

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ПГМ

\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему

### Вільновихровий насос високої швидкості

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
(освітня програма «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика»)

Виконавець роботи \_\_\_\_\_ Васильченко В. А.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Ігнат'єв О. С.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Суми 2020

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

Спеціальність 8.131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПГМ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

### ЗАВДАННЯ

#### до кваліфікаційної роботи магістра

Васильченко Владислав Анатолійович

(прізвище, ім 'я , по батькові)

1. Тема роботи: Вільновихровий насос високої швидкохідності

затверджена наказом по університету від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін здавання студентом закінченої роботи 12.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Q= 750 м3/год; H=32 м; густина рідини  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вільновихрові насоси (ВВН), застосування; обґрунтування вибору конструктивної схеми насоса; вплив коефіцієнта швидкохідності на економічність ВВН; гідравлічні розрахунки: проточної частини, осьової і радіальної сил; вибір кінцевого ущільнення і електродвигуна; механічні розрахунки: реакцій в опорах вала, підшипників шпонкового з'єднання; економічна частина; розділ охорони праці; висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) монтажне креслення агрегату, складальне креслення насоса, креслення робочого колеса, теоретичне креслення відводу;  
(презентація)

## 6. Консультанти з роботи, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор	Назва етапу кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапу роботи	Примітка
1.	Підбір матеріалів по темі магістерської роботи.	22.09-27.09. 2020 р.	
2.	Вільновихрові насоси (ВВН), вплив коефіцієнта швидкохідності на економічність ВВН.	28.09-30.09. 2020 р.	
3.	Обґрунтування вибору конструктивної схеми насоса.	01.10-04.10. 2020 р.	
4.	Опис конструкції насоса. Виконання розділів практики.	05.10- 11.10.2020 р.	
5.	Складання звіту з переддипломної практики.	12.10-18.10.2020 р.	
6.	Розроблення насосного агрегату ВВН 750-32: гідравлічні розрахунки	19.10-25.10.2020 р.	
7.	Механічні розрахунки. Монтажне креслення агрегату.	26.10-01.11.2020 р.	
8.	Складальне креслення насоса, креслення робочого колеса. Розділ охорони праці.	02.11-29.11.2020 р.	
9.	Економічна частина. Теоретичне креслення відводу.	30.11-03.12. 2020 р.	
10.	Оформлення РПЗ, графічних матеріалів та розробка презентації	04.12-12.12.2010 р.	

Дата видачі завдання « 22 » 09 2020 р.

Студент \_\_\_\_\_ Васильченко В. А.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Ігнат'єв О. С.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 41 с., 6 рисунків, 12 літературних джерел.

Тема магістерської роботи – «Вільновихровий насос високої швидкохідності».

Графічні матеріали: 4 листи формату А1 (презентація): монтажне креслення насосного агрегату, складальне креслення насоса, креслення робочого колеса, теоретичне креслення відводу.

Мета роботи – розроблення вільновихрового насоса ВВН 750-32 високої швидкохідності ( $n_s=184$ ).

Відповідно до поставленої мети було :

- обґрунтовано вибір конструктивної схеми насоса;
- виконано опис конструкції;
- виконано гідравлічні розрахунки, які включають: розрахунок коефіцієнта швидкохідності, розрахунок геометричних розмірів проточної частини насоса;
- виконано розрахунок осьової і радіальної сил;
- виконано механічні розрахунки: розрахунок реакцій в опорах вала, вибір підшипників, розрахунок шпонки.

У розділі економіки описана система технічного обслуговування насоса.

У розділі охорони праці проведено аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів в досліджуваній насосній установці.

У технологічній частині наведені характеристики типу виробництва і технологічності деталі.

Розроблено основні креслення насоса.

Складено презентацію.

Ключові слова: ВІЛЬНОВИХРОВИЙ НАСОС, РОБОЧЕ КОЛЕСО, УЩІЛЬНЕННЯ, ВАЛ, ПІДШИПНИК, МІЦНІСТЬ.

