

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С. Гулого

Кафедра технологічного обладнання  
та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Блаженко С.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ Мирончук В.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Кваліфікаційна робота**  
на здобуття освітнього ступеня бакалавра

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
освітньо-професійної програми  
Обладнання переробних і харчових виробництв

на тему:

**«Удосконалення конструкції змішувача кондитерських мас з метою покращення якості процесу змішування»**

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗОХ-5-7ск

Степаненко Антон Станіславович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник: Якобчук Роман Леонідович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ – 2021р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування  
Освітній ступінь бакалавр  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва)  
Освітня програма «Обладнання переробних і харчових виробництв»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТОКТП  
проф. Мирончук В.Г.

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

Степаненко Антон Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення конструкції змішувача кондитерських мас з метою покращення якості процесу змішування

керівник проекту (роботи) Якобчук Роман Леонідович, доц., кандидат тех. наук  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «09» листопада 2020 р. № 934-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2021р.

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): анотація, зміст; вступ, порівняльний аналіз технічних рішень, техніко-економічне обґрунтування, характеристика вихідної сировини і готового продукту, опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи, розрахункова частина, вибір конструкційних матеріалів, технологічний маршрут виготовлення деталі, вимоги щодо монтажу, експлуатації, ремонту, опис системи управління, заходи щодо охорони праці, екології; загальні висновки, список використаних літературних джерел, специфікація.

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

Загальний вигляд обладнання – 2 аркуші; Складальні одиниці обладнання – 2 аркуші;

Технологія машинобудування – 1 аркуш.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 14.09.2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Анотація, зміст</i>	30.09.2020	
2	<i>Вступ</i>	09.10.2020	
3	<i>Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі</i>	16.10.2020	
4	<i>Техніко-економічне, соціальне обґрунтування.</i>	23.10.2020	
5	<i>Характеристика вихідної сировини і готового продукту</i>	30.10.2020	
6	<i>Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи.</i>	13.11.2020	
7	<i>Вибір конструкційних матеріалів</i>	13.11.2020	
8	<i>Розрахункова частина</i>	20.11.2020	
9	<i>Технологічний маршрут виготовлення деталі</i>	30.11.2020	
10	<i>Вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту</i>	11.12.2020	
11	<i>Опис системи управління</i>	18.12.2020	
12	<i>Заходи щодо охорони праці, екології</i>	18.12.2020	
13	<i>Висновки</i>	30.12.2020	
14	<i>Графічна частина: 5 аркушів формату А3</i>	15.01.2021	
	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.02.2021	

Здобувач \_\_\_\_\_  
( підпис )

Степаненко А.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Якобчук Р.Л.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі наведено технологічні задачі підготовки основних кондитерських, а саме, в'язкопластичних цукеркових мас, що використовуються на виробництві для масового сортаменту цукристих або борошно-цукристих виробів кондитерської галузі.

Об'єктом удосконалення (зміна конструкції) є машина-змішувач для кондитерських в'язкопластичних мас – начинки для вафель.

Метою проекту є зміна конструкції змішувача з збільшенням продуктивності машини до 250 кг/год, покращення якості процесу змішування продукту. Це досягнуто шляхом встановлення у нову конструкцію змішувача шестеренчастого насосу з подальшим його удосконаленням, збільшення робочого об'єму ємності змішування – 165 л та вибір робочих органів – Z-подібні лопаті.

Проведено аналітичний огляд конструкцій обладнання для змішування, зроблені розрахунки механічних та технологічних параметрів, що доводить доцільність удосконалення змішувача.

Робота представлена на 67 сторінках пояснювальної записки та на 6 креслениках.

**Ключові слова:** змішувач, насос, лопаті, кондитерська маса.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Анотація</b>	<b>18-2016.КР.03.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

## SUMMARY

The qualification work presents the technological tasks of preparation of the main confectionery, namely, viscoplastic candy masses used in production for the mass assortment of sugar or flour-sugar products of the confectionery industry.

The object of improvement (change of design) is a machine-mixer for confectionery viscoplastics - waffle fillings.

The aim of the project is to change the design of the mixer with increasing the productivity of the machine to 250 kg / h, improving the quality of the product mixing process. This is achieved by installing a gear pump in the new design of the mixer with its further improvement, increasing the working volume of the mixing tank - 165 liters and the choice of working bodies - Z-shaped blades.

An analytical review of the structures of mixing equipment, calculations of mechanical and technological parameters, which proves the feasibility of improving the mixer.

The work is presented on 67 pages of the explanatory note and on 6 drawings.

**Key words:** mixer, pump, blades, confectionery mass.

## ЗМІСТ

	стор.
Анотація.....	3
Вступ.....	6
1. Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі.....	7
2. Техніко-економічне, соціальне обґрунтування.....	11
3. Характеристика вихідної сировини і готового продукту.....	12
4. Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи.....	14
5. Вибір конструкційних матеріалів.....	17
6. Розрахункова частина.....	18
7. Технологічний маршрут виготовлення деталі.....	40
8. Вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту.....	53
9. Опис системи управління.....	56
10. Заходи щодо охорони праці.....	58
11. Заходи щодо екології.....	62
Висновки.....	64
Список використаних літературних джерел.....	65
Специфікації.....	68

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Зміст</b>	<b>18-2016.КР.03.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

## ВСТУП

Харчова промисловість у країнах світу є однією з провідних галузей її економіки, що забезпечує потреби населення в харчових продуктах. Відповідно, це досягається, якщо забезпечувати харчові підприємства новим технологічним обладнанням з високими якісними показниками продуктивності та ефективності роботи. Забезпечувати проведення модернізації наявного обладнання, за рахунок чого досягається раціональне використання сировинних ресурсів та енерго- і матеріалозбереження.

Розвинення виробництва та його технічний і технологічний прогрес відбувається з удосконаленням (модернізацією) наявного обладнання, розроблення, виробництво нового, що більш ефективним. Режими та технологічні параметри харчових виробництв – контролюються пристроями автоматизації, де задіяна мікропроцесорна та комп'ютеризована техніка.

Технологічний процес виробництва певних видів продуктів кондитерського виробництва потребує відповідного обладнання, що забезпечить високу якість продукції.

Значне обсяг в технологічному виробництві харчових продуктів має обладнання для змішування окремих складових компонентів продукції в спеціальних машинах (змішувачах).

Машини для змішування відносяться до групи обладнання для перемішування та одержання однорідних мас.

В даній кваліфікаційній роботі розглядається машина для змішування кондитерських мас, неньютонівських рідин, що можуть транспортуватися трубопроводом примусово, під дією тиску. Для транспортуватися кондитерських в'язко-пластичних мас використовується обладнання, що відноситься до класу гідравлічних машин – насоси.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вступ</b>	<b>18-2016.КР.03.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>

# 1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

Обладнання для перемішування харчових (кондитерських) мас використовуються для різних галузей харчової промисловості: макаронній і кондитерській, хлібопекарній, м'ясній.

Для кондитерській промисловості застосовують змішувачі-бігуни, що призначені для приготування подрібнених мас і перемішування компонентів (горіхів, цукрової пудри, какао-продуктів і ін.). Проте, ширше використовують лопатеві змішувачі, робочими органами мають різні конструкції.

На кондитерських заводах частіше використовувались та використовуються змішувачі лопатевого типу з різною продуктивністю.

Характеристики декількох наведено далі.

## **ШМЖ змішувач.**

Це обладнання призначене для змішування цукеркових, шоколадних та мас для начинки у рецептурі яких є жир. Робоча ємність приводиться в рух електричним приводом, що забезпечує вивантаження продукту. Ємність оснащена тепловою сорочкою, обігрівається паром.

Параметри машини: продуктивність обладнання, кг/год – до 500; робочий об'єм ємності, л – 250; число обертів робочих валів, об/хв – 36; кількість робочих валів, шт. – 2; потужність привода, кВт – 8; тривалість замісу, хв – 10-12; ємність і робочі органи виготовлені з нержавіючої сталі; керування роботою машини – ручне.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі</b>	<b>18-2016.KP.03.001 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/4



Рис. 1.1. ШМЖ змішувач

### **Тістомісильна машина Г7-Т3-М-63.**

Вона призначена для змішування рецептурних компонентів та замісу в'язкопластичної маси, а саме тіста для виробництва кондитерських виробів (пряників, печива, соломки).

Параметри машини: об'єм робочої ємності, л – 300; кількість обертів робочих валів, об/хв – 38; кількість робочих валів, шт. – 2; потужність машини, кВт – 5,1; маса одного замісу, кг (тісто для печива вівсяного – 100, тісто для сушки – 160)

Ємність виготовлена з високолегованої нержавіючої сталі, а робочі органи – з якісної вуглецевої сталі. Керування машини – ручне.



Рис. 1.2. Тістомісильна машина Г7-Т3-М-63

**А2-ХТП – машина місильна.**

Машина застосовується для замішування тіста для булбиків або білого хліба.

Параметри машини: продуктивність машини, кг/год – 230; робочий об’єм ємності, л – 70; кількість обертівробочих валів, об/хв – 30; кількість робочих валів, шт. – 2; потужність машини, кВт – 3; маса компонентів одного замісу, кг – до 40.

Робоча ємність та органи виготовлені з нержавіючої сталі. Ємність приводиться в рух ручним приводом, що забезпечує вивантаження тіста. Сорочка для підігріву в ємності відсутня.

Для виготовлення різних цукеркових мас достатньо високої в’язкості з вмістом твердих добавок (горіх, цукати, подрібнена карамельна маса та ін.) та різних шоколадних мас, підготовки різних сумішей, які складаються з цукрової пудри, какао-порошку, перероблених кондитерських оборотних відходів використовують змішувачі типу А2-ШСД (рис. 1.3.) та А2-ШСП. Основні технічні параметри змішувачів представлені в таблиці 1.



Рис. 1.3. А2-ШСП змішувачі

Таблиця 1.1. Параметри змішувачів А2-ШСД та А2-ШСП

	А2-ШСД	А2-ШСП
Продуктивність змішувача, кг/год	710,0	570,0
Об'єм ємності змішувача, л	500,0	350,0
Кількість обертів робочих валів, об/хв	32,0	36,0
Кількість робочих валів, шт.	2,0	2,0
Потужність машини, кВт	16,5	6,62

Ємність машини виготовлена з сталі (нержавіючої), вона має сорочку обігріву чи охолодження продукту, в якій циркулює вода. Автоматично підтримується необхідна температура води.. Робочі органи – Z-подібні, що виготовлені з нержавіючої сталі.

Електромеханічний привід повертає робочу ємність машин для вивантаження готового продукту.

## 2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Використання прогресивних та енергозберігаючих технологій, що використовується є однією з перспективних завдань, що виникають в харчовій промисловості.

Велика увага приділяється проблемі захисту довкілля. Технологічне обладнання, що розробляється чи проектується, повинно відповідати нормативним документам. Безвідходне чи маловідходне виробництво може бути організоване відповідно за рахунок більш ефективного та досконалого перероблення вихідного матеріалу, що забезпечує вирішення цієї задачі.

Забезпечити конкурентність на ринку збуту продукції, можливо за рахунок підвищення якості продукції, зниження матеріальних та трудових витрат. Це забезпечується за рахунок раціонального і ефективного використання енергоресурсів.

Удосконалення наявного обладнання – це є розвиток будь якого виробництва і його технічний, технологічний прогрес.

В кваліфікаційній роботі виконано відповідні розрахунки, що забезпечує можливість створення надійного для змішувача кондитерських мас.

В результаті удосконалення нашого змішувача, передбачається підвищення продуктивності його до 250 кг/год, покращення якості змішування продукту та зменшення впливу людського фактору.

Всі ці відповідні удосконалення є економічними та мають велике соціальне значення.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Техніко-економічне, соціальне обґрунтування</b>	<b>18-2016.КР.03.002 ПЗ</b>				
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>	

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ І ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

Кондитерська маса – це маса, що тонко подрібнена та отримана за допомогою змішування рослинних жирів, какао-продуктів, цукру і інших компонентів, що входять у рецептуру.

Задачею є змішування щоб досягнути стану однорідності компонентів по всьому об'єму маси з одночасним диспергуванням та пластифікацією окремих компонентів та одночасному її підігріву.

Відповідно до завдання – необхідно розробити конструкцію змішувача, який може використовуватись в кондитерській галузі харчової промисловості для приготування кондитерських виробів.

Какао-масло[19] – жир, який вилучають із зерне плодів шоколадного дерева, білувато-жовтого кольору, має тверду, ламку консистенцію за кімнатної температури і характерний запах. Розділяють на натуральне какао-масло і дезодороване (яке піддається додатковій переробці).

Какао-масло застосовують як жирову основу для виготовлення різних кондитерських виробів (шоколад), а також у парфюмерній і фармацевтичній промисловостях.

Третина всіх жирів, що містяться в маслі, припадає на частку стеаринової кислоти, яка не приводить до підвищення рівня холестерину в крові. Інша третина – на долю мононенасиченої олеїнової кислоти, яка зменшує вміст холестерину.

Рослинні жири й олії (частіше просто олія) – це ліпідні компоненти, що отримані з рослинної сировини. Деякі тверді рослинні жири також можуть називати маслами: кокосове, какао-масло. Хоча жири містяться майже в усіх частинах рослин, у комерційній практиці вони видобуваються в основному з насіння, а також зародків, плодів [20].

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Характеристика вихідної сировини і готового продукту</b>	<b>18-2016.КР.03.003 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

**Цукор** – солодкий харчовий продукт, що є загальною назвою групи вуглеводів. Група ця складається з моносахаридів та дисахаридів, що містить:

- *моносахариди* (прості цукри):
  - глюкоза (виноградний цукор, декстроза);
  - фруктоза (фруктовий цукор);
  - галактоза;
- *дисахариди* (що складаються із залишків двох моносахаридів):
  - сахароза (цукроза, «звичайний цукор») = фруктоза + глюкоза;
  - мальтоза (солодовий цукор) = глюкоза + глюкоза;
  - лактоза (цукор молочний) = глюкоза + галактоза ,
- олігосахариди - це молекули які містять 3...6 залишків моносахаридів (тріози, пентози, гексози, тетрази). Знаходяться в цибулі, топінамбурі та часнику.

За звичай «цукор» в більшості застосовують до сахарози ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), яка виробляється промисловим способом з цукрового буряка (31 % світового виробництва), цукрової тростини (69% світового виробництва) або, значно рідше, з цукрового клена, соку пальми чи сорго. В цукровому буряку вміст сахарози становить – 16...20 %, а в цукровій тростині – 14...26%.

#### 4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

Машина, що удосконалюється в роботі, відноситься до машин типу змішувачів з використанням лопатевих робочих органів.

Змішувачі з двома валками мають робочі ємності з об'ємом: 500, 350, 70 л. З 500 і 350 л – використовуються на підприємствах великої потужності, а з об'ємом в 70 л – на малих. Для підприємств малих та середніх потужностей потрібні машини з робочою ємністю в 150...180 л.

Отже, машину з ємністю 70 л ми удосконалюємо, збільшуючи її ємність до 165 л. Аналогом для розробки (удосконаленням) нашої конструкції є змішувач марки А2-ХТП, що використовується при приготуванні кондитерських мас з наступними технологічними параметрами: продуктивність машини – до 80 кг/год; об'єм робочої ємності машини – 70 л; кількість робочих валів – 2 шт.; число обертання валів – 30 об/хв; потужність привода – 3 кВт; маса одного замісу машиною – 40 кг; робоча ємність, за допомогою ручного приводу, повертається для вивантаження маси готової порції продукції; підігрів робочої ємності здійснюється проточною водою.

Орієнтовні параметри машини для модернізації або розробки нової конструкції: продуктивність машини – до 250 кг/год, об'єм ємності – 150...165 л, кількість робочих валів – 2 шт., тип лопатей – Z-подібні, кількість обертів валів – 30...40 об/хв., потужність привода – до 4 кВт.

Інші вибрані параметри: ємність закріплена стаціонарно, вивантаження готової маси здійснюється за допомогою насоса, підігрівання обладнання та складових – водою, яка транспортується циркуляційною системою з автоматичним керуванням.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи</b>	<b>18-2016.КР.03.004 ПЗ</b>				
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/3</b>	

За прототип насосу взято насос шестеренчастого типу А2-ШНК. Удосконалення його полягає в заміні литого корпусу, кришок, що не мають рубашки обігріву, на зварні, які оснащені водяною рубашкою і ін.

Приводом для насосу буде єдиний привід, що забезпечує обертання робочих валів. Робочі вали машини з Z-подібними лопатями будуть виконання зварної конструкції.

Вибір конструкції Z-подібних (лопатеї) робочих органів обумовлений конструкцією ємності з двома валами, що є раціональним використанням. Це дозволить інтенсифікувати процес перемішування.

### **Будова та принцип роботи обладнання**

На рис. 4.1 та рис.4.2 зображено модернізовану машину для періодичного приготування кондитерських мас.

Конструкція змішувача – ємності 1 з робочими валами та лопатями 2, електропривід 3, насос 4, патрубок 5 для приймання продукту з ємності з клапаном, що розділяє, вал 6, муфта 7, трубопровід 8, водяна рубашка 9.

