

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ  
ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему:

«Відцентровий насос типу X 12,5-32»

зі спеціальності

050502 «Інженерна механіка» (спеціалізація «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика»)

Виконавець роботи

Семенов Євген Євгенович

---

*підпис, дата*

Науковий керівник

Герман Віктор Федорович

---

*підпис, дата*

Суми 2019

Сумський державний університет

Факультет TeSET Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

Спеціальність 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідро пневмоавтоматика»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### на кваліфікаційну роботу бакалавра

Семенов Євген Євгенович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Відцентровий насос типу X 12,5-32  
затверджена наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін здавання закінченої роботи 26.05.2019р.
3. Вихідні дані до роботи: подача насоса  $Q = 12,5 \text{ м}^3/\text{год}$ , напір  $H = 32 \text{ м}$ , густина  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): насоси типу X: основні конструктивні схеми, область застосування; обґрунтування вибору конструктивної схеми насоса; опис конструкції вибраного насоса; гідравлічні розрахунки; розрахунки щодо вибору електродвигуна; вибір кінцевого ущільнення вала; розрахунки на міцність; розрахунки з вибору підшипників, технологічний розділ, розділ з охони праці, економічна частина
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): монтажне креслення агрегату, складальне креслення насоса, креслення робочого колеса, теоретичне креслення відводу (всього 4 листа ф. А1)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір матеріалів для бакалаврської роботи	25.10 - 30.11. 2018 р.	
2	Аналіз насосного обладнання для перекачування агресивних рідин	01.12 - 31.12.2018 р.	
3	Насоси типу Х: основні конструктивні схеми, область застосування	02.01- 31.01.2019 р.	
4	Обґрунтування вибору конструктивної схеми насоса	01.02 - 10.02.2019 р.	
5	Опис конструкції вибраного насоса	11. 02 - 17.02.2019 р.	
6	Гідравлічні розрахунки	18.02 - 28.02.2019 р.	
7	Вибір електродвигуна. Вибір кінцевого ущільнення насоса	01.03 - 17.03.2019 р.	
8	Механічні розрахунки	18.03 - 01.04.2019 р.	
9	Переддипломна практика. Технологічний розділ	01.04 - 21.04.2019 р.	
10	Монтажне креслення насосного агрегату	22.04 - 28.04.2019 р.	
11	Складальне креслення насоса	29.04 - 09.05.2019 р.	
12	Теоретичне креслення відводу. Економічне питання	10.05 - 14.05.2019 р.	
13	Креслення деталі. Розділ охорони праці	15.05 – 22.05.2019 р	
14	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічних матеріалів	23.05 – 26.05.2019 р.	

Дата видачі завдання – 24.10.2018 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_

Герман В. Ф.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 55 с., рисунків: 10, таблиць:1, 8 літературних джерел.

Тема роботи : Відцентровий насос типу X 12,5-32.

Графічні матеріали: 4 аркуші формату: монтажне креслення насосного агрегату А1, складальне креслення насоса А1, теоретичне креслення відводу А1, креслення робочого колеса А1.

Мета роботи – розроблення конструкції хімічного насоса X 12,5-32.

Відповідно до поставленої мети було:

- обґрунтовано вибір конструктивної схеми насоса;
- виконані гідравлічні розрахунки;
- розроблено робоче колесо;
- обраний тип кінцевого ущільнення й двигуна насоса;
- визначена довговічність складальних одиниць та деталей насоса.

У розділі охорони праці розглянута природна і штучна вентиляція.

У розділі економіки розглянута структура і тривалість виробничого циклу.

У технологічному розділі розроблено технологічний процес виготовлення і обробки робочого колеса.

Ключові слова: НАСОС, КОНСТРУКЦІЯ, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ВІДВІД, ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ, МІЦНІСТЬ.

## Зміст

Завдання	
Реферат	
<a href="#">Вступ</a> .....	7
<a href="#">1 Опис конструкції насоса</a> .....	8
<a href="#">2 Обґрунтування вибору конструкції схеми насоса</a> .....	9
<a href="#">3 Гідравлічні розрахунки</a> .....	111
<a href="#">3.1 Визначення основних розрахункових даних</a> .....	111
<a href="#">3.2 Вибір моделі робочого колеса та розрахунок зовнішнього діаметру (модельний розрахунок робочого колеса)</a> .....	11
<a href="#">3.3 Розрахунок складових повного ККД насоса</a> .....	12
<a href="#">3.3.1 Гідравлічні втрати</a> .....	12
<a href="#">3.3.2 Об'ємні втрати</a> .....	14
<a href="#">3.3.3 Механічні втрати</a> .....	17
<a href="#">3.4 Розрахунок насоса на кавітацію</a> .....	18
<a href="#">3.5 Визначення осьової сили, що діє на ротор насоса</a> .....	20
<a href="#">3.6 Визначення радіальної сили</a> .....	22
<a href="#">4 Розрахунки для вибору двигуна</a> .....	23
<a href="#">4.1 Вибір двигуна</a> .....	23
<a href="#">4.2 Розрахунок пускової моментної характеристики</a> .....	23
<a href="#">5 Визначення довговічності складальних одиниць і деталей насоса</a> .....	26
<a href="#">5.1 Розрахунок реакцій в опорах</a> .....	26
<a href="#">5.2 Розрахунок довговічності підшипників</a> .....	28
<a href="#">5.3 Розрахунок вала на статичну міцність</a> .....	29
<a href="#">5.4 Розрахунок шпонкових з'єднань</a> .....	31

					6.050502.07BP.000.00ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Семенов			Відцентровий насос типу X 12,5-32 Пояснювальна записка	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Герман					5	55
Реценз.						СумДУ, гр. ГМ-51		
Н. Контр.		Алексеєнко						
Затв.								

<u>6 Вибір кінцевого ущільнення</u> .....	33
<u>7. Технологічний розділ</u> .....	35
<u>7.1. Визначення типу виробництва та його характеристика</u> .....	35
<u>7.2 Визначення методу отримання заготовки. Визначення к.в.м. (коефіцієнт використання матеріалу)</u> .....	36
<u>7.2.1 Визначення методу отримання заготовки</u> .....	36
<u>7.2.2 Визначення к.в.м.</u> .....	38
<u>7.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталей відповідно до завдання з визначенням оптимальних режимів обробки, зварювання, складання, визначення норм витрат часу на технологічну операцію. Визначення кількості обладнання, інструментів, пристосувань. Розробка ескізів – налаштувань.</u> .....	39
<u>7.3.1 Розробка технологічного процесу для виготовлення і обробки робочого колеса.</u> .....	39
<u>8. Економічний розділ. Тривалість і структура виробничого циклу.</u> .....	48
<u>9. Охорона праці. Штучна і природна вентиляція.</u> .....	51
<u>Список літератури</u> .....	55

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## Вступ

Насоси відносять до групи енергетичних машин, які слугують для перетворення механічної енергії, отриманої від двигуна в енергію потоку рідини. Особлива риса насосів є їх поширеність. Перш за все насоси використовуються у системах водопостачання - комунального та промислового, на суднових установках. Відповідальну роль насоси відіграють у атомній енергетиці. Велике значення мають насоси у хімічній, нафтопереробній промисловості і у системах дальнього транспортування нафтопродуктів. Особливо великі насосні агрегати використовуються у системах гідроакумуляції і обслуговування каналів. Широко використовують насоси для гідро транспортування: транспортування кам'яного вугілля, паперової маси та інше.

Розповсюджено використовуються насоси в якості допоміжних пристроїв з метою подачі масла для змащування машин і подачі рідкого палива.

Виконання даної бакалаврської роботи спрямоване на закріплення лекційного матеріалу та його поглиблення, здобуття практичних навичок у розрахунку та проектуванні відцентрових насосів.

					6.050502.07ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## 1 Опис конструкції насоса

Насос Х12,5-32 – відцентровий, горизонтальний, консольний, одноступінчастий. Напірний патрубок розташований вертикально.

Проточна частина насоса – корпус, робоче колесо, диск, гайка ротора виконані зі сталі 20Х13Л.

Корпус насоса має опорні лапи і кріпиться болтами на рамі. До корпуса через проміжну проставку кріпиться опорний вузол, в якому на шарикопідшипниках обертається вал.

Кінцеве ущільнення насоса – одинарне торцеве. Матеріал пари тертя силицьований графіт СТ-П. Таке ущільнення забезпечує герметичність і має великий ресурс роботи. Для охолодження ущільнення передбачено підвід води від стороннього джерела.

Особлива відмінність насоса в тому що, при його ремонті нема потреби демонтувати трубопровід від насоса. Це забезпечується застосуванням зеднувальної упругої муфти з проміжною проставкою. Також відпадає необхідність у знятті електродвигуна.

Насос застосовують для подачі нафти та світлих нафтопродуктів, хімічно активних і слабо агресивних рідин, які не викличуть корозію метала проточної частини , а також нейтральних рідин.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



## 2 Обґрунтування вибору конструкції схеми насоса

Вихідні дані: подача  $Q = 12,5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ , напір  $H = 32\text{м}$ .

Параметри запропонованого до розробки насоса відповідають ряду відцентрових одноступінчастих насосів загального призначення, насосів типу К [1]. У відповідності з цим обираємо одноступінчастий насос консольного типу з закритим робочим колесом.

Для вибору частоти обертання насоса розраховуємо коефіцієнт швидкохідності [1]:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{60 \cdot H^{3/4}}, \quad (2.1)$$

де  $n$  - частота обертання валу, об/хв;

$Q$  - витрата насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  - напір насоса, м.

Кількість ступенів та потоків для насоса, який ми проектуємо дорівнює 2.

Проведемо розрахунок для двох частот обертання:  $n_1 = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ ,  $n_2 = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

При  $n_1 = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ :

$$n_{s_1} = \frac{3,65 \cdot 1500 \cdot \sqrt{12,5}}{60 \cdot 32^{3/4}} = 24.$$

При  $n_2 = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ :

$$n_{s_2} = \frac{3,65 \cdot 3000 \cdot \sqrt{12,5}}{60 \cdot 32^{3/4}} = 48.$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

При виборі частоти обертання необхідно врахувати, що чим більше частота обертання, тим менше розміри насоса, більше коефіцієнт швидкохідності та вище ККД. Однак можуть погіршуватися кавітаційні якості насоса.