## ЗМІСТ

### ЗАВДАННЯ

### РЕФЕРАТ

ВСТУП.....	6
1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ НАСОСА.....	9
2 ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ.....	12
2.1 Розрахунок коефіцієнта швидкохідності .....	12
2.2 Розрахунок діаметра робочого колеса.....	12
2.3 Розрахунок осьової сили .....	15
2.4 Розрахунок радіальної сили.....	16
2.5 Вибір електродвигуна.....	16
3 ВИБІР КІНЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ.....	18
4 МЕХАНІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	20
4.1 Розрахунок реакцій в опорах.....	20
4.2 Вибір підшипників.....	21
4.3 Розрахунок шпонкових з'єднань .....	22
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	
Система технічного обслуговування та ремонту насоса.....	24
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	
Аналіз потенційних небезпек і шкідливих факторів в досліджуваній насосній установці.....	28
7 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	35
7.1 Характеристика типу виробництва.....	35
7.2 Технологічність деталі.....	36
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	40

## ВСТУП

Вільновихрові насоси (ВВН) [1] використовують у багатьох сферах промисловості і комунального господарства для перекачування забруднених рідин, гідротранспорту абразивних речовин, які легко руйнуються, гідросумішей, що містять тверді і волокнисті включення, рідини з вмістом газу. ВВН мають просту і зручну в експлуатації конструкцію, високу надійність, довговічність роботи на гідросумішах і обумовлюють економічну ефективність їхнього застосування для транспортування різних твердих речовин і продуктів.

На основі розрахунково-теоретичних і експериментальних досліджень вільновихрових насосів створено нормативну документацію на розробку уніфікованого ряду насосів по міжнародному стандарту ISO 2858.

Насоси типу «Туро» («Turo») швейцарської фірми EGGER (рис. 1), у яких робоче колесо (РК) виготовлене у вигляді диска з прямими радіальними лопатями (відкритого чи закритого на периферії). Швидкий поворот при виході з РК в осьовому напрямленні інтенсифікує енергообмін рідини між колесом і вільною камерою, що веде до збільшення напору і ККД (до 54 %).



Рисунок 1 – Вільновихровий насос Turo фірми EGGER [2]

Перекачувані середовища:

- комунальні та промислові стічні води;
- шламові розчини з волокнистими включеннями;
- хімічні і кристалічні суспензії;
- розчини з великою в'язкістю;
- абразивні розчини.

Переваги:

- висока ефективність;
- низький знос;
- здатність перекачувати гідросуміші з великими включеннями;
- уніфікація деталей і вузлів;
- з робочим колесом взаємодіє тільки 15% перекачуваної рідини;
- багатоваріантність конструктивного виконання;
- простота конструкції;
- багатоваріантність ущільнень.

Завдяки розташуванню робочого колеса ВВН у розточці корпусу і наявності вільної камери насоси мають менші радіальні навантаження, низькі витрати на експлуатацію, тривалі проміжки безперебійної роботи між обслуговуванням.

Застосування:

- автомобільна індустрія - водні фарбувальні розчини, сполучні емульсії, шлами з наждачним пилом, розчинні масла, дрібна металева стружка, відстій фарби, ґрунтовки на водній і розчинній основі;
- цукрова індустрія - буряк, суміш бурякової стружки, качанчики, цукровий очерет, листя, трава, вапно, вапняний осад, не фільтрований цукровий сироп;
- водопідготовка - неочищені стічні води, відстої, стічні води, міські та промислові стоки, гранульоване активоване вугілля.

Існує багато різновидів модифікованих робочих камер та робочих коліс у ВВН, але найбільш розповсюджені і широко використовуються насоси типу Туро, вони забезпечують мінімальні пошкодження перекачуваного продукту і мають

майже незакупорювану під час експлуатації проточну частину насоса, при високій економічності.