Робота змішувача. За допомогою лопатеї 2 робочих валів, перемішуються інгредієнти, що завантажені в ємність змішувача, певний час до утворення однорідної суміші. Потім, відкривається клапан патрубку 5 і вмикається насос 4, для перекачування маси, за допомогою муфти 7. Здійснюється циркуляція маси по системі трубопроводів 8, які з'єднані краном, маса перекачується насосом 4 з ємності 1 по системі трубопроводів і знову надходить у ємність 1. При цьому, кондитерська маса продовжує перемішуватись за допомогою лопатеї 2. Тобто, відбувається циркуляція маси певний період до її готовності. Потім, готова кондитерська маса направляється насосом через кран (трьохходовий) по трубопроводі 8 до наступного обладнання, відповідно до технологічного процесу виготовлення начинки для вафель. Ступінь гомогенізації продукту регулюється тривалістю його циркуляції

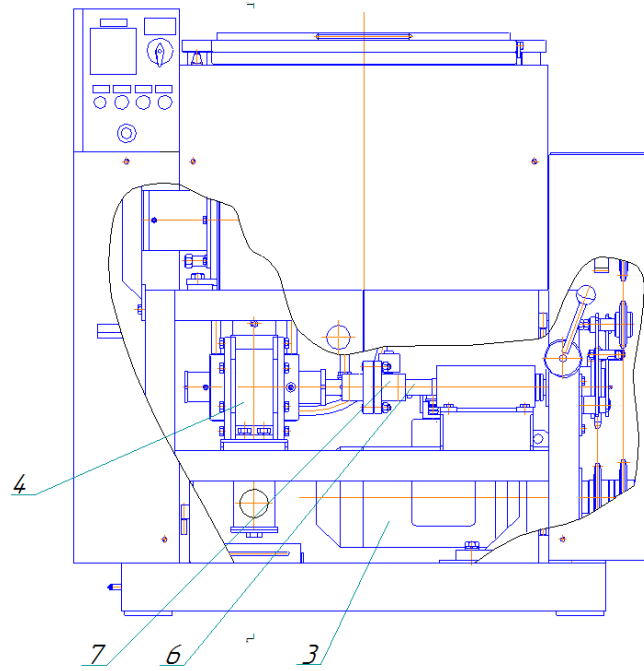


Рис.4.1. Загальний вид змішувача

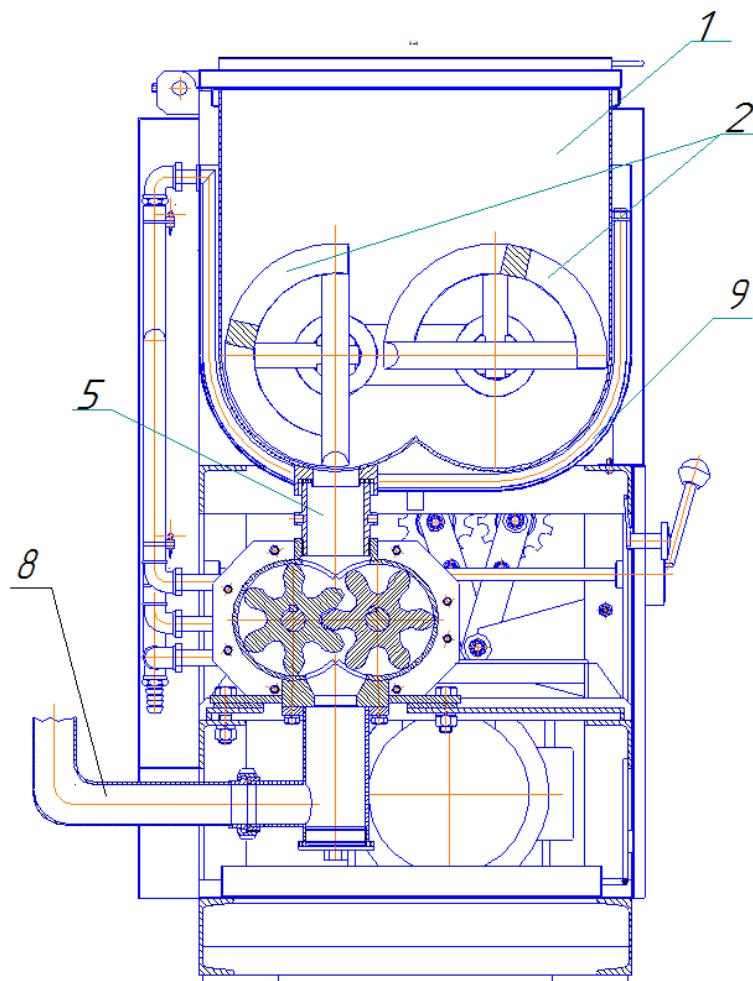


Рис.4.2 Загальний вид змішувача. Розріз

## 5. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

У кваліфікацій роботі модернізовано машину, що забезпечує змішування кондитерських мас. Вибір конструкційних матеріалів з яких виготовляється машини – це є відповідально.

Відповідно до нормативних документів, конструкції обладнання, що контактують з продуктом, повинні виготовлятися з матеріалів, які не впливають на нього та безпечні для організму людини.

Конструктивні елементи в змішувачі будуть виготовлені з корозієстійкої сталі 12X18H10T (AISI 321) ДСТУ 4738:007, що містить у собі (у відсотках): вуглець  $\leq 0,12$ , кремній  $\leq 0,8$ , марганець  $\leq 2,0$ , нікель – 9...11, хром – 17...19, титан – 0,8...1,6, залізо – основне, домішки: фосфор  $< 0,035$ , сірка  $< 0,02$ .

Деталі і вузли, які не мають контакту з продуктом, пропонується використання сталі 20 і 45 ДСТУ 2651:2005 і звичайна вуглецева сталь Ст3 ДСТУ 2651:2005.

Для зубчатих коліс шестерінчастого насосу прийнято рішення використати литьову бронзу БрА9Ж3А.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вибір конструкційних матеріалів</b>	<b>18-2016.КР.03.005 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>

## 6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 6.1. Технологічні розрахунки

#### 6.1.1. Параметричні розрахунки змішувача

Параметричні параметри – це параметри визначають основні зусилля в машинах, потужність та продуктивність.

Визначення розміру частинки, що входить до складових, як правило це частинка у вигляді кулі

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}} \quad (6.1)$$

де  $V$  – середньоарифметичне значення об'єму однієї частинки в одній фракції.

$$V = \frac{q_{np}}{n_{np} \cdot \rho_m} \quad (6.2)$$

де:  $n_{np}$  – кількість частинок в пробі;  $q_{np}$  – маса проби;  $\rho_m$  – густина частинки.

Коефіцієнт в'язкості при зсуві, для реологічних характеристик:

$$\mu_{эсп} = k * \gamma^{n-1} \quad (6.3)$$

де:  $k$  – реологічна константа;  $\gamma$  – швидкість зсуву,  $\frac{1}{сек}$ ;  $n$  – індекс течії,  $n = 0...1$ .

Якщо  $n < 1$  – різний ступінь «неньютонівських» рідини.

Течія ньютонівських рідин визначається:

$$\tau = \mu_{эп} \cdot \gamma \quad (6.4)$$

де  $\tau$  – напруга зсуву.

Тоді, для неньютонівських псевдопластичних рідин напруга зсуву буде:

$$\tau = k \cdot |\gamma|^{n-1} \cdot \gamma \quad (6.5)$$

Напруга зсуву буде:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = -\mu \frac{u}{h} \quad (6.6)$$

або

$$\tau = 2\mu \frac{Q}{h^2} \quad (6.7)$$

$u$  – змінна координат по зазору  $h$ ;  $Q$  – об'ємні витрати, що віднесені до одиниці довжини лопаті (основному напрямі).

Оскільки  $h$  – величина незмінна, напруга зсуву також постійна. Тоді Потужність на 1 довжини лопаті:

$$N = u \int_0^L \tau \cdot dx \quad (6.8)$$

або

$$N = \mu u^2 \frac{L}{h} \quad (6.9)$$

$L$  – довжина лопаті (вздовж осі обертання).

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Якобчук Р. Л.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Степаненко А. С.	Назва, додаткова назва <b>Розрахункова частина</b>	18-2016.КР.03.006 ПЗ			
	Документ затверджено Мирончук В. Г.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/22

## Витрати енергії на перемішування сипучих компонентів

На рис.6.1 наведена схема змішувача з розташування сил, які діють в ємності АО<sub>1</sub> або БО<sub>2</sub>. Лопаті встановлені під кутом  $\alpha$  до площини обертання.

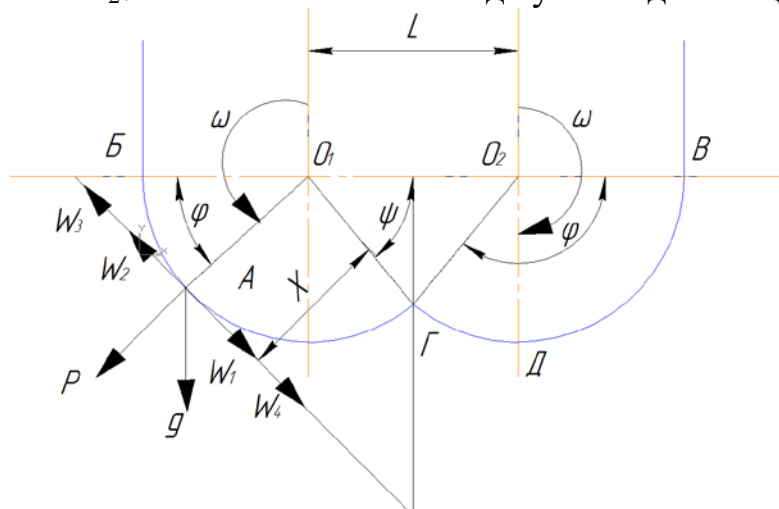


Рис.6.1 Схема сил

На частинку, що розташована на поверхні лопаті АО<sub>1</sub> діє сила тяжіння  $G$  та відцентрова сила інерції  $P$ .

Якщо: відстань від осі валу до частинки продукту  $x = AO_1$ ,  $g = 9,81$  м/сек<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння,  $\omega$  – кутова швидкість обертання, 1/сек.

Тоді

$$P = \frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot x, \text{ кг} \quad (6.10)$$

В площині руху частинки під дією цих двох сил виникають інші сили:

а) сила тертя продукту по дну ємності

$$W_1 = \left( G \cdot \sin\varphi + \frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot x \right) \cdot f, \text{ кг} \quad (6.11)$$

Де:  $\varphi$  – кут повороту лопаті, рад;  $f$  – коефіцієнт тертя частинки по металу;

б) складова сили тяжіння:

$$W_2 = G \cdot \cos\varphi, \text{ кг} \quad (6.12)$$

в) сила тертя продукту по лопаті:

$$W_3 = W_1 \cdot f \cdot \cos\alpha, \text{ кг} \quad (6.13)$$

г) сила тертя, що викликана дією сили тяжіння:

$$W_4 = W_2 \cdot f \cdot \cos\varphi \cdot \text{ctg}\alpha, \text{ кг} \quad (6.14)$$

Тоді сумарний опір від діючих сил буде:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \quad (6.15)$$

або

$$W = G \cdot \left( 1 + f \cdot \text{ctg}\alpha \right) \cdot \left( \frac{\omega^2 \cdot f \cdot x}{g} + f \cdot \sin\varphi - \cos\varphi \right), \text{ кг} \quad (6.16)$$

Позначимо :

$R$  - радіус лопаті, м;  $\psi$  - кут виходу лопаті із зони дії криволінійної частини (дна) ємності, рад;

Елементарна робота, витрачена на подолання сумарного опору при повороті лопаті на безкінечно малий кут  $d\varphi$  буде:

$$dA = (W_1 + W_3) \cdot R \cdot d\varphi - (W_2 + W_4) \cdot x \cdot d\varphi, \text{ кг}\cdot\text{м} \quad (6.17)$$

Рівняння для обрахунку повної роботи А (кг·м) при повороті лопаті на кут  $\varphi$  від 0 до  $\varphi = \pi - \psi$  (дуга ВГ) одержимо інтегруванням:

$$A = G \cdot (1 + f \cdot ctg\alpha) \cdot [f \cdot R \cdot (0,24 \cdot \omega^2 \cdot x + 1,71) + 0,71 \cdot x] \quad (6.18)$$

Для розрахунку візьмемо начинку, яка складається з сухих та рідких компонентів. Сухі компоненти масою  $G=80,4$  кг. Також відомо, що:  $f = 0,48$ ;  $\alpha=30^\circ$ ;  $ctg30^\circ=1,731$ ;  $R = 0,147$  м.

Кутова швидкість лопаті:

$$\omega = \frac{V}{R} \quad (6.19)$$

$$\omega = 0,554 / 0,147 = 3,77 \text{ сек}^{-1}$$

Відстань від осі валу до частинки продукту:

$$x = R - Q/2 \quad (6.20)$$

$Q = 0,04$  м – висота передньої грані лопаті,

$$x = 0,147 - 0,04 / 2 = 0,127 \text{ м.}$$

Тоді:

$$A_1 = 80,4 \cdot (1 + 0,48 \cdot 1,731) \cdot [0,48 \cdot 0,147 \cdot (0,24 \cdot 3,772 \cdot 0,127 + 1,71) + 0,71 \cdot 0,127] = 35,78 \text{ кг}\cdot\text{м},$$

або  $A_1 = 351$  Н·м.

Верхній рівень суміші в ємності ( $0,205$  м –  $0,147$  м =  $0,058$  м) – перемішування проходить на куті  $2\pi$ .

Конструктивно ємність має кут  $\psi = 90^\circ - 44^\circ = 46^\circ$ , відповідно кут  $\varphi = 90^\circ + 44^\circ = 134^\circ$ .

За подальший оберт лопаті на кут  $360^\circ - 134^\circ = 226^\circ$  – частина роботи на перемішування. Вона може бути врахована коефіцієнтом  $K_p = 226^\circ/134^\circ = 1,685$ .

Тоді за повний оберт лопаті буде виконана робота:

$$A_{n1} = A_1 \cdot K_p \quad (6.21)$$

$$A_{n1} = 351 \cdot 1,685 = 591,5 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Аналогічні умови роботи і другої лопаті. Тому, теоретично, робота лопатей змішувача наближено буде дорівнювати:

$$A_{3m} = 2 \cdot A_{n1}, \quad A_{3m} = 2 \cdot 591,5 = 1183 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Враховуючи деяку неточність (біля 10%) способу розрахунку, прийmemo  $A_{3m} = 1310$  Нм.

Змішування сухих компонентів, потім додаються рідкі компоненти. Опір змішування знижується на 10...12 %, тобто коефіцієнт  $f$  також буде меншим.

$$f_1 = f - 0,1 \cdot f = 0,48 - 0,1 \cdot 0,48 = 0,43$$

$$\text{Якщо } G_1 = G + G_m = 80,4 + 44,6 = 125 \text{ кг}$$

$$\text{Тоді } A_2 = 125 \cdot (1 + 0,43 \cdot 1,731) \cdot [0,43 \cdot 0,147 \cdot (0,24 \cdot 3,772 \cdot 0,127 + 1,71) + 0,71 \cdot 0,127] = 49,7 \text{ кг}\cdot\text{м або } A_2 = 487,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Аналогічно використовуючи коефіцієнт  $k_p=1,685$  знайдемо

$$A_{n2} = A_2 \cdot k_p \quad (6.22)$$

$$A_{n2} = 487,6 \cdot 1,685 = 821,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для двох лопатей:

$$A_{3M2} = 2 \cdot A_{n2} \quad (6.23)$$

$$A_{3M2} = 2 \cdot 821,6 = 1643,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Аналогічно прийємо  $A_{3M2} = 1900 \text{ Н} \cdot \text{м}$

### **Розрахунок потужності привода змішувача**

Потужність на приведення у рух двох Z-подібних лопатей буде:

$$N = 4 \cdot 150 \cdot d^{4,56} \cdot n^{2,72} \cdot \left(\frac{\rho_{cm}}{g}\right)^{0,78} \cdot \mu^{0,22} \text{ кг} \cdot \text{м/сек} \quad (6.24)$$

$d$  – діаметр кола, що описує лопать, м;  $n$  – число обертів лопаті, об/сек;  $\mu$  – динамічна в'язкість суміші (умовна)  $\text{кг} \cdot \text{сек/м}^2$

Використовуємо для розрахунку параметри однієї з кондитерських мас:  
 $\rho_{cm} = 1100 \text{ кг/м}^3$ ,  $\mu = 2,8 \text{ кг} \cdot \text{сек/м}^2$ .

$$\text{Тоді } N = 4 \cdot 150 \cdot (0,147 \cdot 2)^{4,56} \cdot \left(\frac{36}{60}\right)^{2,72} \cdot \left(\frac{1100}{9,81}\right)^{0,78} \cdot 28000^{0,22} = 226,8 \text{ кг} \cdot \text{м/сек}$$

$$\text{або } N = 226,8 \cdot 9,81 = 2225 \text{ Н} \cdot \text{м/сек} = 2,225 \text{ кВт}$$

Прийємо  $N=2250 \text{ Вт}$

Вибираємо привід – мотор-редуктор 3МП-50-56-661-G110-Ц-У3 з двигуном потужністю 4,0 кВт.