Розрахунок  $n_s$  показує, що при  $n_1 = 1500 \text{ об/хв}$  значення  $n_{s_1} = 24$  не відповідає типу відцентрованих насосів, для яких  $n_s > 40$ . У зв'язку з цим, приймаємо розрахункову частоту обертання  $n = 3000 \text{ об/хв}$ . При даній частоті значно зменшується маса та габарити насоса, а його ККД збільшується.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

### 3 Гідравлічні розрахунки

#### 3.1 Визначення основних розрахункових даних

Вихідні дані: подача  $Q = 12,5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ ; напор  $H = 32\text{м}$ ; частота обертання насоса  $n = 3000 \text{об/хв}$ ; густина рідини, що перекачує насос  $\rho = 1000 \text{кг/м}^3$ .  
Коефіцієнт швидкохідності насоса при частоті обертання  $n = 3000 \text{об/хв}$ :  
 $n_s = 48$ .

#### 3.2 Вибір моделі робочого колеса та розрахунок зовнішнього діаметру (модельний розрахунок робочого колеса)

Визначимо попередньо діаметр робочого колеса, при  $n_s = 97,1 < 100$  за формулою [1]:

$$D_2 = 19,1 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{n},$$
$$D_2 = 19,1 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 32}}{3000} = 0,16\text{м}.$$

Виходячи з отриманих значень  $n_s = 48$ ,  $D_2 = 160\text{мм}$  вибираємо модельну проточну частину зі спіральним відводом ( $n_s = 50$ ). Параметри моделі:

$$D_{2M} = 195\text{мм}; n = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \rho_M = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Параметри моделі при

Для визначення геометричних розмірів його проточної частини (робочого колеса, відводу) визначимо коефіцієнт геометричної подібності  $\lambda$  за формулою [2]:

$$\lambda = \sqrt[4]{\left(\frac{Q_H}{Q_M}\right)^2 \cdot \frac{H_M}{H_H}}$$

де  $Q_H$  та  $Q_M$  – витрата ступені натурального та модельного насосів;

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$H_H$  та  $H_M$  – напір ступені натурального та модельного насосів;

$$\lambda = \sqrt[4]{\left(\frac{12,5}{22,7}\right)^2 \cdot \frac{47,6}{32}} = 0,82.$$

Перерахуємо зовнішній діаметр натурального робочого колеса  $D_{2H}$  через коефіцієнт  $\lambda$ , [1]:

$$D_{2H} = \lambda \cdot D_{2M},$$

де  $D_{2M}$  – діаметр робочого колеса моделі.

$$D_{2H} = 0,82 \cdot 195 = 160\text{мм}.$$

### 3.3 Розрахунок складових повного ККД насоса

Втрати в насосах розділяють на три основні види: гідравлічні, об'ємні, механічні.

Повний ККД насоса визначають за формулою:

$$\eta = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_o \cdot \eta_m, \quad (3.4)$$

де  $\eta_{\Gamma}$  - гідравлічний ККД;

$\eta_o$  - об'ємний ККД;

$\eta_m$  - механічний ККД;

#### 3.3.1 Гідравлічні втрати

Гідравлічні втрати – це сумарні втрати при русі рідини по водопровідним каналам. Їх умовно можна розділити на дві категорії: втрати на тертя при русі рідини в каналах проточної частини насоса та втрати на вихроутворення, що пов'язані з відривом потоку при обтіканні різноманітних елементів робочих органів насосу. Оскільки між лопатеві канали робочого колеса обертаються, то це порушує розподіл швидкості в них та впливає на гідравлічні втрати.

В першому приближенні гідравлічні втрати можна розрахувати за формулою Ломакіна:

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2}, \quad (3.5)$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

де  $D_{1пр}$  – приведений діаметр,мм.

Приєдений діаметр робочого колеса визначаємо за формулою:

$$D_{1пр} = \sqrt{D_0^2 - d_{вг}^2}, \quad (3.6)$$

де  $d_{вг}$  – діаметр втулки робочого колеса,мм;

$D_0$  – діаметр входу в робоче колесо,мм.

Меридіанний переріз відцентрового робочого колеса з основними геометричними параметрами наведено на рисунку 3.1

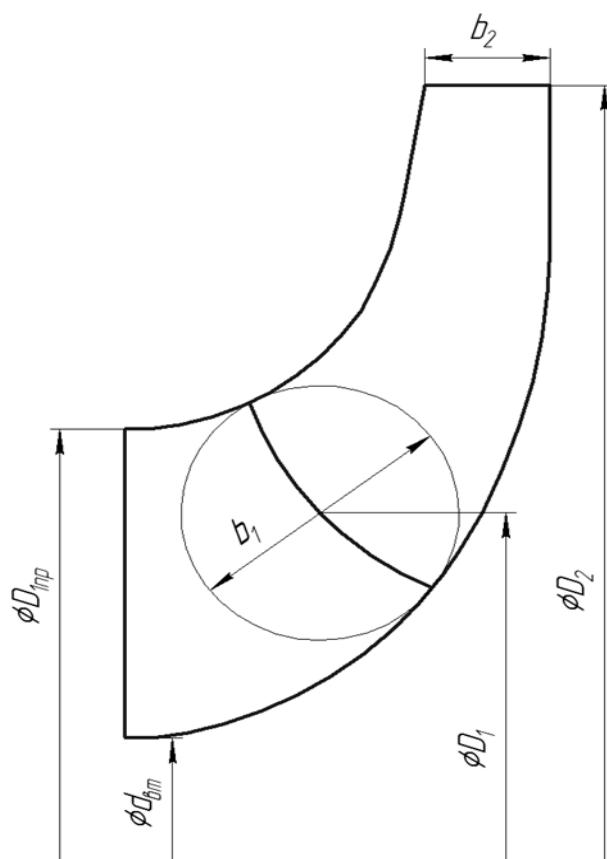


Рисунок 3.1 – Меридіанний переріз

$D_0=55$ мм,  $d_{вг}=32$ мм.

За формулою (3.6) визначаємо  $D_{1пр}$ :

$$D_{1пр} = \sqrt{0,055^2 - 0,032^2} = 0,045\text{м.}$$

Тоді за формулою (3.5):

$$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{(\lg 0,045 - 0,172)^2} = 0,82.$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

### 3.3.2 Об'ємні втрати

Об'ємні втрати пов'язані з витокami рідини які виникають в зазорах між нерухомими деталями насоса та деталями насоса, що обертаються. В розглянутому насосі витки можуть бути через ущільнення та сальникове ущільнення. Вважаємо, що витки через сальникове ущільнення відсутні. В даному розрахунку враховуємо тільки витки через переднє ущільнення робочого колеса. В результаті наявності об'ємних втрат, корисна подача насоса менше подачі робочого колеса, що характеризується об'ємним ККД:

об'ємним ККД:

$$\eta_o = \frac{q}{q + \Sigma q}, \quad (3.7)$$

де :  $\Sigma q$  – втрати від яких залежить подача колеса, м<sup>3</sup>/с<sup>2</sup>

Втрати через переднє ущільнення робочого колеса:

$$q_1 = \mu f_y \sqrt{2gh_y}, \quad (3.8)$$

де:  $\mu$  – коефіцієнт втрат циліндричної щілини;

$f_y$  – площа поперечного перерізу щілини, мм<sup>2</sup> ;

$h_y$  – перепад тиску у передньому ущільненні.

Коефіцієнт втрат циліндричної щілини:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,5 + \frac{\lambda l}{2\delta_1}}}, \quad (3.9)$$

де:  $\lambda=0,04$  – коефіцієнт тертя,

$\delta$  – радіальний зазор в ущільненні колеса, мм; для малих насосів  $\delta=0,2-0,3$  мм, приймаємо  $\delta=0,2$  мм, [1]стр.107

$l$  – довжина щілини, мм, [1]стр.108

Для насосів малих розмірів:

$$\frac{l}{D_y} = 0,2 - 0,25.$$

де:  $D_y$  – діаметр щілини, мм.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Приймаємо:  $l = 0,25 D_y$

$$l = 0,25 \cdot 70 = 17,5 \text{ мм}$$

Приймаємо:  $l = 18 \text{ мм}$ .

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,5 + \frac{0,04 \cdot 18}{2 \cdot 0,2}}} = 0,55$$

Площа поперечного перерізу [1] стр.106

$$f_y = \pi D_y \delta_1, \quad (3.10)$$

$$f_y = 3,14 \cdot 0,07 \cdot 0,0002 = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Напір, що втрачається в ущільненні [1] стр.107:

$$h_y = H_p - \frac{u_2^2}{8g} \left[ 1 - \left( \frac{R_y}{R_2} \right)^2 \right]^2, \quad (3.11)$$

де:  $H_p$  – потенціальний напір, м;

$u_2$  – колова швидкість на виході з робочого колеса, м/с<sup>2</sup>.

Потенціальний напір робочого колеса

$$H_p = H \left( 1 - \frac{v_{2u}}{2U_2} \right), \quad (3.12)$$

де:  $H$  – напір насоса, м;

$v_{2u}$  – колова складова абсолютної швидкості;

$U_2$  – колова швидкість колеса, м/с .

Колова швидкість колеса:

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}, \quad (3.13)$$

$$U_2 = \frac{3,14 \cdot 0,16 \cdot 3000}{60} = 25,1 \text{ м/с}$$

Колова складова абсолютної швидкості:

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$v_{2u} = \frac{g H_T}{w \cdot r_2}, \quad (3.14)$$

де:  $H_T$  – теоретичний напір робочого колеса, м;

$w$  – кутова швидкість,  $c^{-1}$ .

Кутова швидкість робочого колеса:

$$w = \frac{\pi n}{30}, \quad (3.15)$$

$$w = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ c}^{-1}.$$

Теоретичний напір робочого колеса:

$$H_T = \frac{H}{\eta_T}, \quad (3.16)$$

$$H_T = \frac{32}{0,82} = 39 \text{ м}$$

Колова складова абсолютної швидкості:

$$v_{2u} = \frac{9,81 \cdot 39}{314 \cdot 0,08} = 15$$

Потенціальний напір робочого колеса:

$$H_p = 32 \cdot \left(1 - \frac{15}{2 \cdot 25,1}\right) = 22,4 \text{ м}$$

Напір, що втрачається в ущільненні:

$$h_y = 22 - \frac{25,1^2}{8 \cdot 9,81} \left[1 - \left(\frac{0,035}{0,08}\right)^2\right]^2 = 16,7 \text{ м.}$$

$$q = 0,55 \cdot 4,4 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 16,7} = 4,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\eta_o = \frac{3,47 \cdot 10^{-3}}{3,47 \cdot 10^{-3} + 4,38 \cdot 10^{-4}} = 0,89$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



### 3.3.3 Механічні втрати

Механічні втрати розділяють на внутрішні та зовнішні. Внутрішніми втратами вважають втрати в кінцевих ущільненнях та підшипниках, внутрішніми – втрати дискового тертя.

Повний механічний ККД визначаємо за формулою:

$$\eta_M = \eta'_M \cdot \eta''_M, \quad (3.17)$$

де:  $\eta'_M$  – внутрішній механічний ККД;

$\eta''_M$  – зовнішній механічний ККД.