По конструктивним ознакам і по характеру робочого процесу вільновихрові насоси суттєво відрізняються від відцентрових [1]. Робоче колесо ВВН розташоване в ніші корпусу. Насос має вільну камеру, яка не пересікається обертливими деталями. Тому велика частина робочої рідини не має контакту з робочим колесом, що забезпечує малу закупорюваність насосів і зменшення імовірності ушкодження продуктів, що перекачуються. Більш проста форма проточної частини знижує металоємність насоса, полегшує його складання і створює сприятливі умови для високого ступеня уніфікації. У ВВН немає передніх ущільнень, отже, відсутні проблеми, зв'язані з ними (знос, засмічення, регулювання, промивання і т.д.).

Конструктивне виконання робочих органів дозволяє з невеликими витратами виконувати ремонт і виготовлення запасних частин на місці експлуатації. Висота всмоктування ВВН достатньо велика і може досягати до 8 м. Такі насоси можуть забезпечувати високу надійність роботи при перекачуванні газоподібних сумішей із великим вмістом газу, в'язких рідин, великих включень з розміром до 0,8 вільної камери. Вільновихрові насоси мало чутливі до кавітації.

Вільновихрові насоси являють собою дуже перспективний напрямок в розвитку насособудування. Завдяки властивостям, якими володіють ВВН, можна перекачувати широкий спектр рідин, і використовувати такі насоси у багатьох галузях промисловості і комунального господарства.



# 1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ НАСОСА

Насос ВВН 750-32 (рис. 1.1) – горизонтальний, консольний з робочим колесом, що розміщене ексцентрично в корпусі.

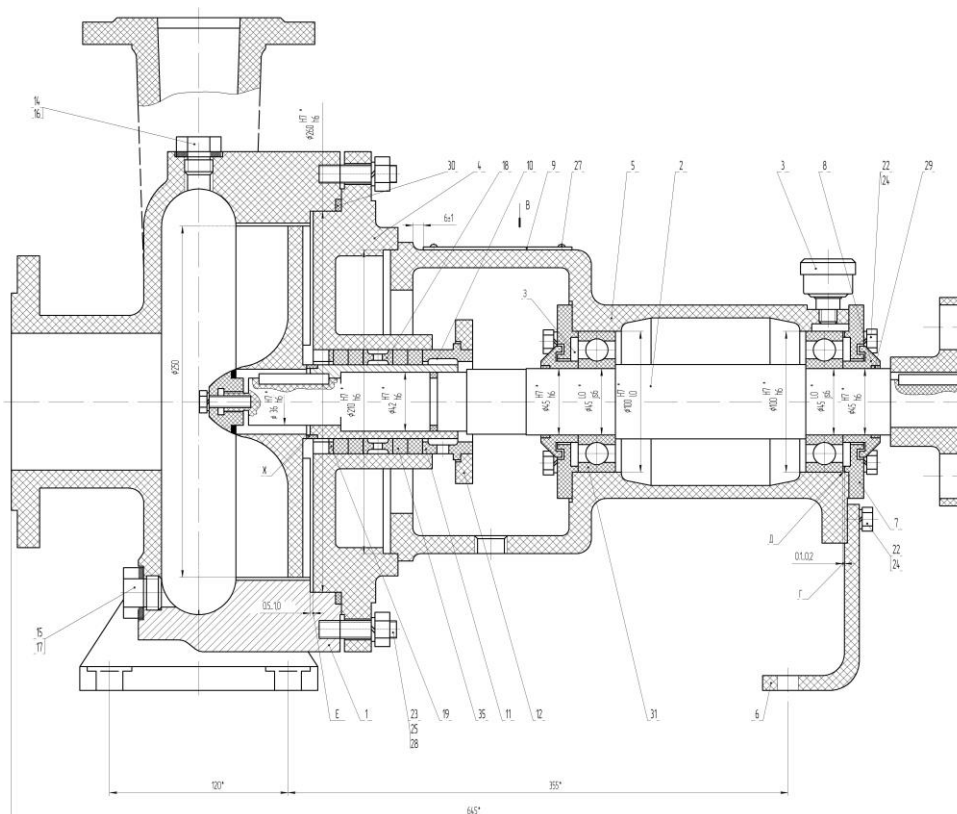


Рисунок 1.1 – Конструкція насоса ВВН 750-32

Вхідний патрубок напрямлений горизонтально по осі, напірний – вертикально вгору. Робоче колесо виконано у вигляді диска з радіальними лопатями. Кінцеве ущільнення насоса сальникового типу.