### **Витрати енергії для привода машини змішувача**

Коефіцієнти корисної дії частин приводу:

- Ланцюгова передача – робочі вали –  $\eta_1=0,93$
- Ланцюгова передача – насос –  $\eta_2=0,93$
- Зубчата передача між валами –  $\eta_3=0,95$
- Дві паришарикових підшипників робочих валів –  $\eta_4=0,99 \cdot 0,99=0,98$
- Одна пара шарикових підшипників проміжного валу приводу насоса –  $\eta_5=0,99$
- З'єднувальна муфта –  $\eta_6=0,99$

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta_{пр} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \quad (6.25)$$

$$\eta_{пр} = 0,93 \cdot 0,93 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,78$$

Враховуючи ККД  $\eta_{пр} = 0,79$  та величину роботи, яка виконується лопатями знайдемо потужність привода, що йде тільки на перемішування продукту:

$$N = \frac{A \cdot n}{\eta} \text{ кВт} \quad (6.26)$$

$$A = A_{3M2} = 1900 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (6.27)$$

$$n = 0,6 \text{ об/сек}$$

$$\eta = 0,79$$

$$N_A = \frac{1900 \cdot 0,6}{0,79} = 1443 \text{ кВт}$$

Прийmemo  $N = 1450 \text{ Вт}$

Додаючи потужність необхідну для роботи насосу  $N = 840 \text{ Вт}$  одержимо:

$$N_1 = N_A + N_H, \text{ Вт} \quad (6.28)$$

$$N_1 = 1450 + 840 = 2290 \text{ Вт}$$

Враховуючи потужність приводу для двох Z-подібних лопатей маємо:

$$N_2 = N + N_H, \text{ Вт} \quad (6.29)$$

$$N_2 = 2250 + 840 = 3090 \text{ Вт}$$

ККД мотор-редуктора ЗМП-50-56 використаного для приводу змішувача має величину  $\eta_p = 0,93$ , то необхідна потужність для приводу машини буде:

$$1 \text{ випадок} - N_{1м} = \frac{N_1}{\eta_p} = 2290/0,93 = 2463 \text{ Вт}$$

$$2 \text{ випадок} - N_{2м} = \frac{N_2}{\eta_p} = 3090/0,93 = 3323 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт розподілення потужності між валами та насосом:

$$k_{pn} = \frac{N}{N_H} \quad (6.30)$$

$$k_{pn} = \frac{2250}{840} = 2,7$$

Розподілення потужності:

$$N_{\Sigma} = (N + \Delta N_1) + N_H + \frac{\Delta N_1}{k_{pn}} \quad (6.31)$$

При  $\Delta N_1 = 670 \text{ Вт}$  знаходимо, що

$$N_{\Sigma} = (2250 + 670) + 840 + \frac{670}{2,7} = 4008 \text{ Вт}$$

$N' = 2,920 \text{ кВт}$  – для приводу робочих валів.

$N'_H = 1,080 \text{ кВт}$  – для приводу насоса.

### **Продуктивність змішувача**

Продуктивність, розрахунок можливо вести по формулі:

$$\Pi = 60 \frac{V \cdot \rho}{\tau} \cdot \varphi, \text{ кг/год} \quad (6.32)$$

$V$  - об'єм завантаження,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  - питома вага суміші,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\varphi$  - коефіцієнт використання машинного часу. Звичайно  $\varphi = 0,8-0,9$ ;  $\tau$  - протяжність циклу змішування, хв.

При завантаженні вручну:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 \quad (6.33)$$

$\tau_1$  - час завантаження компонентів,  $\tau_1 = 5 \text{ хв.}$ ;  $\tau_2$  - час закриття кришки ємності,  $\tau_2 = 1 \text{ хв.}$ ;  $\tau_3$  - час відкриття кришки ємності,  $\tau_3 = 1 \text{ хв.}$ ;  $\tau_4$  - час змішування,  $\tau_4 = 20 \text{ хв.}$ ;  $\tau_5$  - час вивантаження насосом,  $\tau_5 = 3 \text{ хв.}$

$$\tau = 5 + 1 + 1 + 20 + 3 = 30 \text{ хв.}$$

При автоматичному завантаженні:

$$\tau = \tau_1 + \tau_4 + \tau_5 \quad (6.34)$$
$$\tau_1 = 4\text{хв}; \tau_4 = 20\text{хв.}; \tau_5 = 3\text{хв.}$$
$$\tau = 4 + 20 + 3 = 27\text{хв.}$$

Розрахунок приведеної питомої ваги суміші для начинки:

цукрова пудра –  $\rho_1 = 550 - 870\text{кг/м}^3$ ;  
вафельна крихта –  $\rho_2 = 200 - 300\text{кг/м}^3$ ;  
какао порошок –  $\rho_3 = 600 - 700\text{кг/м}^3$ ;  
молоко сухе –  $\rho_4 = 500 - 600\text{кг/м}^3$ ;  
жир рідкий –  $\rho_5 = 850 - 950\text{кг/м}^3$ ;  
есенція –  $\rho_6 = 850 - 900\text{кг/м}^3$ .

В процентному співвідношенні, кг (%):

цукрова пудра – 60,55(48,5);  
вафельна крихта – 5,14 (4,1);  
какао порошок – 3,43 (2,7);  
молоко сухе – 15,06(12,1);  
жир рідкий – 40,65(32,5);  
есенція – 0,17(0,1).

$$G_c = 125\text{кг} \quad 100\%$$

Якщо прийняти:

$$\rho_1 = 870\text{кг/м}^3 \quad \rho_4 = 600\text{кг/м}^3$$
$$\rho_2 = 300\text{кг/м}^3 \quad \rho_5 = 950\text{кг/м}^3$$
$$\rho_3 = 700\text{кг/м}^3 \quad \rho_6 = 900\text{кг/м}^3$$

Доля питомої ваги компонента у суміші складає, кг:

$$\rho'_1 = 870 \cdot 0,485 = 422 \quad \rho'_4 = 600 \cdot 0,121 = 73$$
$$\rho'_2 = 300 \cdot 0,041 = 13 \quad \rho'_5 = 950 \cdot 0,325 = 309$$
$$\rho'_3 = 700 \cdot 0,027 = 19 \quad \rho'_6 = 900 \cdot 0,001 = 9$$

Приведена вага суміші:

$$\rho_c = \rho'_1 + \rho'_2 + \rho'_3 + \rho'_4 + \rho'_5 + \rho'_6 \quad (6.35)$$

$$\rho_c = 422 + 13 + 19 + 73 + 309 + 9 = 916 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_c = 916 \text{ кг/м}^3$$

Об'єм порції суміші, що завантажується в ємність змішувача:

$$V_c = G_c / \rho_c \quad (6.36)$$

$$V_c = 125 / 916 = 0,1365 \text{ м}^3$$

Тоді:

при ручному завантаженні –

$$\Pi = 60 \cdot \frac{0,1365 \cdot 0,916}{30} = 249,2 \text{ кг/год};$$

при автоматичному завантаженні –

$$\Pi = 60 \cdot \frac{0,1365 \cdot 0,916}{27} = 277,8 \text{ кг/год}$$

Продуктивність буде збільшуватися в  $\frac{277,8}{249,2} = 1,115$  рази, або на 11,5%

Для більш важких кондитерських мас ( $\rho_c = 1,05 \dots 1,1$ ) для  $V_c = 0,125\text{м}^3$

$$\text{Величина } \Pi = 60 \cdot \frac{0,125 \cdot 1,05}{27} = 291,3 \text{ кг/год}$$

### 6.1.2 Параметричні розрахунки насоса

Таблиця 6.1 Властивості видів начинок

Начинка	Час змішування, хв.	Напруга зсуву, г/м <sup>2</sup>	В'язкість динамічна, Па·с.
На гідрожирі з рослинної олії	20...25	280	$2,38 \cdot 10^4$
На рідкій фракції пальмового масла	20...25	485	$3,33 \cdot 10^4$
На кондитерському жирі	20...25	210	$1,92 \cdot 10^4$

#### Вихідні дані

- Продуктивність машини змішувача  $Q_3$ , кг/год – 250.
- Маса порції, що змішується  $M_n$ , кг – 125.
- Час процесу змішування  $\tau_1$ , хв – 20.
- Густина готового продукту (начинки)  $\rho$ , кг/дм<sup>3</sup> – 1,1.
- Час завантаження компонентів  $\tau_2$ , хв – 5.
- Час вивантаження начинки  $\tau_3$ , хв – 5.

#### Розрахунки

Час приготування порції:

$$T = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) / 60 \quad (6.37)$$

$$T = (20 + 5 + 5) / 60 = 0,5 \text{ год}$$

Кількість циклів приготування начинки за 1 годину:

$$N_{zm} = 1/T \quad (6.38)$$

$$N_{zm} = 1/0,5 = 2 \text{ цикла}$$

Кількість циклів роботи насоса за 1 годину:

$$N_n = N_{zm} = 2 \text{ цикла}$$

Розрахункова продуктивність насоса за 1 цикл роботи

$$Q_n = M_n / \tau_3 \quad (6.39)$$

$$Q_n = 125 / 5 = 25 \text{ кг/хв}$$

або

$$Q_n = 25 * 60 = 1500 \text{ кг/год}$$

Продуктивність зубчастого колеса за один оберт:

$$q_1 = \pi \cdot d \cdot (D_e - d) \cdot b / 2 \quad (6.40)$$

де  $\pi \cdot d$  – довжина кільця;  $(D_e - d)/2$  – висота кільця, яке витягнуто в довжину.

Продуктивність для двох зубчатих коліс

$$q_1 = 2 \cdot \left[ \pi \cdot d \cdot (D_e - d) \cdot b / 2 \right] \quad (6.41)$$

Тоді продуктивність насоса

$$Q_H = \pi \cdot d \cdot (D_e - d) \cdot b \cdot n \cdot \eta_0 \cdot 10^{-6} \text{ л/хв} \quad (6.42)$$

Якщо замінити  $d = m \cdot z$  і  $D_e = m \cdot (z + 2)$  одержимо розрахункову продуктивність насосу:

$$Q_H = 2 \cdot \pi \cdot m^2 \cdot z \cdot b \cdot \eta_0 \cdot n \cdot 10^{-6} \text{ л/хв} \quad (6.43)$$

Де  $m$  – модуль зубів коліс, мм;  $b$  – ширина зубчастого колеса, мм;  $n$  – частота обертання коліс, об/хв

Враховуючи, що  $m=18,5$  мм,  $z=6$ ,  $b=100$  мм,  $n=44,8$  об/хв знайдемо:

$$Q_H = 2 \cdot \pi \cdot 18,5^2 \cdot 6 \cdot 100 \cdot 44,8 \cdot 0,7 \cdot 10^{-6} = 40,4 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

або

$$Q_H = 60 \cdot 40,4 = 2424 \text{ л/год}$$

Прийmemo 2400 л/год

Враховуючи густину начинки

$$Q = Q_H \cdot \rho \quad (6.44)$$

$$Q = 2400 \cdot 1,1 = 2640 \text{ кг/год}$$

Прийmemo 2600 кг/год

Тривалість вивантаження із змішувача:

$$\tau_B = M_H / Q \quad (6.45)$$

$$\tau_B = 125 / 2600 = 0,05 \text{ год} = 3 \text{ хв}$$

Тобто  $\tau_B = 3 \text{ хв} < \tau_3 = 5 \text{ хв}$

### **Потужність приводу насосу**

Необхідна потужність електродвигуна, Вт

$$N = P_H \cdot Q / 1000 \cdot \eta \quad (6.46)$$

Де  $P_H = 0,6 \text{ МПа} = 6 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  – тиск насосу

$Q = 2600 \text{ кг/год} = 0,723 \text{ т/сек}$  – продуктивність насосу

Тоді

$$N = 6 \cdot 10^5 \cdot 0,723 / (1000 \cdot 0,62) = 700 \text{ Вт}$$

Напір насосу

$$P_H^n = 1,2 \cdot P_H \quad (6.47)$$

$$P_H^n = 1,2 \cdot 6 \cdot 10^5 = 7,2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$$

Відповідно, споживана потужність двигуна буде

$$N = 7,2 \cdot 10^5 \cdot 0,723 / (1000 \cdot 0,62) = 839 \text{ Вт}$$

Прийmemo  $N=850$  Вт

## 6.2 Теплові розрахунки

### 6.2.1 Тепловий розрахунок змішувача

Температурний режим технологічного процесу в змішувачі підтримується автоматично по заданій величині температури кондитерської маси за допомогою циркулюючої в системі обігріву води.

#### Початкові дані

- Маса порції, кг –  $m_n = 125$ .
- Температура компонентів, К –  $t_1 = 294$ .
- Температура начинки в змішувачі, К –  $t_2 = 307$ .
- Питома теплоємність начинки за температурі 307 К, кДж/кгК –  $C_n = 2,01$ .
- Теплопровідність начинки, Вт/м К –  $\lambda = 0,176$ .
- Густина начинки, кг/м<sup>3</sup> –  $\rho = 1100$ .
- Температура повітря в цеху, К –  $t_n = 294$ .
- Температура води при вході в рубашку ємності, К –  $t_3 = 328$ .
- Температура води при виході з рубашки ємності, К –  $t_4 = 308$ .
- Теплоємність води, Дж/кгК –  $C_p = 4,18$

#### Розрахунок теплопередачі поверхонь

На рис.6.2 – поперечний переріз машини.

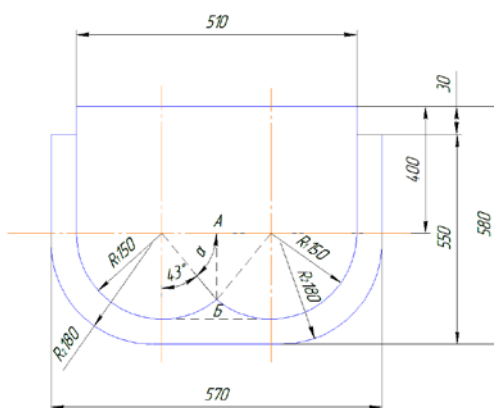


Рис.6.2 Поперечний переріз ємності

Довжина змішувача  $L_1 = 610$  мм;

Довжина дуги в 90° з радіусом  $R_1 = 150$  мм:

$$l_1 = \pi \cdot R_1 / 2 \quad (6.48)$$

$$l_1 = 3,14 \cdot 0,15 / 2 = 0,2355 \text{ м}$$

Довжина дуги в 43° радіусом  $R_1 = 150$  мм:

$$l_2/l_1 = 43^\circ/90^\circ \quad (6.49)$$

Тоді:

$$l_2 = l_1 \cdot 43^\circ/90^\circ \quad (6.50)$$

$$l_2 = 0,2355 \cdot 43/90 = 0,1125 \text{ м}$$

Довжина дуги в  $90^\circ$  радіусом  $R_2 = 180$  мм:

$$l_3 = \pi \cdot R_2/2 \quad (6.51)$$

$$l_3 = \pi \cdot 0,18/2 = 0,2826 \text{ м}$$

Площа криволінійної частини стінки (дна) радіусу  $R_1$ :

$$F_1 = 2 \cdot L_1 \cdot (l_1 + l_2) \quad (6.52)$$

$$F_1 = 2 \cdot 0,610 \cdot (0,2355 + 0,1125) = 0,42456 \text{ м}^2;$$

Площа стінок бокових

$$F_2 = 2 \cdot L_1 \cdot (0,4 - 0,03) \quad (6.53)$$

$$F_2 = 2 \cdot 0,61 \cdot 0,37 = 0,4514 \text{ м}^2$$

Площа внутрішньої поверхні теплопередачі ємності повна:

$$F_{\text{Тє}} = F_1 + F_2 \quad (6.54)$$

$$F_{\text{Тє}} = 0,42456 + 0,4514 = 0,876 \text{ м}^2;$$

Площа криволінійної частини стінки (дна) радіусу  $R_2$  рубашки ємності:

$$F_3 = 2 \cdot L_1 \cdot (l_3 + l_3) \quad (6.55)$$

$$F_3 = 2 \cdot 0,610 \cdot (0,2826 + 0,2826) = 0,68956 \text{ м}^2;$$

Площа бокових стінок рубашки:

$$F_4 = 2 \cdot L_1 \cdot (0,550 - 0,180) \quad (6.56)$$

$$F_4 = 2 \cdot 0,61 \cdot 0,37 = 0,4514 \text{ м}^2;$$

Площа прямолінійної поверхні дна рубашки:

$$F_5 = L_1 \cdot (0,57 - 2 \cdot R_2) \quad (6.57)$$

$$F_5 = 0,61 \cdot (0,57 - 2 \cdot 0,18) = 0,1281 \text{ м}^2$$

Площа зовнішньої поверхні торцевої частини рубашки ємності  $F_6$ :

$$F_6 = 2 \cdot (F_6' + F_6'' + F_6''') \quad (6.58)$$

$$F_6' = (0,4 - 0,03) \cdot (0,57 - 0,51) = 0,0222 \text{ м}^2$$

$$F_6'' = 0,03 \cdot (0,57 - 2 \cdot 0,18) = 0,063 \text{ м}^2$$

$$F_6''' = \pi \cdot (R_2^2 - R_1^2)/2 \quad (6.59)$$

$$F_6''' = \pi \cdot (0,18^2 - 0,15^2)/2 = 0,0141 \text{ м}^2;$$

$$F_6 = 2 \cdot (0,0222 + 0,063 + 0,0141) = 0,0853 \text{ м}^2$$

Площа внутрішньої поверхні частини рубашки ємності розраховується:

$$F_7 = 0,071 \text{ м}^2;$$

Об'єм сорочки ємності:

$$V_c = L_1' \cdot F_7, \quad (6.70)$$

де:  $L_1' = L_1 - 2\delta$ ,  $\delta = 3$  мм – товщина стінки ємності,

$$L_1' = 610 - 2 \cdot 3 = 604 \text{ мм};$$

$$V_c = 0,604 \cdot 0,071 = 0,043 \text{ м}^3;$$

Площа поверхні рубашки, що передає тепло

$$F_{\text{Тє}} = F_3 + F_4 + F_5 + F_6 \quad (6.71)$$

$$F_{\text{тс}} = 0,6895 + 0,4514 + 0,1281 + 0,0853 = 1,354 \text{ м}^2$$

Площа поверхні стінок ємності, які не обігріваються,  $F_{\text{тс}}$ :