Внутрішній механічний ККД визначаємо за формулою Ломакіна:

$$\eta'_M = \frac{1}{1 + 820 \cdot n_s^{-2}}; \quad (3.18)$$

$$\eta'_M = \frac{1}{1 + 820 \cdot 48^{-2}} = 0,74.$$

Зовнішній механічний ККД приймаємо  $\eta''_M = 0,95-0,99$  (менші значення приймають для малих потужностей)[2]. Приймаємо  $\eta''_M = 0,96$ .

Тоді:

$$\eta_M = 0,74 \cdot 0,96 = 0,71.$$

Повний розрахунковий ККД у відповідності до формули (3.4):

$$\eta = 0,82 \cdot 0,89 \cdot 0,74 = 0,54.$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

### 3.4 Розрахунок насоса на кавітацію

Кавітаційні якості насоса залежать від основних геометричних розмірів робочого колеса та фізичних властивостей рідини. Мінімальний кавітаційний запас визначається за формулою:

$$\Delta h = \lambda_1 \frac{V_0^2}{2g} + \lambda_2 \frac{W_1^2}{2g}, \quad (3.19)$$

де:  $\lambda_1, \lambda_2$  – коефіцієнти;

$V_0$  – абсолютна швидкість на вході в колесо, м/с;

$W_1$  – відносна швидкість на вході колеса.

Для насосів значення коефіцієнтів при безударному вході приймають  $\lambda_1=1,2$ ,  $\lambda_2=0,3$ .

Швидкість потоку при вході в робоче колесо  $V_0$  визначається з рівняння нерозривності:

$$V_0 = \frac{Q_{р.к}}{S_0}, \quad (3.20)$$

де:  $Q_{р.к}$  – подача робочого колеса;

$S_0$  – площа вхідної воронки робочого колеса.

Подача робочого колеса визначається за формулою:

$$Q_{р.к} = \frac{Q}{\eta_0}, \quad (3.21)$$

$$Q_{р.к} = \frac{0,00347}{0,89} = 3,9 \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{с},$$

Визначаємо площу вхідної воронки робочого колеса:

$$S_0 = \frac{\pi(D_0^2 - d_{вТ}^2)}{4}; \quad (3.22)$$

$$S_0 = \frac{3,14 \cdot (0,055^2 - 0,032^2)}{4} = 0,00157 \text{ м}^2.$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Швидкість потоку при вході в робоче колесо:

$$V_0 = \frac{3,9 \cdot 10^{-3}}{0,00157} = 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відносна швидкість на вході в колесо визначається за формулою:

$$W_1 = \sqrt{U_1^2 + V_{m1}^2}, \quad (3.23)$$

де:  $V_{m1}$  – меридіанна складова швидкості, м/с;

$U_1$  – переносна швидкість при вході в робоче колесо, м/с.

Переносна швидкість при вході в робоче колесо:

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}, \quad (3.24)$$

Орієнтовано  $D_1$  приймають:

$$D_1 \approx 0,8 D_0, \quad (3.25)$$

$$D_1 \approx 0,8 \cdot 0,055 \approx 0,044 \text{ м}.$$

За формулою (3.16) обчислюємо переносну швидкість:

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,044 \cdot 3000}{60} = 6,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

При вході потоку на лопать, меридіанна складова абсолютної швидкості зростає і визначається за рівнянням:

$$V_{m1} = \psi_1 V_0, \quad (3.26)$$

де:  $\psi_1 = 1,15 - 1,3$  – коефіцієнт стиснення потоку на вході. Приймаємо  $\psi_1 = 1,2$ .

$$V_{m1} = 1,2 \cdot 2,21 = 2,87 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відносна швидкість на вході в колесо за формулою (3.23)

$$W_1 = \sqrt{6,9^2 + 2,87^2} = 7,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідно до формули (3.19), мінімальний кавітаційний запас дорівнює:

$$\Delta h_{\text{кр}} = 1,2 \cdot \frac{2,21^2}{2 \cdot 9,81} + 0,3 \cdot \frac{7,2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,1 \text{ м}.$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Кавітаційний коефіцієнт швидкохідності визначається за формулою:

$$C_{кр} = \frac{5,62n\sqrt{Q}}{\Delta h_{кр}^{0,75}} ; \quad (3.27)$$

$$C_{кр} = \frac{5,62 \cdot 3000 \cdot \sqrt{12,5}}{60 \cdot 1,1^{0,75}} = 925.$$

Значення  $C=925$  знаходиться в межах 800 – 1000, що говорить про добрі кавітаційні якості насоса [1].

### 3.5 Визначення осьової сили, що діє на ротор насоса

Неврівноважена осьова сила виникає внаслідок різниці епюр тисків, що діють на основний та покривний диски робочого колеса. Осьова сила від різниці визначається за формулою [1]:

$$T_1 = \gamma \pi (r_{y1}^2 - r_{y2}^2) \cdot \left[ H_p - \frac{\omega^2}{8g} \left( r_2^2 - \frac{r_{y1}^2 - r_{y2}^2}{2} \right) \right], \quad (3.28)$$

де:  $r_{y1}, r_{y2}$  – радіуси переднього та заднього ущільнення робочого колеса, м

$H_p$  – потенціальний напір колеса, м;

$r_2$  – зовнішній радіус колеса, м;

$\gamma$  – питома вага рідини ( $\gamma=9810$  Н/м<sup>3</sup>);

$\omega$  – кутова швидкість обертання вала, с<sup>-1</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Розміри робочого колеса:

$r_{y1}=0,035$ м ,  $r_{y2}=0,0175$ м ,  $r_{y3}=0,08$ м.

Потенціальний напір колеса, дивись пункт 3.3.2

$H_p=22,4$  м.

Кутова швидкість, дивись пункт 3.3.2

$\omega=314$ с<sup>-1</sup>

Осьова сила  $T_1$  за виразом (3.20)

$$T_1 = 9810 \cdot 3,14(0,035^2 - 0,0175^2) \cdot \left[ 22,4 - \frac{314^2}{8 \cdot 9,81} \left( 0,08^2 - \frac{0,035^2 - 0,0175^2}{2} \right) \right] = 434 \text{ Н}$$

									Арк.
									20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.050502.07BP.000.00ПЗ				

Повздовж осі насоса діє динамічна сила  $T_2$ , обумовлена натіканням потоку на колесо, а також зміною осьового напрямку на радіальний.

Сила  $T_2$ :

$$T_2 = B \frac{\gamma Q}{g} v_0, \quad (3.29)$$

де:  $B=1$  – для радіальних коліс;

$v_0=2,21$  м/с, дивись пункт 3.4– швидкість на вході в робоче колесо.

$$T_2 = 1 \cdot \frac{9810 \cdot 12,5}{3600 \cdot 9,81} \cdot 2,21 = 8 \text{ Н}$$

Осьову силу в насосі врівноважуємо застосуванням імпелерів.

Знайдемо силу  $T_{и}$  створену імпелерами:

$$T_{и} = \frac{3}{8} \pi \rho (r_{2и}^2 - r_{1и}^2) \frac{u_{2и}^2 - u_{1и}^2}{2}, \quad (3.30)$$

де:  $r_{1и}$ ,  $r_{2и}$  – внутрішній та зовнішній радіуси імпелерів, м ;

$u_{1и}^2$ ,  $u_{2и}^2$  – колові швидкості імпелера на радіусах, м/с.

Приймаємо:  $r_{1и} = 0,0567$  м,  $r_{2и} = 0,077$  м.

Колові швидкості:

$$u_{1и} = \omega r_{1и}, \quad (3.31)$$

$$u_{1и} = 314 \cdot 0,0567 = 17,8 \text{ м/с,}$$

$$u_{2и} = \omega r_{2и}, \quad (3.32)$$

$$u_{2и} = 314 \cdot 0,077 = 24,18 \text{ м/с,}$$

Сила  $T_{и}$ :

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$T_{\text{н}} = \frac{3}{8} \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot (0,077^2 - 0,0567^2) \cdot \frac{24,18^2 - 17,8^2}{2} = 426\text{Н},$$

Перевіримо правильність розрахунку  $T_{\text{н}}$ :

$$T_{\Sigma} = T_1 - T_2 - T_{\text{н}}, \quad (3.31)$$

$$T_{\Sigma} = 434 - 8 - 426 = 0,$$

Осьова сила врівноважена.

### 3.6 Визначення радіальної сили

Для визначення радіальної сили у відцентрованому насосі зі спіральним відводом використаємо формулу [3]:

$$R = K_R \left( 1 - \left( \frac{q}{Q_{\text{ном}}} \right)^2 \right) \gamma H D_2 b_2, \quad (3.32)$$

де:  $K_R$  – безрозмірний коефіцієнт радіальної сили;

$D_2=0,16\text{м}$  – зовнішній діаметр робочого колеса;

$b_2=0,0145\text{м}$  – ширина колеса на виході, що включає в себе товщину його дисків.

Коефіцієнт  $K_R$  залежить від  $n_s$ . При  $n_s=48$ ,  $K_R=0,12$ . Максимальна сила буде на режимі  $Q=0$ .

$$R = 0,12 \cdot 9810 \cdot 32 \cdot 0,16 \cdot 0,0145 = 87\text{Н}.$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 4 Розрахунки для вибору двигуна

### 4.1 Вибір двигуна

Потужність насоса за номінальним режимом при густині рідини  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>:

$$N = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta}, \quad (4.1)$$

де:  $\eta=0,54$  - ккд насоса;

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 3,47 \cdot 10^{-3} \cdot 32}{1000 \cdot 0,54} = 2,02 \text{ кВт.}$$

Потужність електродвигуна:

$$N_{ед} = K \cdot N, \quad (4.2)$$

де:  $K=1,1 - 1,3$  - коефіцієнт, що враховує допустиме граничне відхилення напору.

Приймаємо  $K=1,1$ .

Для привода насоса вибираємо електродвигун АИР80 В2 У3 з параметрами:

- потужність – 2,2 кВт;
- напруга – 380В;
- частота обертання(синхронна) – 3000 об/хв.

### 4.2 Розрахунок пускової моментної характеристики

Залежність моменту опору ротора насоса від частоти обертання при пуску насоса являє собою параболу:

$$M = K \cdot n^2, \quad (4.3)$$

де:  $K$  - коефіцієнт параболи;

$n$  - частота обертання ротора, об/хв.

Графік залежності моменту опору будується за трьома точками:

- початкового моменту рухання ( $n=0$ );
- мінімального моменту опору агрегату (точка С);
- повного розвороту електродвигуна ( $n=3000$  об/хв).