Привод насоса від асинхронного електродвигуна через пружну втулочно-пальцеву муфту.

Дане конструктивне рішення зумовлено підвищенням надійності роботи та кращою прохідністю забрудненої рідини з газоподібними включеннями через проточну частину насоса. Консольний насос простий при обслуговуванні, його

легше монтувати. Заміна частин насоса, що не входять у проточну частину може проводитись без від'єднання напірного та всмоктувального трубопроводів. Робоче колесо досить просте за конструкцією, тому це дозволяє з найменшими затратами проводити ремонт та виготовлення запасних частин.

Вплив коефіцієнта швидкохідності на економічність СВН типу «Туго».

Для характеристики форми проточної частини насосів у відповідності з заданими параметрами, а також для порівняння між собою насосів різних типів використовують поняття про коефіцієнт швидкохідності  $n_s$  [3]:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

де  $n$  - частота обертання ротора насоса, об / хв,  $Q$  - подача насоса, м<sup>3</sup> / с,  $H$  - напір насоса, м.

Вплив коефіцієнта швидкохідності  $n_s$  на ККД ВВН показано в роботі [4]. Слід зазначити, що порівняно великі зміни геометричних конструктивних параметрів ВВН в області їх високої економічності викликають відносно менші зміни коефіцієнта  $n_s$ , ніж у відцентрових насосах. Дослідження показали, що зростання коефіцієнта швидкохідності за рахунок збільшення ширини відводу (вільної камери), викликає швидке падіння ККД насоса. Зменшення  $n_s$  за рахунок зменшення ширини корпусу не викликає такого очевидного зниження ККД, проте рівень його помітно знижується. Зміну ККД від коефіцієнта швидкохідності показано на рис. 1.2.