Для однієї стінки:

$$\begin{aligned} F_1' &= 0,51 \cdot 0,4 = 0,204 \text{ м}^2 \\ F_2' &= 2F'_{90\text{град}} = \pi \cdot R_1^2 / 2 \end{aligned} \quad (6.72)$$

$$F_2' = \pi \cdot 0,15^2 / 2 = 0,0225 \text{ м}^2$$

$$F_3' = 2 F'_{43\text{град}} = 2 \cdot 0,5 R_1 l_2 \quad (6.73)$$

$$F_3' = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,15 \cdot 0,1125 = 0,0168 \text{ м}^2$$

$$F'_{\Delta OAB} = 0,5 R_1 \cdot AB \quad (6.74)$$

$$AB:R_2 = \sin \alpha, \text{ тоді: } AB = R_2 \cdot \sin \alpha = 0,15 \cdot 0,7314 = 0,1097 \text{ м}$$

$$2 \cdot F'_{\Delta OAB} = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,15 \cdot 0,1097 = 0,0164 \text{ м}^2;$$

Для обох стінок:

$$F_{\text{тс}} = 2(F_1' + F_2' + F_3' + 2 \cdot F'_{\Delta OAB}) \quad (6.75)$$

$$F_{\text{тс}} = 2(0,204 + 0,0225 + 0,0168 + 0,0164) = 2 \cdot 0,2597 = 0,5194 \text{ м}^2$$

Площа кришки ємності змішувача:

$$F_k = L_1 \cdot v, \text{ де: } v = 510 \text{ мм};$$

$$F_k = 0,61 \cdot 0,51 = 0,311 \text{ м}^2$$

### **Тепловий баланс змішувача**

Тепловий баланс змішувача буде:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (6.76)$$

де:  $Q_1$  – кількість тепла, що надходить з водою для нагріву начинки,

кДж;

$Q_2$  – кількість тепла, що одержує рецептурна начинка, кДж;

$Q_3$  – кількість тепла, що виділяється, кДж;

$Q_4$  – кількість тепла, яка повертається з водою у нагрівач, кДж.

Кількість теплоти:

$$Q_1 = G_b \cdot C_p \cdot (t_3 - t_4), \quad (6.77)$$

де:  $G_b$  – кількісна витрата води, що гріє, кг.

Відповідно для начинки:

$$Q_2 = m_n \cdot C_n \cdot (t_2 - t_1) \quad (6.78)$$

Величина втрат тепла  $Q_3$  і  $Q_4$  тимчасово виразимо коефіцієнтом  $x$ , а  $x = 1,02 \dots 1,08$  запишемо рівняння балансу  $Q_1 = Q_2$  так:

$$G_b \cdot C_p \cdot (t_3 - t_4) = m_n \cdot C_n \cdot (t_2 - t_1) \cdot x, \quad (6.79)$$

звідки необхідні витрати теплоносія

$$G_b = m_n \cdot C_n \cdot (t_2 - t_1) \cdot x / C_p \cdot (t_3 - t_4); \quad (6.80)$$

$$G_b = 125 \cdot 2,01(307 - 294) \cdot 1,08 / 4,19(328 - 308) = 42,09 \text{ кг},$$

Приймаємо, що  $G_b = 45$  кг.

Для визначення середньої кількості тепла, яку отримує начинка визначимо:

1) Різниця температури теплоносія та начинки  $\Delta t_{\text{сер}}$ :

більша і менша різниці відповідно:

$$\Delta t_{\delta} = 328 - 294 = 34 \text{ К} \quad \Delta t_{\delta} = t_3 - t_1 \quad (6.81)$$

$$\Delta t_m = 328 - 307 = 21 \text{ К} \quad \Delta t_m = t_3 - t_2 \quad (6.82)$$

Відношення  $\Delta t_{\delta}/\Delta t_m = 34 : 21 = 1,62$  менше 2, тому середньологарифмічну різницю температур дозволимо замінити на середньоарифметичну без похибки.

Отже:

$$\Delta t_{\text{сеп}} = (\Delta t_{\delta} + \Delta t_m)/2 \quad (6.83)$$

$$\Delta t_{\text{сеп}} = (34+21)/2 = 27,5 \text{ К}$$

2) Середня температура начинки:

$$t_{\text{сеп}} = t_3 - \Delta t_{\text{сеп}} \quad (6.84)$$

$$t_{\text{сеп}} = 328 - 27,5 = 300,5 \text{ К}$$

3) Середня теплоємність начинки:

$$C_{\text{нс}} = (C_n + 0,00081 \cdot t_{\text{сеп}}) \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho}} \quad (6.85)$$

$$C_{\text{нс}} = (2,01 + 0,00081 \cdot 300,5) \cdot \frac{1}{1,1} = 2,16 \text{ кДж/кгК.}$$

Тоді

$$Q'_2 = m_n \cdot C_{\text{нс}} \cdot (t_2 - t_1) \quad (6.86)$$

$$Q'_2 = 125 \cdot 2,16 \cdot (307 - 294) = 3510 \text{ кДж;}$$

Кількість тепла для нагрівання ємності та робочих валів:

$$Q_c = m_c \cdot C_{\text{ст}} \cdot (t_3 - t_1) \quad (6.87)$$

де:  $m_c = 102 \text{ кг}$  – маса ємності та валів;  $C_{\text{ст}} = 0,56 \text{ кДж/кгК}$ ;  
 $Q_c = 102 \cdot 0,56 \cdot (328 - 294) = 1942 \text{ кДж.}$

### **Втрати тепла**

Втрати тепла через стінку рубашки ємності:

$$Q'_3 = \alpha_n \cdot (t_{\text{ст1}} - t_{\text{п}}) \cdot F_{\text{ТС}}, \quad (6.88)$$

де:  $\alpha_n = 0,29 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{К}$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки в повітря;  
 $t_{\text{ст1}}$  – температура стінки рубашки, прийmemo, що  $t_{\text{ст1}} = t_3 = 328$ ,  
 відповідно:

$$Q'_3 = 0,29 \cdot (328 - 294) \cdot 1,354 = 13,4 \text{ кДж/год.}$$

Втрати тепла через торцеві поверхні:

$$Q''_3 = \alpha_n \cdot (t_{\text{ст2}} - t_{\text{п}}) \cdot F_{\text{тс}}, \quad (6.89)$$

де:  $t_{\text{ст2}}$  – температура торцевих стінок ємності, прийmemo  $t_{\text{ст2}} = t_2 = 307$ .  
 $Q''_3 = 0,29 \cdot (307 - 294) \cdot 0,519 = 1,96 \text{ кДж/год}$   
 Приймаємо  $Q''_3 = 2 \text{ кДж/год.}$

Втрати тепла через кришку змішувача:

$$Q'''_3 = \alpha_n \cdot (t_{\text{ст3}} - t_{\text{п}}) \cdot F_k, \quad (6.90)$$

де:  $t_{\text{ст3}}$  – температура поверхні кришки, яка має подвійну стінку,  
 прийmemo, що  $t_{\text{ст3}} = 0,98 \cdot t_2$ ,  
 $Q'''_3 = 0,29 \cdot (0,98 \cdot 307 - 294) \cdot 0,311 = 0,6 \text{ кДж/год.}$

Витрати тепла в навколишнє середовище через поверхні:

$$Q_3 = Q_3' + Q_3'' + Q_3''' , \quad (6.91)$$

$$Q_3 = 13,4 + 2 + 0,6 = 16 \text{ кДж/год.}$$

У попередніх розрахунках враховані втрати тепла з прийнятим коефіцієнтом, що рівний 0,08. Отже, маємо:

$$Q_{втр} = m_n \cdot C_n \cdot (t_2 - t_1) \cdot 0,08, \quad (6.92)$$

$$Q_{втр} = 125 \cdot 2,16 \cdot (307 - 294) \cdot 0,08 = 280,8 \text{ кДж/год;}$$

Фактичні витрати –  $Q_3 = 16$  кДж/год, що менше ніж 280,8 кДж/год,  $Q_3 < Q_{втр}$ .

Витрати тепла з гріючою водою:

$$Q_4 = G_b \cdot C_p \cdot (t_4 - t_4'), \quad (6.93)$$

де:  $t_4' = 304$  К – температура води, що надходить від змішувача:

$$Q_4 = 45 \cdot 4,19 \cdot (308 - 304) = 754,2 \text{ Дж, прийнято } Q_4 = 0,76 \text{ кДж.}$$

Загальні витрати тепла у змішувачі:

$$Q_{втр} = Q_3 + Q_4 = 16 + 0,76 = 16,76 \text{ кДж}$$

Прийmemo  $Q_{втр} = 17$  кДж.

Кількість теплоти на нагрівання начинки

$$Q_1 = m_n \cdot C_n \cdot (t_2 - t_1) \quad (6.94)$$

$$Q_1 = 125 \cdot 2,16 \cdot (307 - 294) = 3510 \text{ кДж.}$$

Кількість теплоти, що необхідно для нагрівання начинки протягом  $\tau = 1$  буде:

$$Q_1' = 2 \cdot Q_1 \cdot \tau, \text{ кДж/год;}$$

$$Q_1' = 2 \cdot 3510 \cdot 1 = 7020 \text{ кДж/год;}$$

Загальна кількість тепла, що необхідно складає:

$$Q_1 = Q_1' + Q_{втр}; \quad (6.95)$$

$$Q_1 = 7020 + 17 = 7037 \text{ кДж/год,}$$

приmemo  $Q_1 = 7040$  кДж/год, або 7,04 кВт/год.

Потужність електронагрівача води повинна бути з запасом потужності 25 %, тобто:

$$N_n = 1,25 \cdot Q \quad (6.96)$$

$$N_n = 1,25 \cdot 7,04 = 8,8 \text{ кВт}$$

Вибераємо трубчасті тепло-електронагрівачі марки:

ТЕН85А13/2,5Р220 (2,5 кВт) – 1 шт;

ТЕН85А13/3,15Р220 (3,15 кВт) – 2 шт.

Таким чином, встановлена потужність:

$$N_{вст} = 2,5 + 2 \cdot 3,15 = 8,8 \text{ кВт, що відповідає розрахунку.}$$

### **Кількість теплоносія та вибір насосу**

Кількість теплоносія, якщо:

$$Q = m_g \cdot C_p \cdot (t_3 - t_4), \text{ то} \quad (6.97)$$

$$m_g = Q / C_p \cdot (t_3 - t_4), \quad (6.98)$$

$$m_g = \frac{7040}{4,18 \cdot (328 - 308)} = 84,2 \text{ кг, прийmemo } m_v = 100 \text{ кг.}$$

Врахуємо місткість трубопроводів і самого нагрівача води:  $m_{\text{наг}} \approx 1,5m_{\text{в}}$ .

Об'єм системи циркуляції води:

$$V_{\text{ц}} = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ кг, або } 0,15 \text{ м}^3.$$

Для постійної циркуляції води, підбираємо насос, який має продуктивність:

$$Q_{\text{нас}} = 4 \cdot V_{\text{ц}} \quad (6.99)$$
$$Q_{\text{нас}} = 4 \cdot 0,15 = 0,6 \text{ м}^3$$

Для перекачування води візьмемо насос марки НС 25–40, який має характеристики: продуктивність –  $0,5 \dots 2 \text{ м}^3/\text{год}$ ; тиск –  $3,1 \dots 1,2 \text{ м. вод. ст.}$ ; потужність двигуна – 53 Вт.

### 6.3 Конструктивні розрахунки

#### Розрахунок ланцюгових передач

##### *Вихідні дані*

Частота кручення ведучої зірочки –  $n_1 = 56 \text{ об/хв}$ .

Потужність двигуна – 4 кВт.

Допустимий момент на вихідному валу редуктора – 660 Нм.

Розподілення потужності: привід робочих валів –  $N' = 2,92 \text{ кВт}$

Привід насосу –  $N'_H = 1,08 \text{ кВт}$ .

Крок передачі –  $t = 25,4 \text{ мм}$ .

Тип ланцюга – ПР 25,4-5670 ГОСТ13568-75.

Термін служби –  $T_{\text{min}} = 9000 \text{ год}$ .

Ланцюгова передача (рис.6.3).

Для приводу першого робочого валу –  $Z_1 = 18$  і  $Z_3 = 28$ .

Для приводу другого валу –  $Z_2 = 16$  і  $Z_4 = 20$ .

Передача руху до другого вола виконується зубчатою передачею від першого вола.

$Q_1 = 585 \text{ мм}$ ,  $Q_2 = 250 \text{ мм}$ ,  $B_1 = 65 \text{ мм}$ ,  $B_2 = 90 \text{ мм}$ ,  $d_{a1} = 146,27 \text{ мм}$ ,  $d_{a3} = 226,86 \text{ мм}$ ,  $d_{o2} = 130,2 \text{ мм}$ ,  $d_{o4} = 162,37 \text{ мм}$ ,  $D_{e1} = 156,8 \text{ мм}$ ,  $D_{e3} = 283,1 \text{ мм}$ ,  $D_{e2} = 140,4 \text{ мм}$ ,  $D_{e4} = 173,1 \text{ мм}$ .

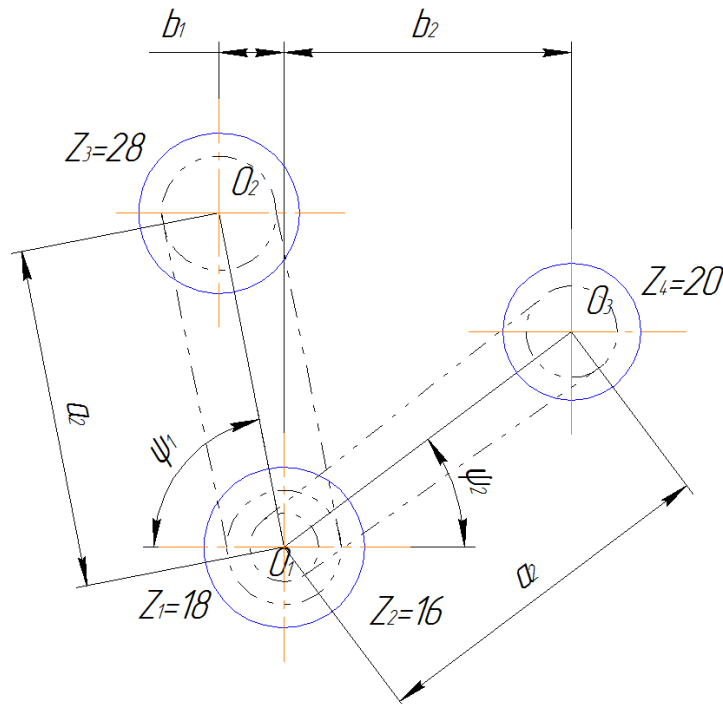


Рис.6.3.Схема передачі

Кути лінії центрів зірочок  $\psi$ :

$$\sin(90^\circ - \psi_1) = b_1/a_1 \quad (6.100)$$

$$\sin(90^\circ - \psi_1) = 65/582 = 0,11178$$

$$(90^\circ - \psi_1) = 6^\circ 25'$$

$$\psi_1 = 90^\circ - 6^\circ 25' = 85^\circ 35'$$

$$b_2/a_2 = \sin\psi_2$$

$$\sin(90^\circ - \psi_2) = \frac{90}{248} = 0,36290$$

$$\sin\psi_2 = (1 - 0,3629) = 0,6371$$

$$\psi_2 = 39^\circ 35'$$

Середня швидкість руху ланцюга V:

$$V = Z \cdot n \cdot \frac{t}{60 \cdot 1000} \text{ м/сек} \quad (6.101)$$

$$V_1 = Z_1 \cdot n \cdot \frac{t}{60 \cdot 1000} \quad (6.102)$$

$$V_1 = 18 \cdot 56 \cdot \frac{25,4}{60 \cdot 1000} = 0,427 \text{ м/сек}$$

$$V_2 = Z_2 \cdot n \cdot \frac{t}{60 \cdot 1000} \quad (6.103)$$

$$V_2 = 16 \cdot 56 \cdot \frac{25,4}{60 \cdot 1000} = 0,379 \text{ м/сек}$$

Колове зусилля, що діє в передачі  $F_t$

Для  $Z_1 - Z_3$

$$Ft = 1000 \cdot N/V, \text{ Н} \quad (6.104)$$

$$F_{t1} = 1000 \cdot N'/V_1 \quad (6.105)$$

$$F_{t1} = 1000 \cdot 2,92/0,427 = 6838,4 \text{ Н}$$

Прийнято  $F_{t1} = 6838 \text{ Н}$

$$F_{t2} = 1000 \cdot N'/V_2 \quad (6.106)$$

$$F_{t2} = 1000 \cdot 1,08/0,379 = 2849,6 \text{ Н}$$

Прийнято  $F_{t2} = 2850 \text{ Н}$

Передаточне число передачі  $u$ :

$$u = Z_a / Z_b \quad (6.107)$$

$$u_1 = Z_3 / Z_1 \quad (6.108)$$

$$u_1 = 28/18 = 1,555$$

$$u_2 = Z_2/Z_4 \quad (6.109)$$

$$u_2 = 20/16 = 1,250$$

Мінімальна міжцентрова відстань  $Q_{\min}$

При  $u \leq 3$ :

$$Q_{\min} > 0,6 \cdot (D_{ea} + D_{eb}) \quad (6.110)$$

$$Q_{\min 1} = 0,6 \cdot (D_{e1} + D_{e3}) \quad (6.111)$$

$$Q_{\min 1} = 0,6 \cdot (156,8 + 238,1) = 236,9 \text{ мм}$$

$$Q_{\min 2} = 0,6 \cdot (D_{e2} + D_{e4}) \quad (6.112)$$

$$Q_{\min 2} = 0,6 \cdot (140,4 + 173,1) = 188,1 \text{ мм}$$

$$Q_1 = 582 \text{ мм} > Q_{\min 1} = 236,9 \text{ мм}$$

$$Q_2 = 248 \text{ мм} > Q_{\min 2} = 188,1 \text{ мм}$$

Довжина ланцюга  $L_t$ :

$$L_t = \frac{2a}{t} + \frac{Z_a+Z_b}{2} + \left(\frac{Z_b-Z_a}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{t}{a} \quad (6.113)$$

$$L_{t1} = \frac{2a_1}{t} + \frac{Z_1+Z_3}{2} + \left(\frac{Z_3-Z_1}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{t}{a_1} \quad (6.114)$$

$$L_{t1} = \frac{2 \cdot 582}{25,4} + \frac{18+28}{2} + \left(\frac{25-18}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{25,4}{582} = 68,94$$