					6.050502.07ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

В початковий момент при  $n=0$ :

$$M_0 = 0,21M_{\text{НОМ}}, \quad (4.4)$$

де:  $M_{\text{НОМ}}$  - момент електродвигуна;

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega}, \quad (4.5)$$

де:  $N_{\text{дв}}=2,2$  кВт - номінальна потужність двигуна;

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{2200}{314} = 7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_0 = 0,21 \cdot 7 = 1,47 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору агрегату при повному розвороті електродвигуна:

$$M_{\text{max}} = \frac{N_{\text{max}}}{\omega}, \quad (4.6)$$

де:  $N_{\text{max}}$  - максимальна потужність насоса;

$$N_{\text{max}} = N_{\text{ед}} = 2,2 \text{ кВт};$$

$$M_{\text{max}} = \frac{2200}{314} = 7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мінімальний момент опору відповідає точці «С» з координатами:

$$n_c = 0,3n, \quad (4.7)$$

$$M_c = 0,03M_{\text{max}}; \quad (4.8)$$

$$n_c = 0,3 \cdot 3000 = 900 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$M_c = 0,03 \cdot 7 = 0,21 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коефіцієнт параболи визначається за величиною моменту при повному розвороті двигуна:

$$K = \frac{M_{\text{max}}}{n^2}, \quad (4.9)$$

$$K = \frac{7}{3000^2} = 7,7 \cdot 10^{-7}.$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Дані розрахунку моментної характеристики зводимо до табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Пускова моментна характеристика

п, об/хв	500	1000	1500	2000	2500	3000
М, Н·м	0,19	0,77	1,74	3,11	4,85	6,99

Пускова моментна характеристика насосного агрегату представлена на рис.4.1

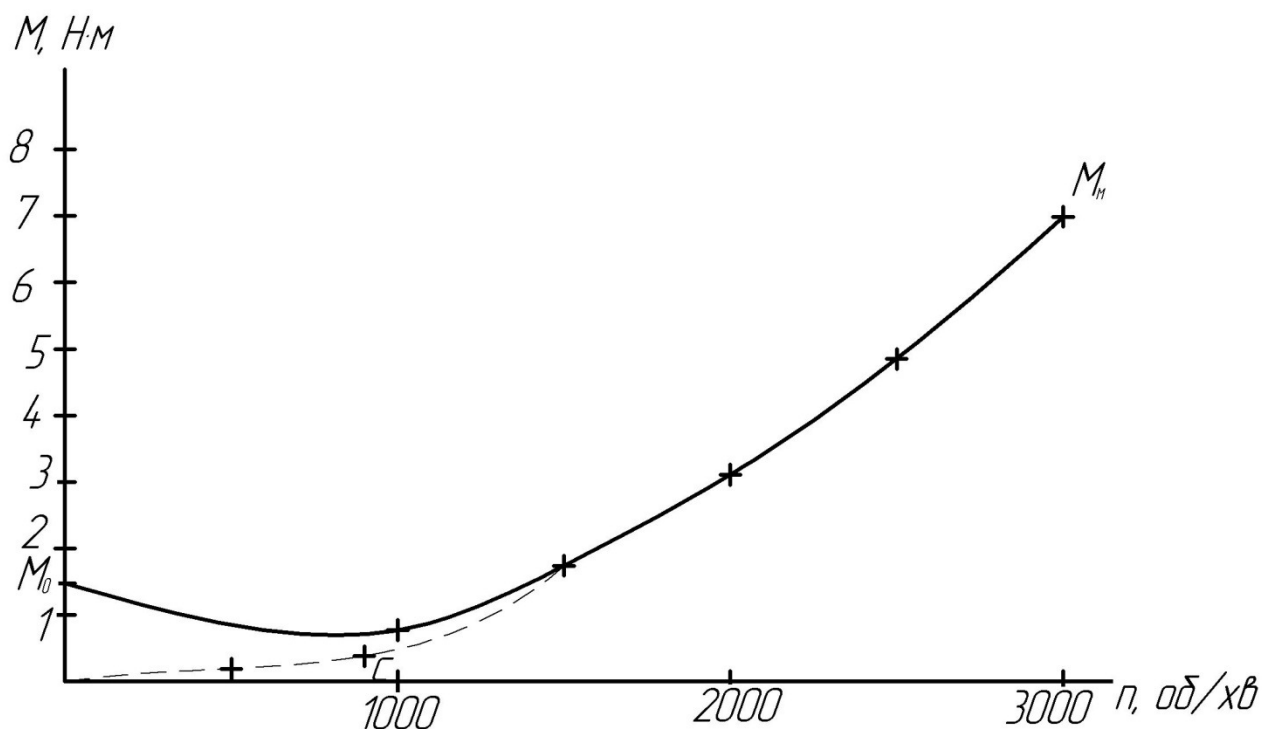


Рисунок 4.1 – Пускова моментна характеристика

## 5 Визначення довговічності складальних одиниць і деталей насоса

### 5.1 Розрахунок реакцій в опорах

Розрахункова схема дії сил на ротор насоса представлена на рис.5.1

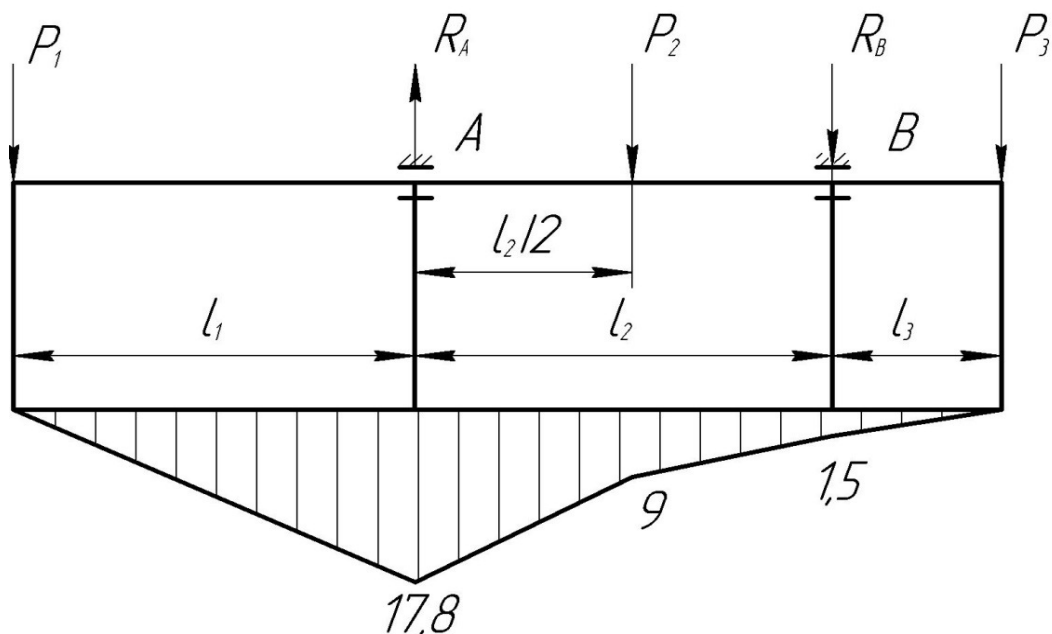


Рисунок 5.1 – Схема навантаження вала

$l_1=160\text{мм}$ ,  $l_2=135\text{мм}$ ,  $l_3=60\text{мм}$ .

Сила  $P_1$  враховує вагу колеса, дисбаланс колеса та радіальну силу у відводі:

$$P_1 = G_k + \frac{1}{3}G_d + R, \quad (5.1)$$

де:  $G_k$  – вага колеса, Н;

$G_d$  – сила від дисбалансу колеса, Н;

$R$  – радіальна сила у відводі, Н.

Вага колеса:

$$G_k = mg, \quad (5.2)$$

де:  $m$  – маса колеса, кг.

$$G_k = 2,4 \cdot 9,81 = 23,5 \text{ Н.}$$

Сила від дисбалансу колеса:

$$G_d = mgr\omega^2, \quad (5.3)$$

де:  $mr = 25 \cdot 10^{-6}$  кг·м; – дисбаланс колеса, кг·м;

$\omega$  – кутова швидкість колеса,  $\text{с}^{-1}$ .

									Арк.
									26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.050502.07BP.000.00ПЗ				

$$G_{\pi} = 25 \cdot 10^{-6} \cdot 314 = 2,4 \text{ Н.}$$

Радіальна сила у відводі  $R=87\text{Н}$ .

Сила  $P_1$ :

$$P_1 = 23,5 + \frac{1}{3} \cdot 2,5 + 87 = 111,4 \text{ Н.}$$

Сила  $P_2$  враховує вагу вала:

$$P_2 = \rho \frac{\pi d_{\text{cp}}^2}{4} l_2 g, \quad (5.4)$$

де:  $\rho$  – густина матеріалу вала,  $\text{кг/м}^3$ ;

Сталь 40,  $\rho=7860 \text{ кг/м}^3$ ;

$d_{\text{cp}}=0,045\text{м}$  – середній діаметр вала, м;

$$P_2 = 7860 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,045^2}{4} \cdot 0,135 \cdot 9,81 = 19,6 \text{ Н.}$$

Сила  $P_3$  враховує вагу напівмуфти:

$$P_3 = m_M g, \quad (5.5)$$

де:  $m_M$  – маса напівмуфти,  $\text{кг}$ ;

$m_M=2,5 - 4,5\text{кг}$ , приймаю  $m_M=2,5\text{кг}$ .

$$P_3 = 2,5 \cdot 9,81 = 24,5 \text{ Н.}$$

Сума моментів сил відносно опори А:

$$\Sigma M_A = P_1 l_1 - P_2 \frac{l_2}{2} - R_B l_2 - P_3 (l_2 + l_3) = 0, \quad (5.6)$$

$$R_B = \frac{(P_1 l_1 - P_2 \frac{l_2}{2} - P_3 (l_2 + l_3))}{l_2}, \quad (5.7)$$

$$R_B = \frac{(111,4 - 19,6 \cdot \frac{0,135}{2} - 24,5 \cdot (0,135 + 0,06))}{0,135} = 87 \text{ Н,}$$

									Арк.
									27
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.050502.07BP.000.00ПЗ				

Сума моментів сил відносно опори В:

$$\Sigma M_B = P_1(l_1 + l_2) - R_A l_2 + P_2 \frac{l_2}{2} - P_3 l_3 = 0, \quad (5.8)$$

$$R_A = \frac{(P_1(l_1 + l_2)) + P_2 \frac{l_2}{2} - P_3 l_3}{l_2} = 0, \quad (5.9)$$

$$R_A = \frac{(111,4 \cdot (0,16 + 0,135)) + 19,6 \cdot 0,135/2 - 24,5 \cdot 0,06}{0,135} = 242 \text{ Н},$$

Перевірка:

$$P_1 - R_A + P_2 + R_B + P_3 = 0, \quad (5.10)$$

$$111,4 - 242 + 19,6 = 87 = 24,5 = 0$$

Розрахуємо епюру вала:

Момент вигину в точці А:

$$M_{B.A} = P_1 l_1, \quad (5.11)$$

$$M_{B.A} = 111,4 \cdot 0,16 = 17,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент вигину в точці В:

$$M_{B.B} = P_3 l_3, \quad (5.12)$$

$$M_{B.B} = 24,5 \cdot 0,06 = 1,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент вигину в точці прикладання сили  $P_2$ :

$$M_{B.P_2} = P_3 \left( l_3 + \frac{l_2}{2} \right) + R_B \frac{l_2}{2}, \quad (5.13)$$

$$M_{B.P_2} = 24,5 \cdot \left( 0,06 + \frac{0,135}{2} \right) + 87 \cdot \frac{0,135}{2} = 9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

## 5.2 Розрахунок довговічності підшипників

В опорах А і В встановлені однакові шарикопідшипники. За діаметром вала  $d=40\text{мм}$  вибираємо підшипник шариковий однорядний радіальний 308 (ГОСТ 8338-75).