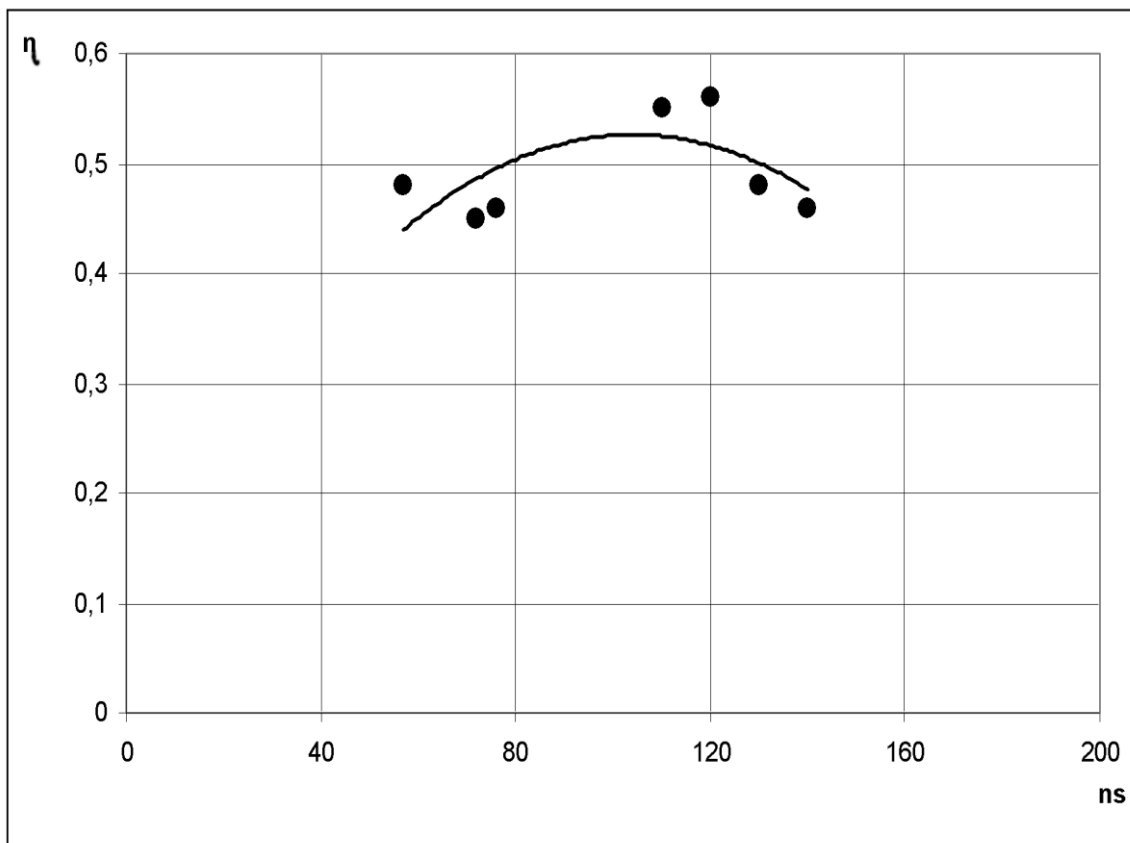


Рисунок 1.2 - Вплив коефіцієнта швидкохідності на економічність ВВН

Графічна залежність ККД від  $ns$ , яка наведена на рис.1.1 показує, що в області  $ns = 80-140$  ККД перевищує 50 %, досягаючи оптимуму 52-54 % при  $ns = 100-120$ .

Таким чином, узагальнюючи результати цих досліджень, можна стверджувати, що при проектуванні ВВН конструктивної схеми «Туго» прийнятний рівень ККД 40-56 % може бути досягнутий в області  $ns = 60-140$ . При подальшому збільшенні  $ns$  ККД насоса різко зменшується, то для його збільшення одним із варіантів робочого колеса є виконання його у відповідності до патенту на корисну модель № 56039 «Вільновихровий насос», в якому частина лопотей робочого колеса висунута у вихрову камеру. Кількість лопатей, які виступають у вільну камеру – дві. Використання такої конструкції робочого колеса дозволяє досягти у насосах високої швидкохідності збільшення ККД і підвищення напору.

## 2 ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ

### 2.1 Розрахунок коефіцієнта швидкохідності

Розраховуємо коефіцієнт швидкохідності:

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

де Q – подача насоса, м<sup>3</sup>/год;

n – частота обертання, об/хв;

H – напір, м.

$$n_s = \frac{3,65 \cdot \sqrt{750} \cdot 1485}{60 \cdot 32^{\frac{3}{4}}} = 184.$$

### 2.2 Розрахунок діаметра робочого колеса

Розрахунки виконуємо за рекомендаціями роботи [1].

Основні геометричні розміри проточної частини насоса наведені на рис. 2.1.

Визначаємо ККД та відносну ширину вільної камери за графіком [1]:

$$\eta = 40\%, \quad \bar{B} = 0,360.$$

Виходячи з рекомендацій [1] визначаємо відношення основних розмірів РК:

- 1) відносне значення діаметру входу робочого колеса  $\bar{D}_1 = 0,2$ ;
- 2) відносна ширина лопатки колеса на виході  $\bar{b}_2 = 0,15$ ;
- 3) кількість лопатей  $z = 10$ ;
- 4) відносна товщина лопаті  $\bar{\delta} = 0,02$ .

