ESL (тривалий термін зберігання продукту), мікрофільтрація;
- Сепарація, гомогенізація, нормалізація молока;
- Ємності зберігання продукту і стерильні ємності;
- Інтеграція дозуючих і пакувальних систем;
- Системи клапанів, трубопроводів в гігієнічному та стерильному виконанні;
- Комплексні рішення по автоматизації.

**ТОВ «ВКФ УкрЮжМолпром» (м. Одеса).**

Вітчизняний виробник обладнання для харчової промисловості "УкрЮжМолпром" пропонує великий вибір сучасного устаткування. В наявності лінії переробки молока, універсальні міні-цехи, масловиготовлювачі, ємності для різних завдань (термоусадка, зберігання, формування) та багато іншого обладнання для молочної промисловості. Обладнання виготовлено з харчової нержавіючої сталі, що забезпечує його надійність та безпечність.

**ТОВ «ІНПРОМІНОКС» (м. Дніпро).**

ТОВ «ІНПРОМІНОКС» здійснює інжиніринг, виготовлення, поставку та монтаж ємнісного і технологічного обладнання з нержавіючої сталі для виноробної, лікеро-горілчаної, молочної, хімічної і фармацевтичної промисловостей.

Накопичений досвід дозволяє компанії успішно реалізовувати найскладніші проекти. На заводі виробляються ємності з нержавіючої сталі будь-якого обсягу, конструкцій і призначення.

Поставляючи обладнання, ТОВ «ІНПРОМІНОКС» забезпечує технічне і гарантійне обслуговування, поставку запчастин і навчання персоналу. При виробництві продукції, яку постачає ТОВ «ІНПРОМІНОКС» діє система

управління якістю відповідно до ISO 9001-2000, що забезпечує високий рівень якості та надійності.

Сталь, що застосовується для виготовлення ємностей – AISI 304, AISI 316, яка відповідає всім вимогам та нормам ЄС для харчових продуктів, холоднокатана, листова з двостороннім захисним покриттям.

Пропонуються наступні види обладнання.

1. Ємності для приймання і зберігання молока різного об'єму і призначення. У тому числі – ємності-охолоджувачі, ємності для приймання молока, молочно-кислого бродіння, розведення чистої молочної культури молочно-кислою бактерією, приготування розсолу і т.д.
2. Теплообмінні апарати та установки. Пастеризаційно-охолоджувальні установки для охолодження молока в безперервному потоці, пастеризатори резервуарного типу і т.д.
3. Обладнання для переробки молока: сепаратори, молокоочисники, вершковідділювачі, гомогенізатори, установки для мембранної фільтрації та насоси для молочної продукції.
4. Лінії для виготовлення молочної продукції – згущеного молока, розмішування сухого молока.
5. Системи централізованої мийки.

Враховуючи підтвержену вище наявність сучасних вітчизняних виробників обладнання для виробництва вершкового масла, запропоноване нами технічне рішення може бути реалізоване силами цих виробників обладнання, що забезпечить значно нижчу, в порівнянні з закордонними виробниками, його ціну та вартість доставки, а також подальшого обслуговування.

## Висновки

Аналіз літературних джерел дозволив систематизувати дані про вершки середньої жирності, як об'єкта механічної обробки, визначити роль цієї обробки в процесі утворення масляного зерна, як основного чинника формування продукту, а також проаналізували конструкції масловиготовлювачів періодичної дії.

На основі проведеного аналітичного огляду можна зробити висновок, що в багатьох масловиготовлювачах періодичної дії досить низька продуктивність та недостатня гомогенність масляного пласта.

З допомогою методу CFD досліджено вплив механічної дії робочих органів на характер руху вершків в барабані масловиготовлювача. Отримано візуальне спостереження залежності полів швидкості руху вершків від конструкції робочого органу.

На підставі цих досліджень та розрахунків очікується, що запропоноване технічне рішення по удосконаленню масловиготовлювача ММ-1000 приведе до:

- підвищення продуктивності цього обладнання;
- зниження собівартості виробництва за рахунок зменшених енергетичних витрат;
- підвищення якості виробленого вершкового масла.