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Статична вантажопідйомність:

$$C_0=17800\text{Н.}$$

Динамічна вантажопідйомність:

$$C=32000\text{Н}$$

За умовами роботи підшипник опори А є більш навантаженим. Перевіряємо його на довговічність.

Розрахункова довговічність підшипника [4]:

$$L_n = \frac{10^6}{60n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3, \quad (5.14)$$

де: С – динамічна вантажопідйомність підшипника, Н;

Р – еквівалентне динамічне навантаження, Н.

Еквівалентне динамічне навантаження на підшипник:

$$P = XVR_A K_T K_\sigma, \quad (5.15)$$

За умовами роботи підшипника приймаємо: коефіцієнт безпеки  $K_\sigma=1,2$ ; температурний коефіцієнт  $K_T=1$ ; коефіцієнт обертання  $V=1$ , тому що обертається внутрішнє кільце.

Радіальна сила, що діє на підшипник:

$$R_A=242\text{Н.}$$

Динамічне навантаження:

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 242 \cdot 1 \cdot 1,2 = 290 \text{ Н.}$$

Розрахункова довговічність підшипника:

$$L_n = \frac{10^6}{60 \cdot 1000} \cdot \left(\frac{32000}{290}\right)^3 = 7,4 \cdot 10^6 \text{ год.}$$

Підшипник 208 задовольняє необхідним показникам надійності.

### 5.3 Розрахунок вала на статичну міцність

Перевірку вала насоса на статичну міцність проводять по найбільшим навантаженням.

Найбільший крутний момент на валу:

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$M_{кр} = 9551 \frac{N}{n}, \quad (5.16)$$

де:  $N=2,2$  кВт. – потужність насоса.

$$M_{кр} = 9551 \cdot \frac{2,2}{3000} = 7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент опору перерізу вала вигину орієнтовно приймають:

$$W_{в} = 0,1d^3, \quad (5.17)$$

де:  $d$  – діаметр вала в небезпечному перерізі ( $d=40$ мм).

Небезпечний переріз вала у місці найбільшого моменту вигину, тобто у точці А.

$$W_{в} = 0,1 \cdot 0,04^3 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Момент опору обертання:

$$W_{кр} = 0,2d^3, \quad (5.18)$$

$$W_{кр} = 0,2 \cdot 0,04^3 = 1,28 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Напруження вигину:

$$\sigma_{в} = \frac{M_{кр}}{W_{в}}, \quad (5.19)$$

$$\sigma_{в} = \frac{17,82}{6,4 \cdot 10^{-6}} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,8 \text{ МПа}.$$

Напруження обертання:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}, \quad (5.20)$$

$$\tau_{кр} = \frac{7}{1,28 \cdot 10^{-5}} = 0,55 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,55 \text{ МПа}.$$

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{в}^2 + 3\tau_{кр}^2}, \quad (5.21)$$

$$\sigma_{екв} = \sqrt{2,8^2 + 3 \cdot 0,55^2} = 2,8 \text{ МПа}.$$

					6.050502.07ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Матеріал вала – Сталь 40

Границя текучості  $\sigma_{0,2}=320$  МПа.

Запас міцності за границею текучості:

$$n_{\Gamma} = \frac{\sigma_{\Gamma}}{\sigma_{\text{екв}}} = 114.$$

Умова міцності виконується.

#### 5.4 Розрахунок шпонкових з'єднань

Основні вихідні дані для розрахунку:

матеріал вала – Сталь 40;

границя текучості  $\sigma_{0,2}=290$  МПа;

матеріал шпонки – Сталь шпонкова;

границя текучості  $\sigma_{0,2}=333$  МПа;

матеріал колеса – чавун СЧ20;

границя текучості  $\sigma_{0,2}=200$  МПа;

матеріал муфти – чавун СЧ20;

границя текучості  $\sigma_{0,2}=200$  МПа.

Обертальний момент на валу:  $M_{\text{кр}}=7$  Н·м.

Розмір шпонки під колесом, мм:  $b \times h \times l = 4 \times 4 \times 40$ .

При розрахунку шпонкового з'єднання вала з колесом основним є напруження зминання:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2M_{\text{кр}}}{d l_p t_2}, \quad (5.22)$$

де:  $l_p$  – робоча довжина шпонки;

$t_2$  – глибина врізання шпонки в колесо;

$d = 24$  мм; - діаметр вала;

$$l_p = l - b = 40 - 4 = 36 \text{ мм};$$

$$t_2 = 0,4h = 0,4 \cdot 4 = 1,6 \text{ мм};$$

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot 7}{0,024 \cdot 0,038 \cdot 0,0016} = 9,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 9,5 \text{ МПа}.$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Напругу змінання, що допускається, обчислюємо для матеріалу колеса, що має найнижчу границю текучості.

Допустиме напруження змінання:

$$[\sigma_{\text{зм}}] = 0,56\sigma_{0,2} . \quad (5.23)$$

Для матеріалу колеса:

$$[\sigma_{\text{зм}}] = 0,56 \cdot 200 = 112 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{зм}} < [\sigma_{\text{зм}}] .$$

Умова міцності на змінання виконання.

Розмір шпонки під напівмуфтою для діаметра вала  $d=25\text{мм}$ :

$$b \times h \times l = 8 \times 7 \times 36,$$

$$l_p = 36 - 8 = 28 \text{ мм};$$

$$t_2 = 0,4 \cdot 7 = 2,8 \text{ мм}.$$

Напруження змінання:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot 7}{0,025 \cdot 0,028 \cdot 0,0028} = 7,1 \cdot 10^6 \text{ Па} = 7,1 \text{ МПа}.$$

Для матеріалу напівмуфти:

$$[\sigma_{\text{зм}}] = 0,56 \cdot 200 = 112 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{зм}} < [\sigma_{\text{зм}}] .$$

Умова міцності на змінання виконується.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



## 6 Вибір кінцевого ущільнення

Для ущільнення вала насоса у місці його виходу з корпусу, передбачене кінцеве ущільнення. Основна конструктивна відмінність хімічного насоса є його кінцеве ущільнення, в якості якого застосовуються сальникові ущільнення з набивкою зі спеціальних матеріалів з гідрозатвором одинарні або подвійні, торцеві ущільнення зі спеціальних матеріалів пар тертя (кераміка, спец сплави, фторопласт).

Виходячи з вищесказаного обираємо торцеве ущільнення, котре забезпечує повну герметичність, нормально працює при збільшеній вібрації так, як ущільнююча площина розташована перпендикулярно осі вала, має більшу довговічність, ширший діапазон роботи за тиском та коловими швидкостями, практично не потребує догляду під час експлуатації.

Двоступінчасте торцеве ущільнення застосовується при перекачуванні високоагресивних середовищ.

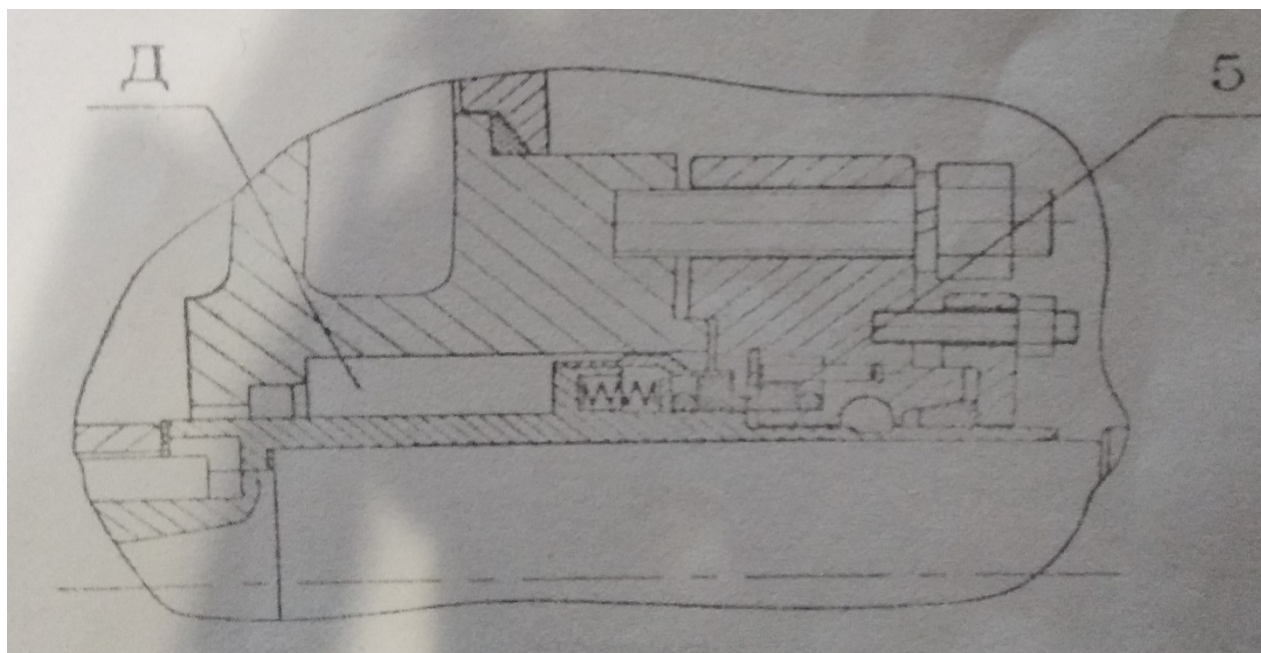


Рисунок 6.1 – Торцеве ущільнення

При перекачуванні рідини з температурою понад 80 С необхідно в камеру охолодження ущільнення подавати охолоджуючу рідину. При застосуванні двоступінчастого торцевого ущільнення замикаючу рідину необхідно обов'язково подавати у камеру.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Допускається застосування сальникових ущільнень. У цьому випадку в зону кільця гідрозатвора подається замикаюча і охолоджуюча рідина під тиском, що перевищує тиск у зоні перед ущільненням на величину 0,05-0,1 МПа. Максимальна витрата води, що подається в сальникові ущільнення становить  $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  (0,5 м<sup>3</sup>/год) при максимальному перепаді тиску.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

## 7. Технологічний розділ

### 7.1. Визначення типу виробництва та його характеристика [5]

Залежно від маси виробу і річної програми випуску виробництва може бути одиничне, серійне і масове.