Розрахуємо зовнішній діаметр робочого колеса:

$$D_2 = \frac{A}{n} \sqrt{H}, \quad (2.2)$$

де A – коефіцієнт, який розраховується за формулою:

$$A = \left[ \frac{\eta_{\text{мех}}}{K \eta F_1 F_2} \right]^{1/2}, \quad (2.3)$$

де  $\eta_{\text{мех}}$  – механічний ККД насоса (приймаємо  $\eta_{\text{мех}} = 0,92$ );

$K=7,023 \cdot 10^{-3}$  – постійний коефіцієнт;

$\eta$  – ККД насоса;

$F_1$  – функція, яка враховує вплив відносних розмірів робочого колеса;

$F_2$  – функція, яка враховує вплив відносних розмірів відводу;

$$A = \left[ \frac{0,92}{7,023 \cdot 10^{-3} \cdot 0,40 \cdot 1,905 \cdot 10^{-2} \cdot 2,02} \right]^{\frac{1}{2}} = 92,25 ;$$

Підставляємо отримані дані у рівняння (2.2) та отримуємо:

$$D_2 = \frac{92,25 \cdot \sqrt{32}}{1485} = 0,352 \text{ м} . \text{ Приймаємо } D_2 = 360 \text{ мм} .$$

Розраховуємо абсолютні розміри робочого колеса:

$$D_1 = \bar{D}_1 D_2$$

$$b_2 = \bar{b}_2 D_2$$

$$\delta = \bar{\delta} D_2$$

(2.4)

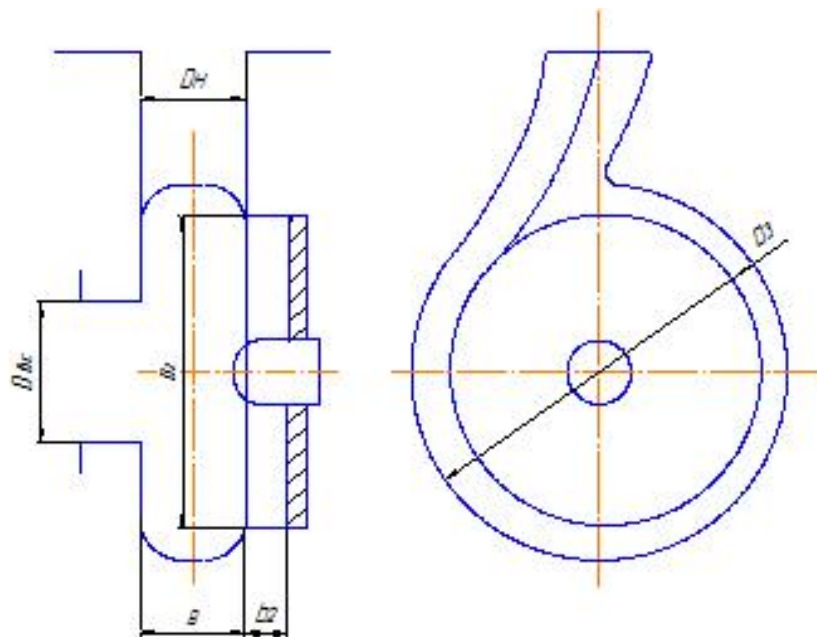


Рисунок 2.1 – Основні геометричні розміри проточної частини

де  $\bar{D}_1$  - відносний діаметр входу робочого колеса;

$\bar{b}_2$  - відносна ширина лопаті;

$\bar{\delta}$  - відносна товщина лопаті.

Підставляємо значення та отримуємо:

$$D_1 = 0,2 \cdot 0,360 = 72 \text{ мм},$$

$$b_2 = 0,15 \cdot 0,360 = 54 \text{ мм},$$

$$\delta = 0,02 \cdot 360 = 7,2 \text{ мм, приймаємо } \delta = 8 \text{ мм}.$$

Знаходимо абсолютний розмір ширини вільної камери:

$$B = \bar{B}D_2, \quad (2.5)$$

де  $\bar{B}$  - відносна ширина вільної камери.

$$B = 0,360 \cdot 360 = 130 \text{ мм, приймаємо } B = 125 \text{ мм}.$$

Визначаємо основні геометричні розміри кільцевого відводу:

Діаметр виходу  $D_{\text{вих}} = 125 \text{ мм}$ .