## Список використаних джерел

1. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підруч. для студентів ВНЗ / Мирончук В.Г., Гулий І.С., Пушанко М.М. та ін. - Вінниця: Нова книга, 2007. — 648с.
2. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навч. посіб. / Мирончук В.Г., Орлов Л.О., Пушанко М.М. та ін. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 288с.
3. Сухенко, Ю.Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підруч. для студентів ВНЗ / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко. — К.: НУХТ, 2010. — 547 с.
4. Загальні технології харчових виробництв: підручник / В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, М.М. Калакура, Л.Ф. Романенко. – К. : Университет "Україна", НУХТ, 2010. – 814 с.
5. Кривопляс-Володіна Л.О. Основи наукових досліджень у прикладних задачах: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Яровий В.Л., Токарчук С.В. – К.: Сталь, 2016. – 271 с.
6. Ванін, В.В. Комп'ютерна інженерна графіка в середовищі AutoCAD / В.В. Ванін, В.В. Перевертун, Т.М. Надкернична. – К.: Каравелла, 2006.–334 с.
7. Гліненко, Л.К. Основи моделювання технічних систем / Л.К.Гліненко, О.Г. Сухоносів – Львів: Бескид Біт, 2003. – 176 с.
8. Томашевський, В.М. Моделювання систем / В.М.Томашевський – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с.
9. Пальчевський, Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація) / Б.О.Пальчевський – Львів: Світ, 2001. – 232 с.

10. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посібник / І. М. Заплетніков, В. Г. Мирончук, В. М. Кудрявцев ; Нац. ун-т харч. технол., Донец. нац. ун-т екон. і торг. — Київ : Кафедра, 2018. — 344 с. — рекомендовано кафедрою. — ISBN 978-966-2711-00-4.

11. Монтаж та технічний сервіс обладнання. Практикум [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Мирончук, Д. М. Люлька, О. А. Єщенко, О. І. Свідерська ; за ред. В. Г. Мирончука ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2017. — 162 с. — ISBN 978-966-612-199-1.

12. А.с. № 468319 СРСР, МПК А 01 J 15/12. Маслообразователь непрерывной дѣи [Текст] / Г. А. Єресько, В. М. Коваленко, С. С. ГуляевЗайцев. - № 1942818 / 28-13; заявл. 12.07.73; опубл. 25.04.75. Бюл. № 15.

13. Інноваційне обладнання молокопереробних підприємств [Текст] : підручник / І. Г. Бабанов, О. М. Гавва, О. І. Бабанова та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : Інкос, 2019. — 718 с. — ISBN 978-617-598-127-6.

14. Арсеньева, Т. П. Регулювання структури та консистенції масла з комбінованим жиром [Текст] / Т. П. Арсеньева, А. Д. Грищенко // Сироваріння і маслоделіе. - 2005. - № 4. - С. 37-38.

15. Масло вершкове. Технічні умови. Зі змінами. Словник термінів: ДСТУ 4399:2005 - [Чинний від 2005.28.04.]. — К.: Держспоживстандарт України 2007. — 35 с.

16. Masami, K. Butter's characteristics: Effect of processing / K. Masami // INFORM: Int. News Fats, Oils and Relat. Mater. - 1996. - 7, № 10. - P. 1104-1110.

17. Bernadett, L. Examination of the correlation of butter spreadability and its fat conformation by DSC / L. Bernadett, G. Obert, B. Szily // J. Therm. Anal. And Calorim. - 2006. - 84, № 2. - P. 425-428.

18. Рашевська Т.О. Технологія молока і молочних продуктів. Розділ: Технологія вершкового масла. Підручник. — Київ: НУХТ, 2011. — 86 с.

18. Тищенко, Л.М. Дослідження складу та властивостей молочного жиру і вдосконалення технології вершкового масла: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.16 — Київ, 2009 — 26 с.