Одиничним називається виробництво, в якому виготовляється дуже широка номенклатура продукції в невеликих кількостях, причому окремі види продукції не повторюються через не визначені проміжки часу. При одиничному типі виробництва використовується універсальне устаткування і верстати ЧПУ; стандартний ріжучий і універсальний вимірюючий інструмент [5].

Серійним називається таке виробництво, в якому виготовляється ширша номенклатура виробу, причому вироби кожного найменування випускаються серіями, що періодично повторюються. Залежно від величини серії і частоти їх випуску розрізняють серійне, крупносерійне і дрібносерійне виробництва. При серійному типі виробництва використовують універсальні верстати ЧПУ з швидкодіючими пристосуваннями, оброблювані центри, розташовані по ходу технологічного процесу стандартний ріжучий і спеціальний вимірюючий інструменти. Кваліфікація робітників нижча ніж в одиничного виробництва [5].

Масовим називається виробництво, в якому постійно в перебігу добового часу, вимірюваного, як правило, протягом років, виготовляється одночасно у великих кількостях один виріб або дуже обмежена номенклатура продукції. Масове виробництво характерне для крупних вузькоспеціалізованих підприємств. При масовому типі виробництва використовується спеціальне і спеціалізоване устаткування. Кваліфікація наладчиків устаткування висока, а робітників низька [5].

Для маси виробу і річної програми випуску вибираємо серійний тип виробництва.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

## 7.2 Визначення методу отримання заготовки. Визначення к.в.м. (коефіцієнт використання матеріалу) [7]

### 7.2.1 Визначення методу отримання заготовки

Виходячи з серійного типу виробництва, спосіб отримання заготовки – лиття по виплавляючим моделям.

Лиття за виплавлюваними моделями зводиться до виготовлення виливка високої точності в суцільній одноразовій ливарній формі. Технологія виготовлення суцільної форми запобігає зниженню точності розмірів форми та стрижня, які неминучі під час виймання моделей з півформ і стрижнів зі стрижневих скриньок, а також зниженню точності через зміщення робочих поверхонь півформ і стрижня, що виникають при складанні піщано-глиняної форми. Задля доброї якості поверхні виливка робочу поверхню суцільної форми виготовляють з дрібнозернистого вогнетривкого матеріалу. Істотно поліпшує наповнюваність порожнини висока температура металу. Литтям за виплавлюваними моделями можна виготовляти виливки як простої, так і дуже складної конфігурації з вуглецевих і легованих сталей, чавунів, корозійнотривких, жаростійких і жароміцних сталей та сплавів, а також зі сплавів алюмінію, міді, титану.

Технологічний процес виробництва виливків за виплавлюваними моделями складається з таких основних операцій:

- виготовлення прес-форми для моделей виливка та для моделі ливникової системи;
- виготовлення моделей з легкоплавкої суміші у прес-формах;
- складання моделей виливка й ливникової системи в один блок;
- виготовлення ливарної форми з нанесенням на поверхню блока спеціальної суміші у вигляді суспензії з подальшим її сушінням;
- виплавлення матеріалу моделей із форми та її прожарювання;
- наповнення розплавленим металом порожнини форми;
- відокремлення виливків від ливникової системи та їх очищення.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Прес-форма повинна бути рознімною. Її виготовляють шляхом різання переважно зі сталі або зі сплавів алюмінію. Конфігурація порожнини прес-форми відтворює вилівок, а розміри цієї порожнини відрізняються від розмірів вилівка на сумарну усадку модельної суміші та усадку металу.

Моделі виготовляють з легкоплавкої суміші, компонентами якої можуть бути парафін, стеарин, цезерин, віск з бурого вугілля та ін. Модельну суміш у рідкому або пастоподібному стані подають під тиском в порожнину прес-форми. Після охолодження прес-форму розкривають і виймають модель.

Отримана таким способом модель має гладку поверхню і точні розміри.

Моделі з'єднують зі спільною ливниковою системою в один блок за допомогою нагрітої пластини або іншим способом. Кількість моделей в одному блоці може сягати 100 штук.

Щоб виготовити форму, блок моделей занурюють у рідку формову суміш, яка складається із порошку вогнетривкого матеріалу (кварцовий пісок, електрокорунд), перемішаного з рідкою зв'язувальною речовиною переважно гідролізованим розчином етилсилікату. Після виймання з формової суміші на поверхні моделей вилівоків і ливникової системи залишається тонка липка плівка. Її посипають сухим кварцовим піском і висушують на повітрі протягом 2...4 год. Операцію занурювання, посипання і висушування повторюють 4...6 разів, поки не отримають форму з потрібною товщиною стінки.

Отриману форму разом з блоком моделей нагрівають у тер-мошафі, автоклаві або киплячій воді, поки не розплавляться моделі і не витечуть з форми. Порожню форму вставляють у металевий контейнер, насипають пісок і поміщають у піч для нагрівання при температурі 900... 1000 °С, щоб випалити залишки модельної суміші, зміцнити форму й підвищити її газопроникність.

Нагріту форму наповнюють рідким металом, який витісняє повітря й газу з порожнини крізь пори в стінках. Після кристалізації й охолодження металу форму руйнують, очищають та відрізають вилівок від ливникової системи.

Цей метод отримав промислове застосування у 1940 р. для виготовлення лопаток авіаційних газотурбінних двигунів із важ-кооброблюваних сплавів.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

**Переваги** лиття за виплавлюваними моделями перед литтям в одноразові піщано-глиняні форми:

- вища якість поверхні й точність розмірів виливків;
- можливість виготовлення тонкостінних виливків складної конфігурації;
- можливість виготовлення виливків із матеріалів, що мають високу температуру плавлення.

**Недоліки:**

- процес виготовлення форми багатоопераційний, трудомісткий і тривалий;
- висока вартість виливків;
- значні витрати металу на ливникову систему.

**7.2.2 Визначення к.в.м.**

Значення коефіцієнта використання матеріалу визначається як відношення маси деталі до маси заготовки.

$$K_{\text{вм}} = \frac{m_d}{m_z}, \quad (7.1)$$

де  $m_d$  - маса деталі (2,4 кг);

$m_z$  - маса заготовки ( 5 кг)

Підставивши отриманні значення в формулу, для знаходження коефіцієнта використання матеріалу, отримаємо:

$$K_{\text{вм}} = \frac{2,4}{5} = 0,48$$

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

**7.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталей відповідно до завдання з визначенням оптимальних режимів обробки, зварювання, складання, визначення норм витрат часу на технологічну операцію. Визначення кількості обладнання, інструментів, пристосувань. Розробка ескізів – налаштувань.**

7.3.1 Розробка технологічного процесу для виготовлення і обробки робочого колеса [5].

005 Заготівельна

Спосіб отримання заготовки - лиття по виплавлюючим моделям.

010 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри отриманої заготовки.

Обладнання: Стіл ВТК.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89,

015 Токарно-гвинторізна

Деталь базується та закріплюється в патрон токарний самоцентруючий 3-кулачковий в спеціальні кулачки. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

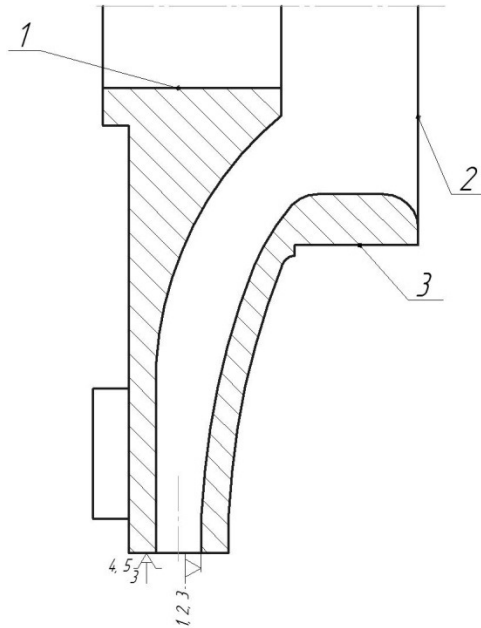


Рисунок 7.1

Обладнання:

Токарно-гвинторізний верстат мод.1М63Н-1.

Оснащення:

Патрон 3-ьох кулачковий токарний діаметром  $D=200$  мм

Позначення: Патрон 7108-0022 ГОСТ 2571-71.

Ріжучий інструмент:

PI №1 Різець PCLDR2525-M12 T5K10

PI №2 Різець S25Q-PWKFR06 T5K10

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ГОСТ 166-89.

020 Токарна з ЧПК

Деталь базується та закріплюється в патрон токарний самоцентруючий 3-кулачковий. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



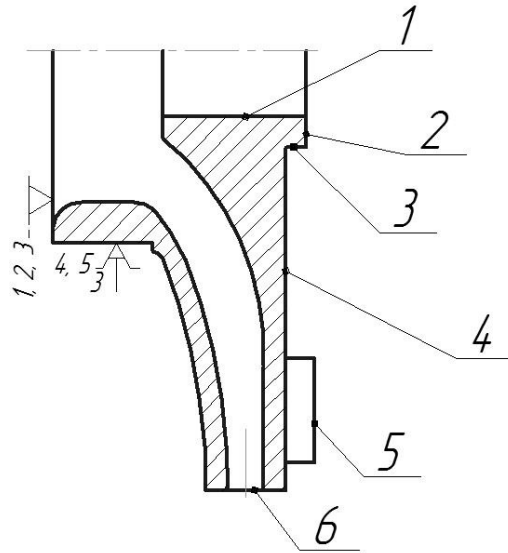


Рисунок 7.2

Обладнання:

Токарний верстат мод. 16М30Ф3; система ЧПК - WL4Т.

Оснащення:

Патрон 3-ьох кулачковий токарний діаметром  $D=250$  мм

Позначення: Патрон 7108-0022 ГОСТ 2571-71.