Розраховуємо діаметр входу насоса та перевіряємо умову:

Коефіцієнт вхідної швидкості:

$$k_{v0} = (0,2 \dots 0,25) \left( \frac{n_s}{100} \right)^{2/3}, \quad (2.6)$$

$$k_{v0} = (0,2 \dots 0,25) \left( \frac{184}{100} \right)^{2/3} = 0,337.$$

Приймаємо  $k_{v0} = 0,225$ .

Швидкість у вхідному патрубку:

$$v_0 = k_{v0} \sqrt{2gH} \quad (2.7)$$

$$v_0 = 0,337 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 32} = 8,44 \text{ м/с}$$

Діаметр входу:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_0}} \quad (2.8)$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 750}{3,14 \cdot 8,44 \cdot 3600}} = 0,177 \text{ м}$$

Умова  $D_0 \geq B$  виконується.

### 2.3 Розрахунок осьової сили

Визначаємо число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{nD_2^2}{\nu}, \quad (2.9)$$

де  $\nu$  – кінематична в'язкість робочої рідини.

$$\text{Re} = \frac{1485 \cdot 0,360^2}{60 \cdot 1,79 \cdot 10^{-6}} = 1791955 \approx 1,791 \cdot 10^6.$$

Для розрахунку коефіцієнта  $\beta$  та  $\psi_\tau$  використовуємо формулу:

$$\beta = 0,407 + \frac{0,361 \cdot 10^6}{\text{Re}} = 0,407 + \frac{0,361 \cdot 10^6}{1,791 \cdot 10^6} = 0,609.$$

$$\psi_\tau = -0,105 + \frac{0,511 \cdot 10^6}{\text{Re}} = -0,105 + \frac{0,511 \cdot 10^6}{1,719 \cdot 10^6} = 0,192.$$

Кутова швидкість обертання насоса:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (2.10)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1485}{30} = 155,43 = 155(c^{-1}).$$

Розраховуємо відносний радіус втулки:

$$\bar{R}_{em} = \frac{R_{em}}{R_2}, \quad (2.11)$$

$$\bar{R}_{em} = \frac{51}{180} = 0,28.$$

Приймаємо коефіцієнт  $k=0,486$ .

Визначаємо результуючу осьову силу:

$$A = \pi \rho g H [\beta(R_2^2 - R_{em}^2) - \psi_\tau(R_2^2 - R_1^2)] - \frac{\pi}{4} k^2 \rho R_2^4 \omega^2 (1 - \bar{R}_{em}^2)^2. \quad (2.12)$$

$$A = 3,14 \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot 32 [0,609(0,180^2 - 0,051^2) - 0,192(0,180^2 - 0,051^2)] - \frac{3,14}{4} \cdot 0,486^2 \cdot 1100 \cdot 0,180^4 \cdot 155^2 (1 - 0,28^2)^2 = 35288H.$$

Визначимо розвантажуючу силу за рахунок установки імPELLерів:

$$T_i = \frac{3 \cdot \omega^2 \cdot \gamma \cdot \pi}{8 \cdot 8 \cdot g} \cdot (D_{2u}^2 - d_{2u}^2) \cdot (R_{2u}^2 - r_{2u}^2)$$

$$T_i = \frac{3 \cdot 155^2 \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot 3,14}{8 \cdot 8 \cdot 9,81} \cdot (0,360^2 - 0,152^2) \cdot (0,180^2 - 0,076^2) = 512166 \text{ Н} .$$

Імпеллер розвантажує робоче колесо на величину осьової сили, рівної Н, тому осьова сила, яка буде діяти на ротор насоса буде дорівнювати:

$$A_{\text{осм}} = A - T_i = 35288 - 32385 = 2903 \text{ Н} .$$

## 2.4 Розрахунок радіальної сили

Радіальну силу визначаємо за формулою [1]:

$$R = K_R \left( \frac{Q}{Q_{\text{омт}}} \right) \gamma H D_2 (b_{2\partial} + \Delta) , \quad (2.13)$$

де  $K_R = 0,2$  – коефіцієнт для радіальної сили у вільновихровому насосі,

$b_{2\partial}$  – ширина лопоті робочого колеса;

$\Delta$  – товщина диска.