Прийнято  $L_{t1} = 70$  ланок

$$L_{t2} = \frac{2a_2}{t} + \frac{Z_2+Z_4}{2} + \left(\frac{Z_4-Z_3}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{t}{a_2} \quad (6.115)$$

$$L_{t2} = \frac{2 \cdot 248}{25,4} + \frac{16+20}{2} + \left(\frac{20-16}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{25,4}{248} = 37,57 \text{ ланок}$$

Прийнято  $L_{t2} = 38$  ланок

Частота ударів ланок ланцюга

$$U = 4Zn/60L_t \quad (6.116)$$

$$U_1 = 4 \cdot Z_1 \cdot n_1/60L_{t1} \quad (6.117)$$

$$U_1 = 4 \cdot 18 \cdot \frac{56}{60 \cdot 70} = 3,84$$

$$U_2 = 4 \cdot Z_2 \cdot n_1/60L_{t2} \quad (6.118)$$

$$U_2 = 4 \cdot 16 \cdot \frac{56}{60 \cdot 38} = 1,57$$

$$U_1 = 3,84 < [U] = 30$$

$$U_2 = 1,57 < [U] = 30$$

### **Роботоспроможність ланцюга**

Натяг, що витримують ведена і ведуча ділянки ланцюга буде:

$$F_{\Sigma A} = F_f + F_y \quad (6.119)$$

$$F_{\Sigma B} = F_f + F_y + F_t \cdot K_1 \quad (6.120)$$

$$F_f = K_f \cdot q \cdot g \cdot a \quad (6.121)$$

$F_f$  – натяг від провисання веденої гілки під дією своєї ваги.

$K_f$  – коефіцієнт провисання веденої гілки

$K_{f1} = 1 \dots 2$  для передачі  $Z_1 - Z_3$ ;

$K_{f2} = 3 \dots 4$  для передачі  $Z_2 - Z_4$ ;

$q$  – маса метра ланцюга, кг;

ПР25,4-5670 –  $q=2,6$  кг;

$g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  – прискорення вільного падіння;

$a$  – міжцентрова відстань.

Тоді  $K_{f1} = 2 \cdot 2,6 \cdot 9,81 \cdot 0,582 = 29,7 \text{ Н}$

$K_{f2} = 4 \cdot 2,6 \cdot 9,81 \cdot 0,248 = 25,3 \text{ Н}$

$$F_y = q \cdot v^2, \text{ де} \quad (6.122)$$

$F_y$  – сила натягу від центр обіжних сил.

$$F_{y1} = q \cdot v_1^2 \quad (6.123)$$

$F_{ц1} = 2,6 \cdot 0,427/2 = 0,48 \text{ Н}$

$$F_{ц2} = q \cdot v_2^2 \quad (6.124)$$

$F_{ц2} = 2,6 \cdot 0,379/2 = 0,379 \text{ Н}$

Тоді  $F_{\Sigma A1} = 29,7 + 0,48 = 30,18 \text{ Н}$

$F_{\Sigma A2} = 25,3 + 0,37 = 25,67 \text{ Н}$

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує характер передованого навантаження.

$K_1 = 1$  – для спокійного навантаження.

Тоді:

$$F_{\Sigma A1} = F_{f1} + F_{ц1} + F_{t1} \cdot K_1 \quad (6.125)$$

$F_{\Sigma A1} = 29,7 + 0,48 + 6838 \cdot 1 = 6868,2 \text{ Н}$

$$F_{\Sigma A2} = F_{f2} + F_{ц2} + F_{t2} \cdot K_2 \quad (6.126)$$

$F_{\Sigma A2} = 25,3 + 0,37 + 2850 \cdot 1 = 2875,7 \text{ Н}$

Розрахункове навантаження:

$Z_2 - Z_4$  ( $O_1$  і  $O_3$ ) приблизно –  $R_{O1} = R_{O3} = (1,15 \dots 1,2) F_t$  (передача нахилена менш ніж на  $40^\circ$ ).

$$R_{O1} = R_{O2} = 1,2 \cdot F_{t2} \quad (6.127)$$

$R_{O1} = R_{O2} = 1,2 \cdot 2850 = 3420 \text{ Н}$

Для і  $Z_1 - Z_3$  ( $O_1$  і  $O_2$ ) додаванням натягів  $F_{\Sigma A}$  і  $F_{\Sigma B}$ :

$$F'_{\Sigma A1} = F_{\Sigma A1} + F_{ц1} \quad (6.128)$$

$F'_{\Sigma A1} = 30,18 + 0,48 = 29,7 \text{ Н}$

$$F'_{\Sigma B1} = F_{\Sigma B1} - F_{ц1} \quad (6.129)$$

$F'_{\Sigma B1} = 6868,18 - 0,48 = 6867,7 \text{ Н}$

$$R_{O1} = R_{O2} = \sqrt{(F'_{\Sigma A1})^2 + (F'_{\Sigma B1})^2 + 2 \cdot F'_{\Sigma A1} \cdot F'_{\Sigma B1} \cdot \cos \alpha}, \quad (6.130)$$

де  $\alpha = 80$

$R_{O1} = R_{O2} = \sqrt{29,7^2 + 6867,7^2 + 2 \cdot 29,7 \cdot 6867,7 \cdot 0,9927} = 6838,2 \text{ Н}$

Прийнято  $R_{O1} = R_{O2} = 6900 \text{ Н}$

Запас міцності:

$$n = Q_{\text{розр.}} / F_{\Sigma B} \quad (6.131)$$

або

$$n = Q_{\text{розр.}} / F_{\Sigma B1} \quad (6.132)$$

Для ланцюга ПР – 25,4  $Q_{\text{розр.}} = 5760 \text{ кг}$

$$n = 57600 / 6868,2 = 8,38$$

$$[n] = 6$$

$n = 8,38 > [n] = 6$  – запас міцності достатній.

### Розрахунок на стійкість

Величина потужності:

$$N \leq \frac{[p] \cdot S_{\text{оп}} \cdot K_m \cdot v}{K_e \cdot 10^2}, \text{ кВт} \quad (6.133)$$

Де  $[p]$  – допустимий тиск в шарнірах, мПа

Для ланцюга, що має  $t=25,4 \text{ мм}$  і  $n = 56 \text{ об/хв.}$   $[p] = 35 \text{ мПа}$

$S_{\text{оп}} = 179,7 \text{ мм}^2$  – проекція опорної поверхні шарніру,  $\text{мм}^2$ .

$K_m = 1$  – коефіцієнт, для однорядового ланцюга.

$K_e$  – коефіцієнт експлуатації

$$K_e = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (6.134)$$

$K_1$  – характер навантаження, спокійний,  $K_1 = 1$ .

Регулювання відстані – натяжна зірочка –  $K_2 = 1,1$ .

Міжосьова відстань –  $a \leq 25t$

$$a_1 = 585 \text{ мм} \quad a = 25 \cdot 25,4 = 635 \text{ мм}$$

$$a_1 = 585 \text{ мм} < a = 635 \text{ мм}, \text{ то } K_3 = 1,25$$

Нахил напрямів центрів зірочок  $Z_1-Z_3$  – більше  $70^\circ$ . Для  $a_1=585 \text{ мм}$  – кут  $\psi_1=85^\circ 35'$ , то  $K_4=1,25$ .

Спосіб змащування – періодичний, то  $K_5 = 1,25$

Тривалість роботи – дві зміни –  $K_6=1,25$

$$K_e = 1 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,25 \cdot 1,25 \cdot 1,25 = 2,69$$

$$\text{Відповідно } N \leq \frac{3,5 \cdot 179,7 \cdot 1 \cdot 0,427}{2,69 \cdot 10^2} = 9,79 \text{ кВт}$$

$$N' = 2,92 \text{ кВт} < N = 9,79 \text{ кВт}$$

Ланцюг може передати задану потужність

Для передачі  $Z_2 - Z_4$ :

$$K_1=1; K_2=1,1; K_3=1,25; K_4=1; K_5=1,25; K_6 = 1,25.$$

$$K_e = 1 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,25 = 1,95$$

$$\text{Тоді } N = \frac{35 \cdot 179,7 \cdot 1 \cdot 0,379}{1,95 \cdot 10^2} = 14,1 \text{ кВт}$$

$$N'' = 1,08 \text{ кВт} < N = 14,1 \text{ кВт.}$$

Термін служби:

$$T = 5200 \cdot \frac{\Delta t \cdot K_c \cdot \sqrt{Z_1} \cdot \sqrt{a_t \cdot u}}{p \cdot \sqrt[3]{v} \cdot K_e} \quad (6.135)$$

де  $\Delta t$  – допустиме збільшення кроку ланцюга,  $\Delta t \leq 3\%$

$K_c$  – коефіцієнт мащення

$$K_c = \frac{K_{cn}}{\sqrt{v_1}} \quad (6.136)$$

$$K_c = 1,6/\sqrt{0,247} = 2,45$$

$K_{cn} = 1,6$  – коефіцієнт врахування мащення.

$p$  – питомий тиск, мПа

$$p = F_t/S_{on} \quad (6.137)$$

$$p = F_{t1}/S_{on} \quad (6.138)$$

$$p = 6838,4/179,7 = 38 \text{ мПа}$$

$$Q_t = Q/t \quad (6.139)$$

$$Q_t = Q_1/t \quad (6.140)$$

$Q_t$  – міжцентрова відстань виражена в кроках ланцюга

$$Q_t = 585/25,4 = 23$$

$$T = 5200 \cdot \frac{3 \cdot 2,45 \cdot \sqrt{18} \cdot \sqrt{23 \cdot 3,84}}{38 \cdot \sqrt[3]{0,427} \cdot 2,15} = 9520 \text{ год}$$

$$T_{\min} = 9000 \text{ год} < T = 9520 \text{ год}$$

### Розрахунок валів насосу

#### Початкові дані

Кутова швидкість на валу –  $\omega_1 = \omega_2 = 4,68 \text{ сек}^{-1}$ .

Крутний момент на валу –  $T = 180 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Кутове зусилля –  $P_d = 3235 \text{ Н}$ .

Дільний діаметр –  $d_d = 111 \text{ мм}$ .

Діаметр шийки валу під шестерню –  $32 \text{ мм}$ .

Діаметр шийок валів під підшипники –  $30 \text{ мм}$ .

На рис.6.4 – схема сил, які діють на вали насосу.

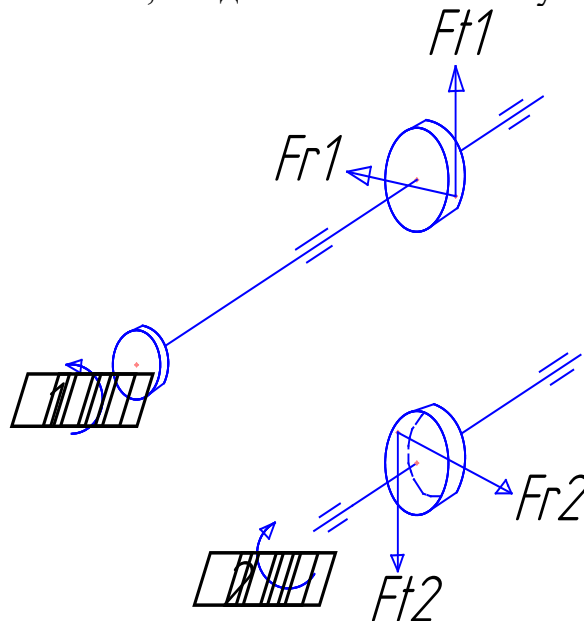


Рис.6.4 Схема сил

Кут щеплення  $\alpha = 20^\circ$

Оскільки зубчаті колеса однакові [3] і  $d_{d1} = d_{d2}$ , то колові сили  $F_{t1} = F_{t2} = P_d = 3235 \text{ Н}$  або  $F_t = 3235 \text{ Н}$ .

Аналогічно радіальні сили:

$$F_{r1} = F_{r2} = F_r \quad (6.141)$$

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \omega \quad (6.142)$$

$$F_r = 3235 \cdot 0,3639 = 1177,3 \text{ Н}$$

### Ведучий вал

Епюруа моментів вала (рис.6.5).

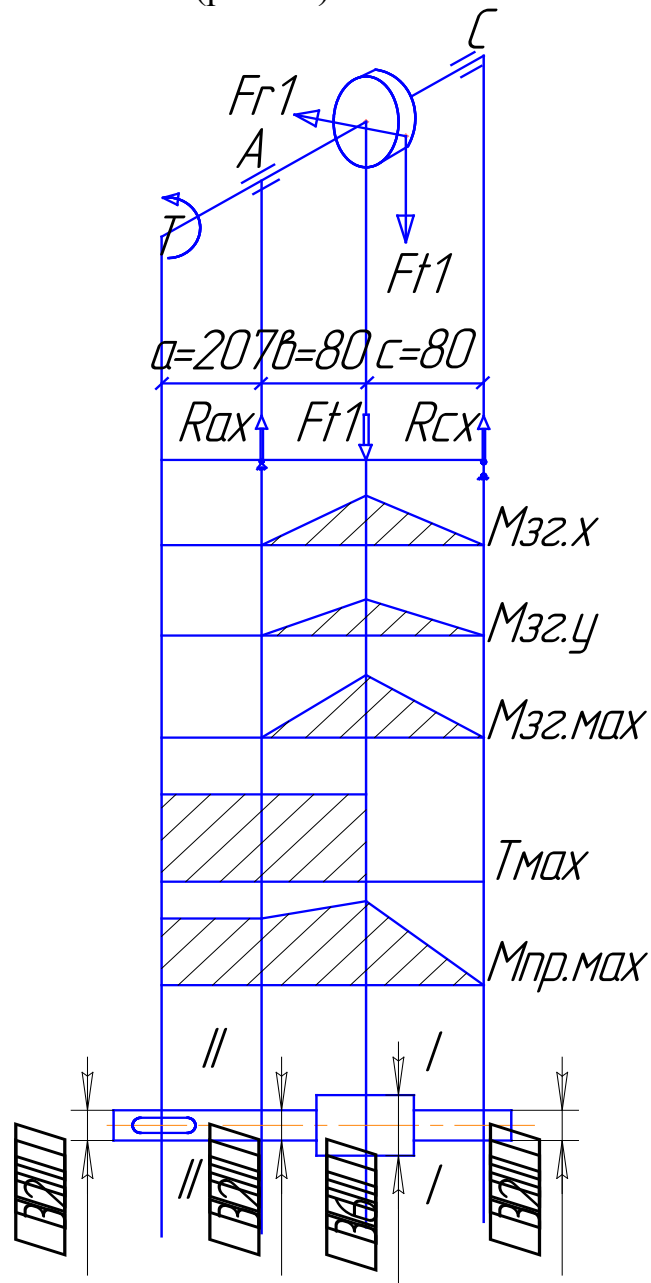


Рис.6.5 Епюра діючих моментів

Навантаження:

а) у площині XZ:

Радіальні реакції

Опора С:

$$\Sigma M_{Cx} = 0 \quad (6.143)$$

$$R_{Ax} \cdot (b + c) - F_t \cdot c = 0$$

$$R_{Ax} \cdot (b + c) = F_t \cdot c$$

$$R_{Ax} = F_t \cdot c / b + c$$

$$R_{Ax} = (3235 \cdot 0,08) / (0,08 + 0,08) = 1617,5 \text{ H}$$

Опора А

$$\Sigma M_{Ax} = 0 \quad (6.144)$$

$$-R_{Cx} \cdot (b + c) + F_t \cdot b = 0$$

$$R_{Cx} \cdot (b + c) = F_t \cdot b$$

$$R_{Cx} = F_t \cdot b / b + c$$

$$R_{Cx} = (3235 \cdot 0,08) \cdot (0,08 + 0,08) = 1617,5 \text{ H}$$

Перевірка

$$R_{Ax} + R_{Cx} - F_t = 1617,5 + 1617,5 - 3235 = 0$$

Згинаючий момент –  $F_t$ :

$$M_{Ftx} \cdot (b + c) - F_t \cdot b \cdot c = 0 \quad (6.145)$$

$$M_{Ftx} = F_t \cdot b \cdot c / b + c$$

$$M_{Ft} = 3235 \cdot 0,08 \cdot \frac{0,08}{0,08 + 0,08} = 129,4 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{згmax} = M_{Ft} = 129,4 \text{ H} \cdot \text{м}$$

б) у горизонтальній площині YZ:

Опора С

$$\Sigma M_{Cy} = 0 \quad (6.146)$$

$$R_{Ay} \cdot (b + c) - F_r \cdot c = 0$$

$$R_{Ay} \cdot (b + c) = F_r \cdot c$$

$$R_{Ay} = F_r \cdot c / b + c$$

$$R_{Ay} = 1177,3 \cdot 0,08 / (0,08 + 0,08) = 588,6 \text{ H}$$

Опора А

$$\Sigma M_{Ay} = 0 \quad (6.147)$$

$$-R_{Cy} \cdot (b + c) + F_r \cdot b = 0$$

$$R_{Cy} \cdot (b + c) = F_r \cdot b$$

$$R_{Cy} = F_r \cdot b / b + c$$

$$R_{Cy} = 1177,2 \cdot 0,08 / (0,08 + 0,08) = 588,7 \text{ H}$$

Перевірка

$$R_{Ay} + R_{Cy} - F_r = 0$$

$$588,6 + 588,7 - 1177,3 = 0$$

Згинаючий момент –  $F_r$ :

$$M_{Fry} \cdot (b + c) - F_r \cdot b \cdot c = 0$$

$$M_{Fry} = F_r \cdot b \cdot c / b + c$$

$$M_{Fry} = 1177,2 \cdot 0,08 \cdot 0,08 / (0,08 + 0,08) = 47 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{згmin} = M_{Fry} = 47 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Сумарний згинаючий момент у вертикальній і горизонтальній площинах:

$$M_{згmax} = \sqrt{(M_{x2} + M_{y2})} \quad (6.148)$$

$$M_{згmax} = \sqrt{(M_{2Ftx} + M_{2Fry})} = \sqrt{(129,42 + 472)} = 137,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Приведений момент відповідно формулі

$$M_{прmax/min} = \sqrt{(M_{2max/min} + (\alpha \cdot T)^2)} \quad (6.149)$$

Для передачі нереверсивної напруження кручення має пульсуючий характер від нуля ( $r_\tau = 0$ ).

В цьому випадку  $\alpha = [\sigma_{-1}] / [\sigma_0]$

Допустиме напруження для валу  $[\sigma_{-1}] = 55 \text{ МПа}$ , а допустиме пульсуюче  $[\sigma_0] = 95 \text{ МПа}$ .

Отже,  $\alpha = 55/95 = 0,58$ .

Тоді

$$M_{прmax} = \sqrt{137,72 + (0,58 \cdot 180)^2} = \sqrt{18961,29 + 104,42} = 172,80 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{прmin} = \sqrt{(472 + (0,58 \cdot 180)^2)} = \sqrt{(2209 + 104,42)} = 114,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Мінімальний розрахунковий діаметр валу:

$$d_{1min} = 3\sqrt{(M_{прmin} / 0,1 \cdot [\sigma_{-1}])} \quad (6.150)$$

$$d_{1min} = 3\sqrt{(172,8 \cdot 103 / 0,1 \cdot 55)} = 31,5 \text{ мм}$$

Прийнято  $d_{1min} = 32 \text{ мм}$

Маємо шпоночний паз для шестерні, тому збільшимо діаметр вала не менше як на 10%.

$$d_1 = 1,1 \cdot 32 = 35,2 \text{ мм.}$$

Приймемо  $d_1 = 36 \text{ мм}$ .

## 7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Для підбору технології виготовлення деталі у даному розділі кваліфікаційної роботи пропоную деталь типу вісь, а саме вал, що знаходиться у модернізованому мною вузлі – насосі змішувача, оскільки від правильності її виготовлення залежить надійність та довговічність роботи насоса .

Для виготовлення даного валу використовується сталь 45. Заготовкою є прокат діаметром 36 мм.

Обрана деталь є технологічною, оскільки:

- В деталі наявні поверхні, які зручні для базування і закріплення при встановленні на верстатах на всіх операціях.
- Матеріал деталі: сталь 45.
- Всі поверхні деталі доступні для обробки на металорізальних верстатах та не потребують безпосереднього вимірювання.
- Деталь достатньої жорсткості, оскільки має значну товщину( $d_{\max}=32$  мм)
- Можливе одержання потрібної точності розмірів, величини шорсткості, точності взаємного розташування поверхонь при обробці на металорізальних верстатах нормальної точності, без додаткової фінішної обробки.
- Відсутні специфічні вимоги до деталі.

Ознайомившись з технологією виготовлення деталі, складаємо технологічний маршрут, враховуючи рекомендації щодо оброблення поверхонь з точними розмірами. Технологічний маршрут виготовлення валу наведено у таблиці 1.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Технологічний маршрут виготовлення деталі</b>	<b>18-2016.KP.03.007 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/13

Таблиця 1. Технологічний маршрут виготовлення

Номер операції, переходу	Назва операції, переходу	Технологічне обладнання, оснащення, різальний і вимірювальний інструмент
10	Заготівельна Установити, закріпити і зняти заготовку(УЗЗ)	Прокат d=38 мм, сталь 45, відрізний верстат.
10.1	Відрізати заготовку довжиною 360 мм	Дискова відрізна фреза d=200 мм, Р6М5,ШЦ-1
20	Токарна УЗЗ	Токарно-гвинторізний верстат 16к20 трикулачковий патрон
20.1	Торцювати пов.1 z=2 мм	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\phi=45^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ , В×Н×L=16×25×140, ШЦ-1
20.2	Центрувати заготовку	Центрувальне сверло $\varnothing 2,5$ Р6М5, ШЦ-1
20.3	Точити пов.2 на l=286 мм, начорно d=32 мм	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\phi=45^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ , В×Н×L=16×25×140, ШЦ-1
20.4	Точити пов.2 на l=286 мм, начисто d=32e8 мм	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\phi=45^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ , В×Н×L=16×25×140, ШЦ-1
20.5	Зняти фаску 1,6x45° пов.3	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\phi=45^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ , В×Н×L=16×25×140, ШЦ-1
30	Токарна УЗЗ	Токарно-гвинторізний верстат 16к20 трикулачковий патрон, упор
30.1	Точити пов.3 на l=70 мм, начорно d=30 мм	Різець прохідний упорний лівий, Т15К6, $\phi=90^\circ$ , $\gamma=12^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ , В×Н×L=16×25×140, ШЦ-1
30.2	Точити пов.3 на l=70 мм, начисто d=30e8 мм з припуском під шліфування	Різець прохідний упорний лівий, Т15К6, $\phi=90^\circ$ , $\gamma=12^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ , В×Н×L=16×25×140, ШЦ-1
30.3	Зняти фаску 1,6x45° пов.4	Різець прохідний відігнутий лівий, Т15К6, $\phi=45^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ , В×Н×L=16×25×140, ШЦ-1
30.4	Зняти фаску 1x10° пов.5	Різець прохідний відігнутий лівий, Т15К6, $\phi=10^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ , В×Н×L=16×25×140, ШЦ-1
40	Фрезерна УЗЗ	Вертикально-фрезерний верстат Спеціальний пристрій

40.1	Фрезерувати шпонковий паз пов.6 начорно на l=66 мм	Шпонкова фреза d=10 мм, P6M5, ШЦ-1
40.2	Фрезерувати шпонковий паз пов.7 начорно на l=66 мм	Шпонкова фреза d=10 мм, P6M5, ШЦ-1
50	Термічна УЗЗ	Установка термопіч
50.1	Покращення до 240...285 НВ	
60	Шліфувальна УЗЗ	Круглошліфувальний верстат 3А110В, центри, поводок
60.1	Шліфувати начорно d=32r6 пов.8	Круг 1 250×25×32 14А F40-50 С2 6 К 35 А 2 2424-83, скоба 32r6
60.2	Шліфувати начисто d=32r6 пов.8	Круг 1 250×25×32 14А F40-50 С2 6 К 35 А 2 2424-83, скоба 32r6
70	Мийна	Мийна машина
70.1	Промити деталь	
80	Слюсарна	Верстак
80.1	Зняти задирки і притупити гострі кромки	
90	Контрольна	Стіл контролера

### ***Розрахунок припусків***

Заготовкою є прокат d=38 мм.

Розмір, за яким ведемо розрахунок, діаметр 30ε8.

Поверхня обробляється чорновим та чистовим шліфуванням та чорновим і чистовим точінням.

Мінімальний припуск на оброблення поверхні розраховується

Двосторонній

$$-2Z_{I\min} = 2(Rz_{I-1} + D_{I-1} + \sqrt{Tnp_{I-1}^2 + E_{yi}^2}) \quad (7.1)$$

$Rz_{I-1}, D_{I-1}, Tnp$  - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарне значення допуску просторових відхилень оброблюваної поверхні на попередньому ступені її оброблення;

$E_{yi}$  - похибка установки заготовки на даному ступені оброблення.

Максимальний припуск на оброблення

$$2Z_{i\max} = 2Z_{i\min} + T_{I-1} - T_I \quad (7.2)$$

$T_{I-1}$  - допуск розміру поверхні на попередньому ступені оброблення

$T_I$  - допуск розміру поверхні на даному ступені оброблення

Номінальний припуск на оброблення поверхонь

$$2Z_{i\text{ном}} = \frac{2Z_{i\max} + 2Z_{i\min}}{2} \quad (7.3)$$

Максимальні припуски служать для визначення зусиль різання під час оброблення, номінальні – для визначення сумарного припуску на оброблення поверхні.

Припуск на чистове шліфування

$$2Z_{3\min} = 2(Rz_2 + D_2 + \sqrt{Tnp_2^2 + E_{y3}}) \quad (7.4)$$

$Rz_2, D_2, Tnp_2$  - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарне значення просторових відхилень при чорновому шліфуванні  
 $E_{y3}$  - похибка установки деталі під час чистового шліфування.

Припуск на чистове шліфування:

$$Rz_2 = 5 \text{ мкм}, D_2 = 15 \text{ мкм}.$$

Під час оброблення деталі в центрах  $Tnp_3 = 0, E_{y4} = 0$ .

$$\text{Тоді } 2Z_{4\min} = 2(5 + 15) = 40 \text{ мкм}, 2Z_{4\max} = 2Z_{4\min} + T_3 - T_4$$

$T_3$  - допуск при чорновому шліфуванні,  $T_3 = IT8 = 33 \text{ мкм}$ ,

$T_4$  - допуск при чистовому шліфуванні,  $T_4 = IT7 = 21 \text{ мкм}$ .

$$2Z_{4\max} = 40 + 33 - 21 = 52 \text{ мкм}$$

$$2Z_{4\text{ном}} = \frac{2Z_{4\max} + 2Z_{4\min}}{2} = \frac{52 + 40}{2} = 46 \text{ мкм}$$

Припуск на чорнове шліфування

$$2Z_{3\min} = 2(Rz_2 + D_2 + \sqrt{Tnp_2^2 + E_{y3}}) \quad (7.5)$$

$Rz_2, D_2, Tnp_2$  - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарна просторова похибка при чистовому точінні.

$E_{y2}$  - похибка установлення при чорновому шліфуванні,  $Rz_2 = 10 \text{ мкм}$ ,  
 $D_2 = 20 \text{ мкм}$ .

При обробленні в центрах  $Tnp_2 = 0, E_{y3} = 0$ .

$$\text{Тоді } 2Z_{3\min} = 2(10 + 20) = 60 \text{ мкм}, 2Z_{3\max} = 2Z_{3\min} + T_2 - T_3$$

$T_2$  - допуск при чистовому точінні,  $T_2 = IT10 = 84 \text{ мкм}$

$$2Z_{2\max} = 60 + 84 - 33 = 111 \text{ мкм}$$

$$2Z_{3\text{ном}} = \frac{2Z_{3\max} + 2Z_{3\min}}{2} = \frac{111 + 60}{2} = 85,5 \text{ мкм}$$

Припуск на чистове точіння

$$2Z_{2\min} = 2(Rz_1 + D_1 + \sqrt{Tnp_1^2 + E_{y2}^2}) \quad (7.5)$$

$Rz_1, D_1, Tnp_1$  - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарна просторова похибка заготовки.

$Rz_1 = 25 \text{ мкм}$ ;  $D_1 = 25 \text{ мкм}$ ;  $Tnp_1 = 100 \text{ мкм}$ ;

$E_{y2}$  - похибка установлення при чистовому точінні.  $E_{y2} = 0 \text{ мкм}$

$$2Z_{2\min} = 2(25 + 25 + \sqrt{0^2 + 100^2}) = 300 \text{ мкм}$$

$$2Z_{2\max} = 2Z_{2\min} + T_1 - T_2 \quad (7.6)$$

$T_1$  - допуск при чорновому точінні,  $T_1 = IT13 = 390 \text{ мкм}$

$$2Z_{2\max} = 300 + 360 - 84 = 576 \text{ мкм}$$

$$2Z_{3\text{ном}} = \frac{2Z_{3\max} + 2Z_{3\min}}{2} = \frac{576 + 300}{2} = 438 \text{ мкм}$$

Припуск на чорнове точіння

$$2Z_{1\min} = 2(Rz_0 + D_0 + \sqrt{Tnp_0^2 + E_{y1}^2}) \quad (7.7)$$

$Rz_0, D_0, Tnp_0$  - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарна просторова похибка заготовки.

$Rz_0=50$  мкм;  $D_0=50$  мкм;  $Tnp_0=1,7$  мм;

$E_{y1}$  - похибка установлення при чорновому точінні.

Під час установлення деталі в патрон з центром  $E_{y1}=100$  мкм

$$2Z_{1\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{1700^2 + 100^2}) = 3556 \text{ мкм}$$

Загальний припуск

$$2Z_{\text{сум}} = \sum_1^i 2Zi_{\text{ном}} = 46 + 85,5 + 438 + 3556 = 4125.5 \text{ мкм}$$

Приймаємо  $2Z_{\text{сум}}=5$  мм.

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_M = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{заг}}} = \frac{V_{\text{дет}}}{V_{\text{заг}}} = 0.86$$

### Розрахунок режимів різання

#### 20. Токарна операція

##### Перехід 20.1. Торцювати поверхню 1

Глибина різання:  $t = 2$  мм

Вибираємо подачу:  $S = 0,4 \dots 0,5$  мм/об, приймаємо  $S = 0,5$  мм/об.

З табл. 20 вибираємо залежність для визначення швидкості різання і визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{327}{60^{0.2} \cdot 2^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} = 161 \text{ м / об} \cdot \text{хв}$$

де:  $T$  – стійкість різця, приймаємо  $T = 60$  хв.

Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_e = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 161}{3,14 \cdot 38} = 1349 \text{ об / хв}$$

Згідно метод. 3021, вибираємо найближче менше значення  $n_B = 1300$  об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 38 \cdot 1300}{1000} = 155 \text{ м / хв}$$

Розрахункова довжина оброблення:

$$l = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 18 = 72 \text{ мм}$$

Основний час на виконання переходу:

$$t_o = \frac{L}{n_a \cdot S} = \frac{25}{1300 \cdot 0.5} = 0,04 \delta \hat{a} \text{ хв}$$

Допоміжний час:

$$t_a = t_1 + t_2 = 0.11 + 0.1 = 0.21 \delta \hat{a} \text{ хв}$$

*Перехід 20.3 Точити пов. 2 начорно Ø32 l=286 мм*

Загальна глибина різання при обробці заданої поверхні  $t = \frac{38-33}{2} = 2.5$  мм. Для чорнової обробки поверхні приймаємо глибину різання  $t = 2,25$  мм. На чистову обробку залишається  $t=0,25$  мм.

Подача  $S=0,4 \dots 0,5$  мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо  $S=0,5$  мм/об.

Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,4}} = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 2,25^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 161,3 \text{ м/хв}$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата

$$n_{\hat{a}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{\zeta}} = \frac{1000 \cdot 161,3}{3,14 \cdot 38} = 1349 \text{ об/хв}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата  $n_v=1300$  об/хв. Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя

$$V_{\hat{a}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\hat{a}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 38 \cdot 1300}{1000} = 155 \text{ м/хв}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу

$$L = l_{\hat{a}\hat{o}} + l_1 + l_2 + l_3 = 286 + 2 + 2,25 = 290,25 \text{ мм}$$

$l_{DET}$  - довжина деталі  $l_{DET}=286$  мм

$l_1$  - підвід інструменту  $l_1 = 2$  мм

$l_2$  - врізання інструменту  $l_2 = 2,25$

$l_3$  - перебіг інструменту  $l_3=0$

Основний час на виконання переходу

$$t_o = \frac{L}{n_{\hat{a}} \cdot S} = \frac{290,25}{1300 \cdot 0,5} = 0,45 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_d = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,06 + 0,7 = 0,87 \text{ хв}$$

$t_1 = 0,11$  хв – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленим різцем по упору на верстаті з висотою центрів до 200 мм при автоматичній подачі.

$t_2 = 0,06 = 0,06$  хв – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі.

$t_3=0,7$  хв – заміна різця.

*Перехід 20.4 Точити пов. 2 начисто Ø32 l=286 мм*

На чистову обробку залишається  $t=0,25$  мм

Подача  $S=0,18 \div 0,22$  мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо  $S_s=0,2$  мм/об.

Визначаємо швидкість різання табл. №20

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,4}} = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 2,25^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 161,3 \text{ м/хв}$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата

$$n_{\hat{A}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{\hat{\varphi}}} = \frac{1000 \cdot 161,3}{3,14 \cdot 32,5} = 1530 \text{ об/хв}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата  $n_v=1500$  об/хв. Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя

$$V_{\hat{A}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\hat{A}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 32,5 \cdot 1500}{1000} = 158 \text{ м/хв}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу

$$L = l_{\hat{A}\hat{\Delta}\hat{\delta}} + l_1 + l_2 + l_3 = 286 + 0 + 0,25 = 286,25 \text{ мм}$$

$l_{\text{ДЕТ}}$  - довжина деталі  $l_{\text{ДЕТ}}=286$  мм

$l_1$  - підвід інструменту  $l_1 = 0$  мм

$l_2$  - врізання інструменту  $l_2 = 0,25$

$l_3$  - перебіг інструменту  $l_3=0$

Основний час на виконання переходу

$$t_0 = \frac{L}{n_{\hat{A}} \cdot S} = \frac{286}{1500 \cdot 0,2} = 0,95 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{\hat{A}} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,12 = 0,23 \text{ хв}$$

$t_1 = 0,11$  хв – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця по упору на верстаті з висотою центрів до 200 мм при автоматичній подачі.

$t_2 = 0,06 + 0,06 = 0,12$  хв – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі.

*Перехід 30.1 Точити пов.6  $\varnothing 30$   $l=70$  мм*

Приймаємо глибину різання 2,5 мм.

Подача  $S=0,4 \dots 0,5$  мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо  $S=0,5$  мм/об.

Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,4}} = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 2,3^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 161,3 \text{ м/хв}$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата

$$n_{\hat{A}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{\hat{\varphi}}} = \frac{1000 \cdot 161,3}{3,14 \cdot 38} = 1349 \text{ об/хв}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата  $n_A=1300$  об/хв. Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя

$$V_{\dot{A}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\dot{A}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 38 \cdot 1300}{1000} = 155,1 \text{ м/хв}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу

$$L = l_{\dot{A}\dot{O}} + l_1 + l_2 + l_3 = 70 + 2 + 2,5 = 74,5 \text{ мм}$$

$l_{DET}$  - довжина деталі  $l_{DET}=70$  мм

$l_1$  - підвід інструменту  $l_1 = 2$  мм

$l_2$  - врізання інструменту  $l_2 = 2,5$

$l_3$  - перебіг інструменту  $l_3=0$

Основний час на виконання переходу

$$t_0 = \frac{L}{n_{\dot{A}} \cdot S} = \frac{74,5}{1000 \cdot 0,5} = 0,149 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{\dot{A}} = t_1 + t_2 = 0,11 + 0,12 = 0,23 \text{ хв}$$

$t_1 = 0,11$  хв – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця по упору на верстаті з висотою центрів до 200 мм при автоматичній подачі (табл.26).

$t_2 = 0,06 + 0,06 = 0,12$  хв – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі.

*Перехід 40.1 Фрезерувати шпонковий паз  $5 \times 10 \times 66$  мм.*

Знаходження геометричних даних для фрезерування в залежності від виду верстату і фрези:

глибина різання –  $t = 5$  мм, ширина –  $B = 10$  мм.

Геометричні дані інструменту:

Шпонкова фреза:  $D_{\Phi}=10$ мм

$S_z=0,03 \dots 0,04$  мм/зуб; приймаємо  $S_z= 0,04$  мм/зуб.

Визначаємо подачу на 1 оберт фрези:

$$S_{\text{об. фр}} = S_z \cdot z = 0,04 \cdot 3 = 0,12 \text{ мм}$$

Вибираємо емпіричну формулу (критичної) швидкості різання сталі:

$$V_p = \frac{13,6 \cdot D_{\dot{\phi}}^{0,3}}{T^{0,26} \cdot t^{0,3} \cdot S_z^{0,25}} = V_p = \frac{13,6 \cdot 10^{0,3}}{60^{0,25} \cdot 3^{0,3} \cdot 0,12^{0,25}} = 12,1 \text{ м/хв}$$

де  $T = 60$ хв. – стійкість фрези (табл. 35);

Розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000V_p}{\pi D_\phi} = \frac{1000 \cdot 12.1}{\pi \cdot 10} = 385,4 \text{ об/хв}$$

Узгодити  $n_p$  з паспортними характеристиками верстату 6М81Г і приймаємо

$$n_B = 300 \text{ об/хв.}$$

Тоді дійсна швидкість обертання:

$$V_d = \frac{\pi D_\phi n_B}{1000} = \frac{\pi \cdot 10 \cdot 300}{1000} = 9,42 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу:

$$S_{XB} = S_{\text{об. фр}} \cdot n_B = 0.12 \cdot 300 = 36 \text{ мм/хв}$$

З паспортних характеристик верстату приймаємо  $S_{XB} = 35 \text{ мм/хв.}$

Розрахункова довжина обробки :

$$L_p = L_d + L_1 + L_2 = 66 + 2 + 2 = 70 \text{ мм}$$

де  $L_1 = 2 \dots 3 \text{ мм}$  – підвід інструменту,

$L_2 = 2$  – врізання і перебіг залежить від типу фрези

Основний час на перехід 40.1

$$T_o = L_p / S_{XB} = 70/35 = 2 \text{ хв}$$

Допоміжний час:

$$T_d = t_y + t_d \quad (7.8)$$

$$t_y = t_{y1} + t_{y2}, \quad (7.9)$$

$t_{y1} = 0,41 \text{ хв}$  – час на установлення деталі масою до 3 кг з кріпленням гайкою за допомогою ключа

$t_{y2} = 0,10 \text{ хв}$  – час на очищення місця установки деталі від стружки

$$t_y = 0,41 + 0,10 = 0,51 \text{ хв.}$$

Допоміжний час, пов'язаний з переходом, для верстатів з довжиною стола 1250мм, автоматичним переміщенням, установленою на розмір,  $t_d = 0,09 \text{ хв.}$  Тоді

$$T_d = 0,51 + 0,09 = 0,6 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_d \quad (7.10)$$

$$T_{оп} = 0,49 + 0,6 = 1,09 \text{ хв}$$

Штучний час:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{пер},$$

$T_{об}=0,045T_{оп}$  і  $T_{пер}=0,06T_{оп}$  – відповідно, допоміжний час на обслуговування робочого місця і на відпочинок та природні потреби, що беруться у відсотках оперативного часу.

$$T_{шт}=1,09+0,045 \cdot 1,09+0,06 \cdot 1,09=1,2 \text{ хв}$$

Калькуляційний час:

$$T_k = T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{n} \quad (7.11)$$

$T_{пз}$  – підготовчо-завершальний час, що згідно з табл. 36 визначається як сума часу налагодження верстата (при кріпленні в лещатах з двома болтами кріплення – 14,7хв) та на одержання наряду, інструментів, пристроїв - 7хв.

$$T_{пз}=14,7+7=21,7 \text{ хв}$$

Тоді

$$T_k=1,2+21,7/300=1,27 \text{ хв}$$

Норма виробітку (кількість деталей за годину):

$$N = \frac{60}{T_k} \quad (7.12)$$

За формулою визначаємо

$$N=60/1,27=47 \text{ деталей.}$$

### ***Розрахунок і проектування кондуктора***

При фрезуванні паза в заготовці забезпечити відхилення від паралельності нижньої поверхні паза відносно діаметра 38 мм заготовки не більше 0,12.

1. Погрішність неспівпадіння баз

$$\omega_{i,d} = 0.5 \cdot \delta \cdot \left( \frac{1}{\sin \alpha / 2} - 1 \right) = 0.5 \cdot 0.12 \cdot \left( \frac{1}{\sin 45} - 1 \right) = 0.026 \text{ мм} \quad (7.13)$$

2. Погрішність закріплення заготовки

$$\omega_3 = 0.035 \text{ мм.}$$

3. Погрішність установки заготовки

$$\omega_y = \omega_{i,d} + \omega_3 = 0.026 + 0.035 = 0.061 \text{ мм.}$$

4. Сумарна погрішність обробки

$$\omega_\Sigma = K \cdot \omega_{\delta, N} = 0.5 \cdot 0.06 = 0.03$$

5. Допустима погрішність установки

$$[\omega_\delta] = \sqrt{\delta^2 - \hat{E}^2 \cdot \omega_{\delta, N}^2} = \sqrt{0.12^2 - 0.5^2 \cdot 0.06^2} = 0.11 \text{ мм.}$$

Відповідно,  $\omega_\delta \ll [\omega_y]$ , тобто схема базування допустима.

6. Сумарна погрішність установки

$$\omega_{i0} = \dot{\theta} - \sqrt{\omega_{\delta}^2 + \dot{E}^2 \cdot \omega_{\delta N}^2} = 0.12 - \sqrt{0.061^2 + 0.03^2} = 0.052 \text{ мм.}$$

7. Допуск на розрахунковий розмір зібраного пристрою

$$T_c = \omega_{i0} - (\varepsilon_{\delta i} + \varepsilon_{\zeta} + \varepsilon_i) = 0.052 - (0 + 0 + 0) = 0.052 \text{ мм на довжині 68 мм.}$$

Сила закріплення деталі:

$$Q = \frac{K \cdot P_Z \cdot \sin \alpha / 2 - P_Y \cdot f_2}{f_1 \cdot \sin \alpha / 2 + f_2} \quad (7.14)$$

де  $f_1 = 0.2$  - коефіцієнт тертя при контакті заготовки з захватами;  
 $f_2 = 0.16$  - коефіцієнт тертя при контакті обробленої поверхні заготовки з установчими поверхнями призми.

Коефіцієнт запасу розраховуємо по формулі

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (7.15)$$

$$k_0 = 1.5; k_1 = 1; k_2 = 1.6; k_3 = 1.2; k_4 = 1; k_5 = 1; k_6 = 1;$$

$$k = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.6 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 2.9$$

Колова сила різання:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_Z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{i.\delta} \quad (7.16)$$

де

$$C_p = 68.2; x = 0.86; y = 0.72; u = 1.0; q = 0.86; \omega = 0; k_{m.p} = 1; z = 2; D = 5 \text{ мм}; t = 3 \text{ мм};$$

$$S_Z = 0.06 \text{ мм/зуб}; n = 400 \text{ об/хв.}$$

$$P_Z = \frac{10 \cdot 68.2 \cdot 3^{0.86} \cdot 0.04^{0.72} \cdot 5^{1.0} \cdot 2}{5^{0.86} \cdot 400^0} \cdot 1 = 183 \text{ Н.}$$

Радіальна сила різання:

$$P_Y = 0.5; P_Z = 0.5 \cdot 183 = 92 \text{ Н.}$$

Сила закріплення заготовки:

$$Q = \frac{2.9 \cdot 183 \cdot 0.7 - 92 \cdot 0.16}{0.2 \cdot 0.7 + 0.16} = 1120 \text{ Н.}$$

$$F_{\text{затягання}} = Q \cdot H \cdot 2 \cdot h = 3650 \text{ Н}$$

### **Перевірка гвинта на стійкість**

Усі вантажні гвинти перевіряють на стійкість

$$F \leq \frac{F_{кр}}{n_{СТ}} \quad (7.17)$$

де  $n_{СТ}$  - допустимий коефіцієнт запасу стійкості:  $n_{СТ} = 2$

$F_{кр}$  - критичне навантаження. Визначається за формулою Ейлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\phi}}{(\mu \cdot l)^2} \quad (7.18)$$

$E$  - модуль пружності матеріалу гвинта  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

$I_{\phi}$  - фіктивний момент інерції перерізу гвинта, що визначається за емпіричними залежностями для гвинтів з трикутною нарізкою:

$$I_{\phi} = I(0,6 + 0,4 \cdot \frac{d}{d_0}) \quad (7.19)$$

де  $I$  - екваторіальний момент інерції перерізу гвинта, що дорівнює:

$$I = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,012^4}{64} = 0,8 \cdot 10^{-8}$$

$$I_{\phi} = 0,8 \cdot 10^{-9} (0,6 + 0,4 \cdot 1) = 0,85 \cdot 10^{-8}$$

$\mu$  - коефіцієнт зведення довжини гвинта, що залежить від типу опорних закріплень:  $\mu = 0,7$

$l$  - вільна довжина гвинта:  $l = 50 \text{ мм}$

Співвідношення  $\frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} = \lambda$  називається гнучкістю гвинта, де  $i_{\min}$  - мінімальний радіус інерції перерізу гвинта

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I}{S}} \quad (7.20)$$

$S$  - площа поперечного перерізу гвинта.

Для круглого перерізу

$$i_{\min} = d_1 / 4 \quad (7.21)$$

$$\lambda = \frac{0,7 \cdot 0,05 \cdot 4}{0,011} = 12,7$$

Оскільки  $\lambda > \lambda_{кр}$  то для визначення  $F_{кр}$  можемо використати формулу Ейлера .

$$F_{\epsilon\delta} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,85 \cdot 10^{-8}}{(0,7 \cdot 0,05)^2} = 13,68 \cdot 10^5 [H]$$

Оскільки  $0,365 \cdot 10^4 < \frac{13,68 \cdot 10^5}{2} = 6,84 \cdot 10^5$ , то вибраний діаметр гвинта запобігає поздовжній деформації.

### **Перевірка гвинта на міцність**

Небезпечний переріз гвинта перевіряємо на міцність за четвертою теорією міцності:

$$\sigma_{ЕКВ} = \sqrt{\sigma_{СТ}^2 + 3\tau_{кр}^2} \leq [\sigma]_{СТ}, \quad (7.22)$$

де  $\sigma_{СТ}$  - дійсне напруження розтягу в небезпечному перерізі:

$$\sigma_{СТ} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,365 \cdot 10^4}{\pi \cdot (0,012)^2} = 32,629 [МПа],$$

де  $\tau_{кр}$  - напруження кручення в небезпечному перерізі:

$$\tau_{кр} = \frac{T}{0,2 \cdot d_1^3} \quad (7.23)$$

Для розрахунку потрібно знайти крутний момент  $T$ , який у загальному випадку дорівнює моментомі  $T_{роб}$ , прикладеному до рукоятки гвинта:

$$T_{\rho\sigma} = T_{нар} + T_T, \quad (7.24)$$

де  $T_{нар}$  - момент у нарізці:

$$T_{i\dot{\alpha}\delta} = F \frac{d}{2} \operatorname{tg}(\beta + \rho')$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{P}{\pi \cdot d} = \operatorname{arctg} \frac{1.5}{\pi \cdot 12} = 4,046^\circ \quad (7.25)$$

$$T_{i\dot{\alpha}\delta} = 0.365 \cdot 10^4 \frac{0,012}{2} \cdot \operatorname{tg}(4,046 + 17,254) = 315,806 [\text{Н} \cdot \text{м}]$$

$T_T$  - момент тертя для кільцевої опорної поверхні гвинта

$$T_T = \frac{1}{3} f \cdot F \frac{D_0^3 - d_0^3}{D_0^2 - d_0^2}, \quad (7.26)$$

де  $D_0$ ,  $d_0$  - зовнішній і внутрішній діаметри кільцевої опорної поверхні.

$$T_T = \frac{1}{3} 0.365 \cdot 10^4 \cdot 0,3 \frac{12^3 - 10,5^3}{12^2 - 10,5^2} = 244 [\text{Н} \cdot \text{м}];$$

$$T = 315,806 + 244 = 559,806 [\text{Н} \cdot \text{м}] \quad \tau_{кр} = \frac{559,806}{0,2 \cdot 0,012^3} = 161,476 [\text{МПа}]$$

$$\sigma_{EKB} = \sqrt{32,629^2 + 3 \cdot 161,476^2} \leq 253,333$$

$$\sigma_{EKB} = 280,94 \geq 253,333$$

$$\frac{\sigma_{EKB} - [\sigma]_{СТ}}{[\sigma]_{СТ}} \cdot 100\% = \frac{281 - 253,333}{281} \cdot 100\% = 9,6\% < 10\%$$

Отже умова міцності виконується.