Ріжучий інструмент:

PI №1 Різець PCLDR2525-M12 T15K6

PI №2 Різець S25Q-PWKFR06 T30K4

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ГОСТ 166-89,

Калібр-пробка 8140-0007 Н7 П-ПР ГОСТ 14820-69,

Калібр-пробка 8140-0057 Н7 П-НЕ ГОСТ 14821-69.

025 Токарна з ЧПК

Деталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

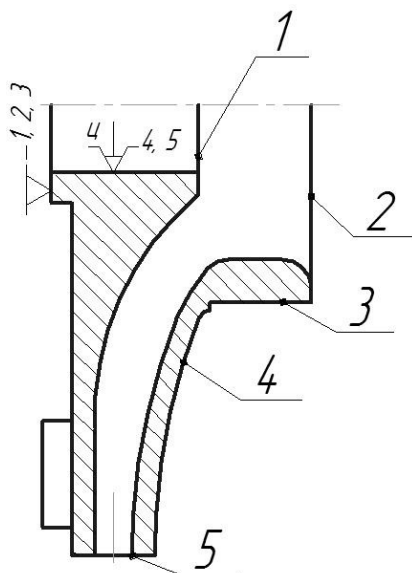


Рисунок 7.3

Обладнання:

Токарний верстат мод. 16М30Ф3; система ЧПК - WL4Т.

Оснащення:

Оправка цангова самоцентруюча d24 спеціальна.

Ріжучий інструмент:

PI №1 Різець PCLDR2525-M12 T15K6

PI №2 Різець S25Q-PWKFR06 T15K6

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ГОСТ 166-89.

030 Контрольна ВТК

На даній операції проводиться контроль розмірів деталі, отриманих на операціях 015, 020, 025.

Обладнання:

Стіл ВТК.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89,

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Калібр-пробка 8140-0007 Н7 П-ПР ГОСТ 14820-69,

Калібр-пробка 8140-0057 Н7 П-НЕ ГОСТ 14821-69.

### 035 Наплавка

На даній операції здійснюється наплавка твердого сплаву якщо є тріщини.

### 040 Токарна з ЧПК

Деталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

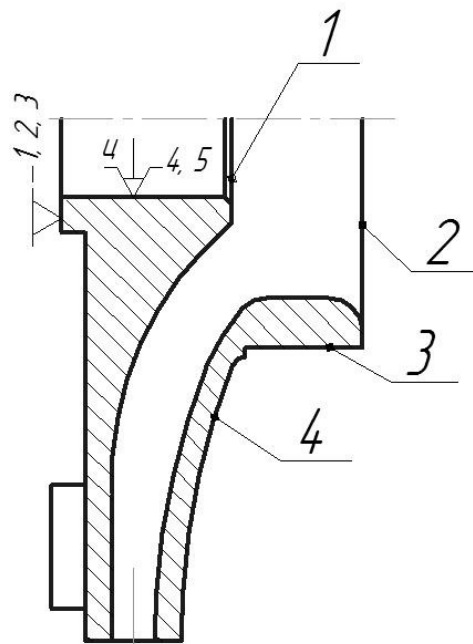


Рисунок 7.4

### Обладнання:

Токарний верстат мод. 16М30Ф3; система ЧПК - WL4Т.

### Оснащення:

Оправка цангова самоцентруюча d24 спеціальна.

### Ріжучий інструмент:

РІ №1 Різець PCLAR2525-M12 Эльбор-Р

РІ №2 Різець S25Q-PWKBR06 T30K4

### Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ГОСТ 166-89,

045 Токарна з ЧПК

Деталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці.

Дана схема базування забезпечує установку та подвійну опорну бази.

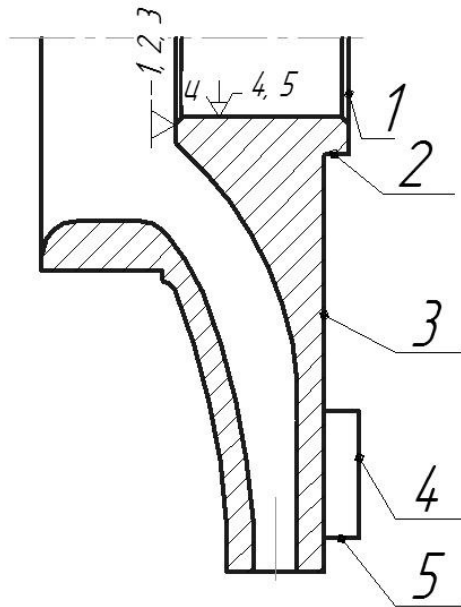


Рисунок 7.5

Обладнання:

Токарний верстат мод. 16М30Ф3; система ЧПК - WL4Т.

Оснащення:

Оправка цангова самоцентруюча d24 спеціальна.

Ріжучий інструмент:

PI №1 Різець PCLAR2525-M12 T30K4

PI №2 Різець S25Q-PLFAR06 T30K4

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89,

050 Контрольна ВТК

На даній операції проводиться контроль розмірів деталі, отриманих на операціях 040, 045.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обладнання: Стіл ВТК.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ГОСТ 166-89,

Індикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577-68.

055 Контроль неруйнуючий проникаючими речовинами

Контролювати вхідні кромки лопастей та вихідні кромки на відсутність тріщин капілярним методом, клас чутливості II ГОСТ 18842-80.

060 Контрольна ВТК

На даній операції проводиться контроль деталі після сварки

Обладнання: Стіл ВТК.

065 Довбальна

На даній операції обробляється поверхня пазу.

Деталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

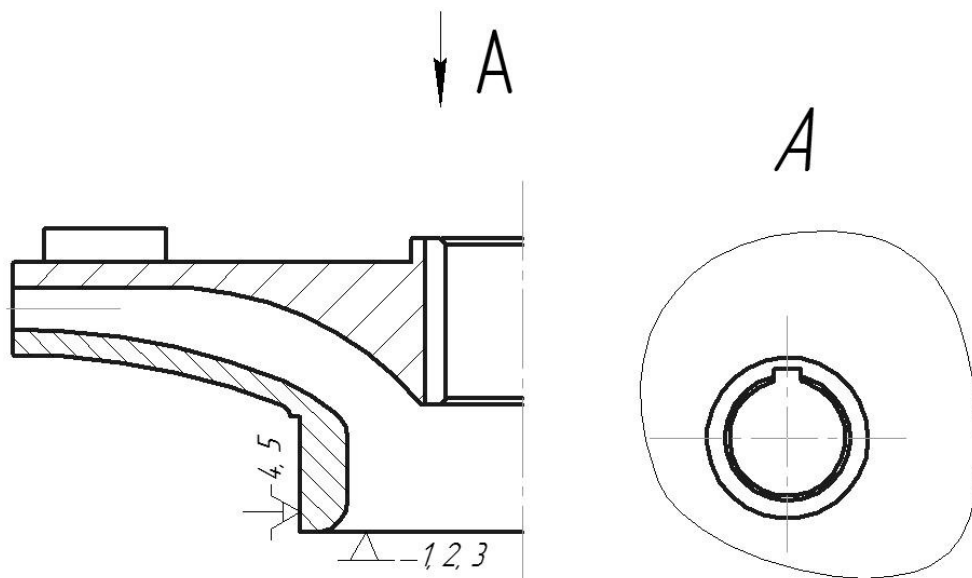


Рисунок 7.6

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Обладнання:

Довбальний верстат мод. 7405.

Оснащення:

Втулка самоцентруюча d160 спеціальна.

Ріжучий інструмент:

Довб'як 2184-0573 Т5К10 ГОСТ 9323-79. Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Комплексний калібр для контролю паралельності, симетричності та розмірів пазу спеціальний.

070 Контрольна ВТК

На даній операції проводиться контроль розмірів деталі, отриманих на операції 065.

Обладнання:

Стіл ВТК.

Вимірювальний інструмент:

Комплексний калібр для контролю паралельності, симетричності та розмірів пазу спеціальний.

075 Слюсарна

Після операцій зачищаються внутрішні поверхні, кромки лопаток

Обладнання:

Верстак слюсарний.

Оснащення:

Напильник 2820-0003 ГОСТ 1465-80.

080 Балансування

Деталь балансувати статично по ГОСТ 22061-76. Коригування маси здійснювати зняттям металу з поверхні

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
						46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

085 Контроль неруйнуючий проникаючими речовинами

Контролювати місця зняття дизбалансу на відсутність тріщин капілярним методом, клас чутливості II ГОСТ 18842-80.

090 Маркувальна

Маркувати позначення креслення та матеріал деталі електрографічним пером

Оснащення:

Єлектроперо П8-1948

095 Контрольна ВТК

Перевірити наявність та правильність маркування.

Обладнання:

Стіл ВТК.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

## 8. Економічний розділ. Тривалість і структура виробничого циклу

Організацію виробничого процесу в часі характеризує виробничий цикл.  
[6]. Виробничий цикл характеризується:

- тривалістю;
- структурою.

Тривалість виробничого циклу – це проміжок часу від моменту запуску сировини, матеріалів, напівфабрикатів у виробництво до повного виготовлення та відвантаження на склад готової продукції.

Структура виробничого циклу складається з 2-х основних елементів:

1. Час виробництва – робочий період ( $T_{роб.пер}$ );
2. Час перерв в роботі.

Робочий період складається з:

- технологічного циклу ( $T_{техн}$ );
- часу виконання допоміжних операцій ( $T_{дон}$ ).

Технологічний цикл – це час, протягом якого виконуються технологічні та природні операції.

Час допоміжних операцій включає час виконання всіх видів допоміжних операцій.

Час перерв в роботі складається з міжопераційних перерв – це очікування, що виникають, коли попередня операція закінчується раніше закінчення роботи на наступній операції та міжзмінних перерв – визначаються календарним режимом роботи підприємства (кількістю змін на добу, їх тривалістю, неробочими змінами, регламентованими перервами в середині змін, святковими, вихідними днями, перервами на обід).

Тривалість виробничого циклу та його структура. Тривалість виробничого циклу ( $T_{ц}$ ) може бути виражена так:

$$T_{ц} = \sum t_{техн} + \sum t_{тран} + \sum t_{прир} + \sum t_{контр} + \sum t_{обсл} + \sum t_{м.опер.очк.} + \sum t_{м.змін.очк.} - \sum t_{сум}$$

(8.1)

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



де  $\Sigma t_{\text{техн}}$  – сума часу на виконання технологічних операцій та підготовку сировини;

$\Sigma t_{\text{техн}}$  – сума часу виконання транспортних операцій;

$\Sigma t_{\text{техн}}$  – сума часу проходження природних процесів;

$\Sigma t_{\text{техн}}$  – сума часу здійснення технічного контролю якості напівфабрикатів та готової продукції;

$\Sigma t_{\text{техн}}$  – тривалість операцій обслуговування (пакування, завантаження, зважування);

$\Sigma t_{\text{техн}}$  – сума часу внутрішньо змінного між операційного очікування;

$\Sigma t_{\text{техн}}$  – сума часу між змінного очікування.

$\Sigma t_{\text{техн}}$  – сума часу суміщених (сполучених) операцій.

Сумарний час технологічних та допоміжних операцій складає тривалість робочого періоду ( $T_{\text{роб.пер}}$ ):

$$T_{\text{роб.пер}} = T_{\text{техн}} + T_{\text{доп}} \quad (3.1)$$

Для характеристики структури виробничого циклу застосовують два показники:

1. Коефіцієнт робочого періоду ( $K_{\text{роб.пер}}$ ):

$$K_{\text{роб.пер}} = \frac{T_{\text{роб.пер}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (8.2)$$

2. Коефіцієнт основного технологічного часу ( $K_{\text{осн.тех.часу}}$ ):

$$K_{\text{осн.тех.часу}} = \frac{T_{\text{техн.}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (8.3)$$

Покращання  $K_{\text{роб.пер}}$  досягають скороченням часу на перерви в роботі і тим самим скороченням загальної тривалості виробничого циклу  $T_{\text{ц}}$ . Це призводить до збільшення частки тривалості робочого періоду, тобто до збільшення  $K_{\text{роб.пер}}$ . При повній відсутності часу перерв буде безперервний процес виробництва, де  $K_{\text{роб.пер}}=1$ .

Підвищення  $K_{\text{осн.тех.часу}}$  досягається за рахунок скорочення часу на виконання допоміжних операцій в складі загального виробничого циклу, а також за рахунок зменшення перерв в роботі.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

#### 4. Шляхи скорочення тривалості виробничого циклу на підприємстві.

Існують такі шляхи скорочення тривалості виробничого циклу:

1. Тривалість циклу можна скоротити за рахунок скорочення часу на технологічний цикл. Це досягається шляхом :

- впровадження нових технологій, нової техніки;
- забезпеченням виконання двох і більше операцій одночасно (паралельно);
- заміною природних операцій відповідними технологічними;
- скорочення часу протікання технологічних процесів за рахунок їх інтенсифікації.

2. Тривалість виробничого циклу можна скоротити за рахунок скорочення часу виконання допоміжних операцій шляхом:

- механізації і автоматизації допоміжних операцій;
- взаємного сполучення в часі контрольних та технологічних операцій;
- скорочення відстані та підвищення швидкості між операційного транспортування сировини та напівфабрикатів, а також оформлення і пакування готової продукції;
- виконання трудомістких налагоджувальних робіт у між змінні перерви.

3. Тривалість циклу можна скоротити за рахунок зменшення та виключення перерв в роботі всіх видів зупинок обладнання.

Таким чином, зменшення тривалості виробничого циклу можна досягти:

- вдосконаленням технології виробництва;
- застосуванням безперервно діючого устаткування;
- раціональним використанням основних принципів організації основного виробництва і всього виробничого процесу в цілому по підприємству.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

## 9. Охорона праці. Штучна і природна вентиляція

Розділ виконано по матеріалам літератури [8]. Для забезпечення сприятливих (комфортних) умов праці, ефективним методом є вентиляція, яка має наступну класифікацію і буває:

За способом переміщення повітря: природна; штучна.

За напрямком потоку повітря: приливна; витяжна; приливо – витяжна.

За місцем дії:

- загально обмінна;
- місцева;
- комбінована.

За призначенням:

- для розчину шкідливих речовин до допустимих концентрацій;
- для усунення з приміщень надлишків тепла, пилу або вологи.

Природна вентиляція здійснюється силами, які створюються напором повітря, і природними (гравітаційними) силами. Природна вентиляція під дією теплового напору може бути неорганізованою і організованою. Неорганізований повітрообмін здійснюється при проступанні і виході повітря через випадкові і нерегульовані отвори. Організований аерацією здійснюється крізь спеціально обладнанні у зовнішніх стінах споруд, пройми із спеціальними створами для регулювання площі вентиляційного отвору. Природна вентиляція під дією теплового напору здійснюється природними (гравітаційними) силами, які викликаються силами земного тяжіння. Повітря приміщення, більш тепле, ніж зовнішнє, підіймається вгору, створюючи розрядження в нижній зоні, а верхній підвищений тиск, за рахунок якого він виходить через пройми у даху чи стінах,

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

зовні. У нижню зону потрапляє свіже зовнішнє повітря. Тиск повітря, який виникає в результаті перепаду температур, називають тепловим, або гравітаційним.

### Розрахунок вентиляції

Необхідна площа приливних  $F_{пр}$  та витяжних  $F_{в}$  вентиляційних отворів, які забезпечують потрібний повітрообмін визначають за формулами

$$F_{пр} = \frac{I_{пр}}{3600 \mu \sqrt{2gh_n(\gamma_z - \gamma_v)\gamma_v}} \quad (9.1)$$

$$F_{в} = \frac{I_{в}}{3600 \mu \sqrt{2gh_v(\gamma_z - \gamma_v)\gamma_v}} \quad (9.2)$$

де:  $I_{пр}$  і  $I_{в}$  – необхідна кількість (за масою) повітря, яке відповідно надходить і видаляється з приміщення,  $кг/год.$ ;

$\mu$  – коефіцієнти витрат, які залежать від конструкції отвору (0,7 - 0,9);

$\gamma_z$  і  $\gamma_v$  – питома вага зовнішнього і внутрішнього повітря,  $кг/м^3$ ;

$h_n$  і  $h_v$  – відстань від центру відповідно нижнього (припливного) і верхнього (витяжного) отвору до нейтральної зони,  $м$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $9,8 м/с^2$ .

Перевагою природної вентиляції є її дешевизна та простота експлуатації. Основний її недолік в тому, що повітря надходить в приміщення без попереднього очищення, а видалене відпрацьоване повітря також не очищується і забруднює довкілля.

**Штучна (механічна) вентиляція** на відміну від природної, дає можливість очищувати повітря перед його викидом в атмосферу, вловлювати шкідливі

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
						52
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовини безпосередньо біля місць їх утворення, обробляти припливне повітря (очищувати, підігрівати, зволожувати), більш цілеспрямовано подавати повітря в робочу зону. Окрім того, механічна вентиляція дає можливість організувати повітряний забір у найбільш чистій зоні території підприємства і навіть за його межами.

**Загальнообмінна штучна вентиляція.** Загальнообмінна вентиляція забезпечує створення необхідного мікроклімату та чистоти повітряного середовища у всьому б'ємі робочої зони приміщення.

Вона застосовується для видалення надлишкового тепла при відсутності токсичних виділень, а також у випадках, коли характер технологічного процесу та особливості виробничого устаткування виключають можливість використання місцевої витяжної вентиляції.

Розрізняють чотири основні схеми організації повітрообміну при загальнообмінній вентиляції: зверху вниз, зверху вверх, знизу вверх, знизу вниз.

Схеми зверху вниз та зверху вверх доцільно застосовувати у випадку, коли припливне повітря в холодний період року має температуру, яка нижча за температуру приміщення. Припливне повітря, перш ніж досягти робочої зони, нагрівається за рахунок повітря приміщення. Інші дві схеми рекомендується використовувати тоді коли припливне повітря в холодний період року підігрівається і його температура вища за температуру внутрішнього повітря. Якщо у виробничих приміщеннях виділяються пари з густиною, що перевищує густину повітря (наприклад; пари кислот, бензину, гасу), то загальнообмінна вентиляція повинна забезпечити видалення 60 % повітря з нижньої зони приміщення та 40 % — з верхньої. Якщо густина газів менша за густину повітря, то видалення забрудненого повітря здійснюється у верхній зоні.

**Припливна вентиляція.** Схема припливної механічної вентиляції включає: повітрозабірний пристрій; фільтр для очищення повітря; повітронагрівач (калорифер); вентилятор; мережу повітроводів та припливні

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

патрубки з насадками. Якщо немає необхідності підігрівати припливне повітря, то його пропускають безпосередньо у виробничі приміщення через обвідний канал. Повітрозабірні пристрої необхідно розташувати в місцях, де повітря не забруднене пилом та газами. Вони повинні знаходитись не нижче 2 м. від рівня

землі, а від викидних каналів витяжної вентиляції по вертикалі — нижче 6 м. і по горизонталі — не ближче 25 м. Припливне повітря подається у приміщення, як правило, розсіяним потоком, для чого використовуються спеціальні насадки. В умовах промислового виробництва найбільш розповсюджена припливно-витяжна система вентиляції загальним припливом в робочу зону та місцевою витяжкою шкідливих речовин безпосередньо з місць їх утворення.

**Витяжна та припливно-витяжна вентиляція** . Витяжна вентиляція складається з очисного пристрою, вентилятора, центрального та відсмоктуючих повітроводів. Повітря після очищення необхідно викидати на висоті не менше ніж 1 м. над гребенем даху. Забороняється робити викидні отвори безпосередньо у вікнах. У виробничих приміщеннях, де виділяється значна кількість шкідливих газів, парів, пилу витяжка повинна бути на 10 % більшою, ніж приплив, щоб шкідливі речовини не витіснялись у суміжні приміщення з меншою шкідливістю. У системі припливно-витяжної вентиляції можливе використання не лише зовнішнього повітря, але й повітря самих приміщень після його очищення. Таке повторне використання повітря приміщень називається рециркуляцією і здійснюється в холодний період року для економії тепла, витраченого на підігрівання припливного повітря.

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

## Список літератури

1. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко, - М.: Машиностроение 1977.

2. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування “Розрахунок і проектування відцентрового робочого колеса”.

Н.К. Ржебаєва, - Суми.: СумДУ, 1995.

3. Центробежные и осевые насосы. А.А. Ломакин - М.: Машиностроение, 1996.

4. Курсовое проектирование деталей машин. С.А. Чернавский - М.: Машиностроение, 1988.

5. Борисов В.Б. Справочник технолога-машиностроителя / Борисов В.Б., Борисов В.Н., Василев В.Н. – Москва: 1986. – 655 с.

6. Тривалість і структура виробничого циклу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/5193688/page:9/>

7. Лиття по виплавляючим моделям [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://studopedia.su/8\\_52032\\_littya-za-viplavlyuvanimi-modelyami.html](https://studopedia.su/8_52032_littya-za-viplavlyuvanimi-modelyami.html)

8. Охорона праці. Штучна і природна вентиляція. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://uastudent.com/shtychna-ventulyatsiya-vudy-ta-oblast-zastosyvannya/>

					6.050502.07BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