## 8. ВИМОГИ ЩОДО МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ

Монтажні роботи обладнання – це комплекс технічних робіт, що передбачає збирання технологічного обладнання, його встановлення в робоче положення місце, що передбачене проектом, збирання його і з'єднання в технологічні лінії, установки. Подальше випробування обладнання в режимі холостого ходу і під навантаженням, допоміжні, підготовчі і підгонні операції, які не були виконані.

Монтажні роботи по встановленню змішувача виконують за розробленим проектом монтажу де відображені покрокові рішення: загальний календарний план робіт і також план по монтажу окремих частин та видів обладнання; план розмітки площадки під монтажні роботи; способи та методи монтажних робіт, заходи з охорони праці і техніки безпеки; схему монтажу окремих складових обладнання у планах і розділах; доцільність використання підйомнотранспортного устаткування; необхідність в кваліфікованій робочій силі; наведення схем суміщення монтажних робіт з роботами будівельних конструкцій та спеціальними роботами; розроблення кошториси на виконання робітниками монтажних робіт.

Під час виконання монтажних робіт з встановлення змішувача необхідно:

1. Для встановлення змішувача, у цеху підготувати місце для його розміщення.
2. У разі отримання змішувача запакованим в ящик, розкрити тару у якій транспортувався, розпакувати і оглянути його та електрообладнання.
3. Перевірити відсутність пошкоджень при транспортуванні, перевірити наявність складових відповідно до пакувальної відомості.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту</b>	<b>18-2016.КР.03.008 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/3</b>

4. Розмістити змішувач у приміщенні цеху, закріпити його на підлозі, виставивши по рівню за необхідності.

5. Під'єднати трубопроводи (патрубки) водяної рубашки до системи транспортування теплоносія.

6. З'єднати патрубок вивантаження начинки з трубопроводом.

7. Здійснити змащування вузлів змішувача, відповідно до схеми мащення, наведено на рис. 8.1 і даними таблиці 8.1.

8. Підключити електроживлення, з виконанням захисного заземлення, до пульта керування змішувача з дотриманням ПУЕ і правил техніки безпеки.

*Таблиця 8.1 Змащування вузлів змішувача*

Номер точки	Кількість точок	Найменування точки	Марка матеріалу змащення	Нанесення	Періодичність зміни змащення
1	7	Підшипники (кочення)	Солідол Ж	Набивка	один раз у 0,5 року
2	4	Підшипники (ковзання)	Кондитерський жир	Набивка	один раз на місяць
3	2	Зубчаті колеса	Солідол Ж	Набивка	один раз на два тижні
4	2	Передача ланцюгова	Солідол Ж	Набивка	один раз на два тижні
5	1	Муфта	Солідол Ж	Набивка	один раз на два тижні

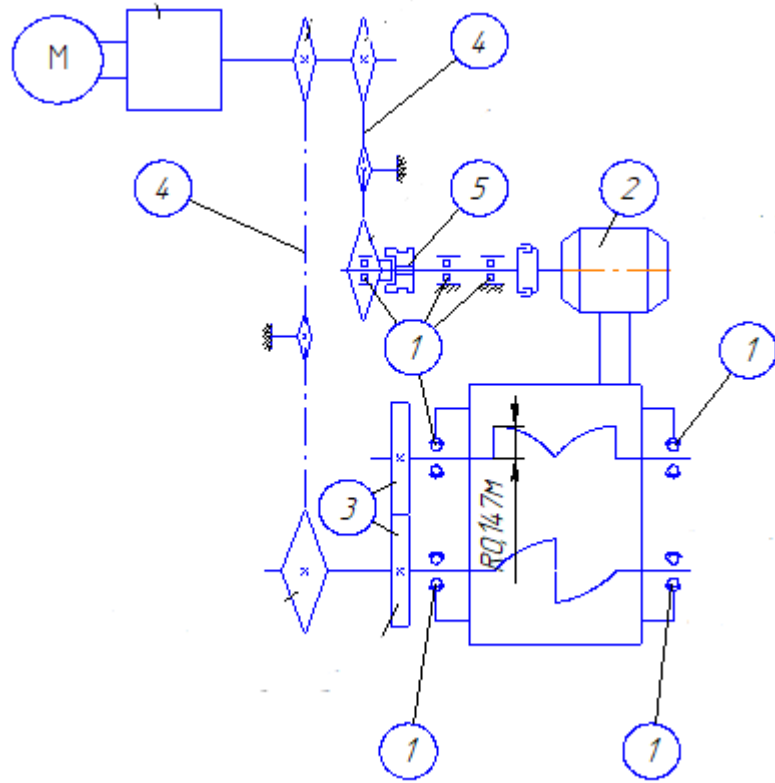


Рис.8.1 Схема змащування змішувача

## 9. ОПИС СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Конструктивна особливість змішувача дозволяє забезпечувати та керувати (регулювати) тепловий процес оброблення маси, що змішується за допомогою теплоносія (вода).

Регулювання температури кондитерської маси повинно здійснюватися за допомогою контролювання та регулювання температури теплоносія, що циркулює в рубашці корпусу змішувача. Нагрівання води відбувається окремо, за межами змішувача. Керування цим процесом здійснюється автоматично з введенням необхідних параметрів теплоносія та його швидкості руху в рубашці змішувача.

Електричне обладнання змішувача складається наступних елементів:

- шафи керування з вбудованим пультом;
- елементи керування, що розташовані на визначених місцях (двигунах; блоку нагрівання води, що встановлено окремо від змішувача).

Шафа управління змішувачем вбудована в його конструкцію.

Електроживлення надходить у шафу керування через вимикач, що вмикається чи вимикається вручну.

Автоматичний вимикач та теплове реле виконує захист двигуна від перевантаження.

Захист ТЕНів, що нагрівають воду для рубашки змішувача, від струму короткого замикання здійснюється автоматичним вимикачем.

Термометр (термоперетворювач) контролює температуру кондитерської маси, що встановлений в ємності змішувача, а термометр – контролю температури води (теплоносія) – на патрубку води перед входом в рубашку ємності.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Опис системи управління</b>	<b>18-2016.КР.03.009 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

Для блокування вмикання двигуна змішувача при відкритій кришці, встановлено кінцевий вимикач.

Пульт керування має кнопки пуску і зупинки електродвигуна приводу, циркуляційного водяного насосу, кнопку реверсу для вмикання двигуна, кнопку аварійного відімкнення електроживлення, вимірювач-регулятор температури, кнопка-вимикач системи автоматики змішувача.

## 10. ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ

### *Шкідливі і небезпечні фактори*

При виробництві кондитерських виробів у цеху можуть бути тільки дві групи факторів, що є небезпечними – це фізичні і психофізіологічні.

До фізичних – підвищена: вологість, температура, рухливість повітря; знижена освітленість; підвищений рівень шуму та вібрації. Найбільш негативні фактори, що впливають на людину, є шум і вібрація.

Кондитерське виробництво, а саме приміщення де розташоване обладнання, характеризується наявністю підвищеного шуму (до 80 дБ). Шум утворюється під час роботи двигунів та рухомих обертових частин устаткування. Зниження – за рахунок усуненням неприлягаючих з'єднань, змащенням обертових частин. Стіни і стелі вкривають звукоізолюючими матеріали.

Необхідно зменшувати час роботи з вібруючим устаткуванням.

#### Допустимі норми рівні вібрації (ДСН 3.3.6.039-99)

Частота	16	32	63	125	250
Рівень вібрації, дБ	97	93	95	97	97
Коливальна швидкість, см/с	0,35	0,22	0,27	0,35	0,35

Психофізіологічні фактори поділяються: перевантаження фізичні та нервово-психічні.

### *Мікроклімат*

Щоб забезпечити працездатність і збереження здоров'я робітників, необхідно створити метеорологічні умови відповідно до ДСН 3.3.6.042-99: «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Заходи щодо охорони праці</b>		<b>18-2016.КР.03.010 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/4

Виготовлення кондитерської маси для вафель відбувається у теплий і холодний період року. Для цеху нормативні параметри наведені у табл.:

Параметри	Холодний період року	Теплий період року
Оптимальна температура	18...20 °С	21...23 °С
Допустима температура	17...23 °С	27...29 °С
Відносна вологість повітря	40...60%, але не більше 75%	40...60%, але не більше 75%
Швидкість руху повітря	0,2...0,3 м/с	не більше 0,2 м/с

### **Освітлення**

У кондитерському цеху передбачено освітлення – природне та штучне.

Освітлення задовольняє вимоги ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Робочі місця освітлені боковим освітленням через віконні отвори у стінах. Для нормальної роботи використовується верхнє освітлення за рахунок люмінесцентних ламп (ДСТУ ІЕС 60901:2008, вимоги до робочих характеристик (ІЕС 60901:2004, IDT).

#### *Норми природного освітлення (ДБН В.2.5-28-2006)*

Характер виконуваної зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розпізнавання	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк
			Лампи розжарювання
Середньої точності	0,5...1,0 мм	IV	150

Штучне освітлення забезпечене відповідно до ДСТУ Б В.2.2-6-97 (ГОСТ 24940-96) Будинки і споруди. Методи вимірювання освітленості.

### **Випромінювання**

У цеху, де встановлений змішувач, відбувається тільки теплове випромінювання, яке виникає за рахунок нагрівання поверхні обладнання та трубопроводів.

У літній період року також додається тепло від сонячного випромінювання.

Інтенсивність випромінювання від обладнання не повинна перевищувати 70 Вт/м<sup>2</sup> (ДСН 3.3.6.042-99).

### ***Техніка безпеки з обслуговування змішувача***

Рухомі частини машини повинні бути закриті кожухами, щитками та кришками.

Для змішувача кондитерських мас складені правила безпечної експлуатації:

1. Допускаються до роботи з машиною працівники, що пройшли інструктаж з техніки безпеки.

2. Освітленість робочого місця повинне відповідати нормативним документам.

3. Електрообладнання та струмоведучі частини машини – надійно ізольовані та захищені, а шафа керування заземлена.

4. Вільний доступ до машини без загромождження проходів.

5. Усувати несправності, що виникли в машині тільки при її вимкненні.

6. Не залишати машину без нагляду, коли вона працює.

7. Підключення або відключення, огляд, монтаж та ремонт електроустаткування здійснюють працівники, що мають відповідну кваліфікацію.

### ***Пожежна безпека***

Приміщення кондитерського цеху повинно відповідати по вибухонебезпеці категорії Д та класу В2.

Пожежні крани розташовуватись у приміщенні цеху в протилежних кінцях споруди та знаходитись на висоті 1,35м від підлоги.

Кондитерський цех забезпечений засобами первинного пожежогасіння: вогнегасники (ОП-10); ящик з піском; бочка з водою; лопата; відра, багор та ін.

Для своєчасного виявлення пожежі та сигналізації, встановлені автоматичні сигналізатори, що мають у своїй конструкції тепловий датчик.

## 10. ЗАХОДИ ЩОДО ЕКОЛОГІЇ

Викиди кондитерських підприємств у атмосферу включають в себе:

- органічні речовини, що виділяються при виробництві
- неорганічні речовини, що виділяються при згоранні природного газу, твердого чи рідкого палива.

Джерелами екологічного забруднення є основні приміщення та допоміжні виробництва. До них належать: кондитерський цех, склад борошна, топочне відділення (котельня).

Допоміжні приміщення: холодильні камери, мийне відділення, котельня, майстерня, гаражі та відкрита стоянка.

При надходженні в цех борошна не вловлений фільтрами пил виділяється в приміщення, а потім – в атмосферу через витяжні вентиляційні системи.

При випіканні виробів з тіста в печах утворюються пари, які містять етиловий спирт, вологу, кислоти та інше. Під час горіння природного газу утворюються діоксид азоту і оксид вуглецю.

У котельні при спалюванні газу, викиди надходять у атмосферу через димарь, що забруднює навколишнє середовище

При охолодженні продукції в холодильниках виділення шкідливих речовин (холодоагенту) не значне.

Під час миття обладнання теж відбувається викиди та скиди забруднюючих речовин.

У механічній майстерні встановлені металооброблювальні станки, відходи яких впливають на навколишнє середовище.

Зменшення впливу на навколишнє середовище можна забезпечивши наступні мінімальні кроки на будь якому підприємстві.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Заходи щодо екології</b>	<b>18-2016.KP.03.011 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

У котельнях на підприємстві необхідно встановлювати сучасні котли для спалювання природного газу, або твердого палива, з системою фільтрів для вловлювання продуктів згорання.

Забезпечення на підприємстві очисних споруд для очищення стоків з можливістю повторного їх використання. Забезпечити оборотне використання води.

Мінімізувати викиди та скиди на підприємстві – безвідходне, або маловідходне виробництво. Забезпечення утилізації відходів.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі проведено удосконалення конструкції змішувача для в'язкопластичних кондитерських мас – начинки для вафель.

За результатами роботи – підвищено продуктивність машини до 250 кг/год., покращено якості процесу змішування продукту (начинки для вафель), що досягнуто за рахунок зміни конструкції змішувача, насосу шестеренчастого типу нової конструкції, збільшення робочого об'єму змішувача до 165 л та застосування у якості робочих органів Z-подібних лопатей.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Степаненко А. С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Висновки</b>	<b>18-2016.КР.03.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миранчук В. Г.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] : В 3-х т.– М.: Машиностроение, 1982. (т.1 – 729 с. т.2. – 584 с. т.3. – 576 с.)
2. Драгилев, А. И. Сборник задач по расчету технологического оборудования кондитерского производства [Текст]: Учеб. пособие / А. И. Драгилев, М. Д. Руб. — М. : ДеЛи принт, 2005. — 244 с.
3. Драгилев, А. И. Технологическое оборудование кондитерского производства [Текст]: учеб. пособие / А. И. Драгилев, Ф. М. Хамидулин. — СПб. : Троцкий мост, 2011. — 360 с.
4. Купчик, М. П. Основи охорони праці / М. П. Купчик, М. П. Гандзюк, І. Ф. Степанець, В. Н. Вендичанський, А. М. Литвиненко, О. В. Іваненко. – К.: Основа, 2000. – 416 с.
5. Машины и аппараты пищевых производств [Текст] : учебник : в 3 кн. Кн. 1 / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др. ; под ред. В. А. Панфилова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : КолосС, 2009. — 610 с.
6. Машины и аппараты пищевых производств [Текст] : учебник : в 3 кн. Кн. 2 / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др. ; под ред. В. А. Панфилова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : КолосС, 2009. — 847 с.
7. Машины и аппараты пищевых производств [Текст] : учебник : в 3 кн. Кн. 3 / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др. ; под ред. В. А. Панфилова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : КолосС, 2009. — 551 с.
8. Методичні рекомендації до виконання випускної роботи для здобувачів освітнього ступеня "Бакалавр" спеціальності 133 Галузеве машинобудування денної та заочної форм навчання / уклад. : В. Г. Мирончук, О. М. Гавва ; Нац. ун-т харч. технол. - Київ : НУХТ, 2018. - 30 с.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> <i>Якобчук Р. Л.</i>	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> <i>Степаненко А. С.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Список використаних літературних джерел</b>	<b>18-2016.КР.03.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Мирончук В. Г.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/3</b>

9. Монтаж та технічний сервіс обладнання. Практикум [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Мирончук, Д. М. Люлька, О. А. Єщенко, О. І. Свідерська ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2017. — 162 с.

10. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. / Підручник. / В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко та ін. ; за ред. В.Г. Мирончука.— Вінниця: Нова книга, 2007. — 648 с.

11. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2 кн./ В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А.Носов и др.; Под ред. В.Г.Айнштейна. М.: Логос; Высшая школа, 2003. Кн. 2. 872 с.: ил.

12. Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : підруч. / О. С. Марценюк, Л. М. Мельник ; НУХТ. — К. : НУХТ, 2011. — 407 с.

13. Справочник механика пищевой промышленности / А.И. Соколенко, А.И. Украинец, В.Л. Яровой и др.; Под ред. А.И. Соколенко. – К.: АртЭк, 2004. – 304 с.: ил.

14. Справочник специалиста пищевых производств. Книга 1. Под ред. А. И. Соколенко. – К.: АртЭк, 2001. – 304 с.: ил.

15. Сухенко Ю.Г., Бойко Ю. І. Технологічні основи машинобудування. Лабораторний практикум: Навч. посібник/За ред. проф. Ю. Г. Сухенка – К.:НУХТ,2009.- 262 с.

16. Техника пищевых производств малых предприятий [Текст] : учеб. пособие / С. Т. Антипов, В. Е. Добромиров, А. И. Ключников и др. ; под ред. В. А. Панфилова. — М. : КолосС, 2007. — 696 с.

17. Технология пищевого машиностроения / Г.А. Прейс, А.И. Безыкорнов. – К.: Вища шк. Головное изд - во, 1987. – 287с.

18. Технологічні основи машинобудування: методичні рекомендації до виконання курсової роботи для студентів напрямів підготовки 6.050502 "Інженерна механіка", 6.050503 "Машинобудування" денної та заочної форм навчання / уклад. : Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2015. — 193 с.

19. Какао-масло // Великий тлумачний словник сучасної української мови. — К. : «Перун», 2005.

20. [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D1%96\\_%D0%B6%D0%B8%D1%80%D0%B8\\_%D0%B9\\_%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%97](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D1%96_%D0%B6%D0%B8%D1%80%D0%B8_%D0%B9_%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%97)