Приймаємо  $Q = Q_{\text{омт}}$ , при якому радіальна сила буде максимальна:

$$R = 0,2 \cdot 1 \cdot 1075 \cdot 9,81 \cdot 63 \cdot 0,45 \cdot (0,062 + 0,018) = 456 \text{ Н} .$$

## 2.5 Вибір електродвигуна

Визначаємо потужність насоса на робочому режимі та вибираємо електродвигун:

$$N = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta} , \quad (2.14)$$

де  $\rho$  – густина робочої рідини;

$$N = \frac{1100 \cdot 9,81 \cdot 750 \cdot 32}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,40} = 179,85 \text{ кВт} .$$

Потужність електродвигуна:

$$N_{\text{ед}} = kN .$$

$$N_{\text{ед}} = kN , \quad (2.15)$$



де  $k$  – коефіцієнт запасу;

$$N_{\text{ед}} = 1,1 \cdot 180 = 200 \text{ кВт.}$$

Обираємо чотирифазний асинхронний коротко замкнутий двигун АИР 315 М4 потужністю 200 кВт, синхронною частотою обертання 1500 об/хв. Тоді його номінальна частота обертання буде рівною  $n=1485$  об/хв.

Визначаємо діаметр вала:

$$d_s = \sqrt{\frac{N \cdot 0,4896}{n \cdot [\tau_{\text{кр}}]}} \quad (2.16)$$

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{180 \cdot 0,4896}{1485 \cdot 450}} = 0,0476 \text{ м}$$

Матеріал вала сталь 45. Приймаю діаметр вала, рівний 48 мм.

### 3 ВИБІР КІНЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ

Для обраної конструктивної схеми насоса у якості кінцевого ущільнення вала використовуємо сальникове ущільнення (рис. 3.1)

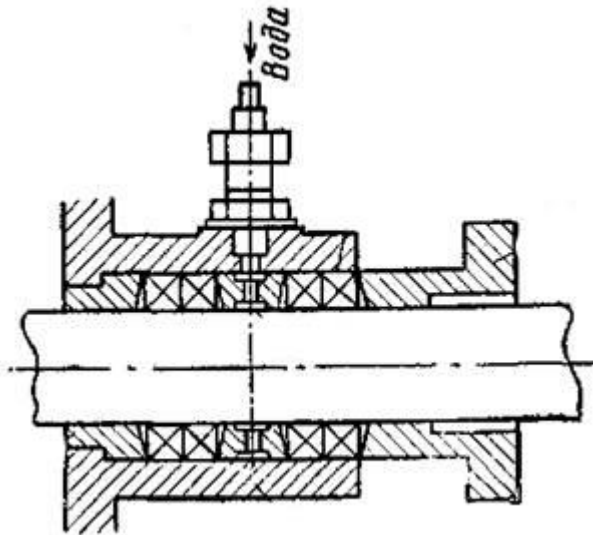


Рисунок 3.1 - Схема сальникового ущільнення

Для надійної роботи насоса необхідно забезпечити підпір на вході в насос. Підпір, вимірний у всмоктувальному патрубку, повинен бути не менше 1 м. З метою захисту сальникового ущільнення від зносу у вузол ущільнення подається запірні рідина під тиском, який перевищує тиск на виході з насоса на 0,05 МПа. У якості запірної рідини використовується технічно чиста вода з температурою не вище 40°C.

Витрати води, яка подається до сальника 0,01 м<sup>3</sup>/год (вода «прокапує»). Інша кількість рідини потрапляє в робочу камеру насоса. Згідно [3] товщина кільця набивки:

$$S = \sqrt{d}, \quad (3.1)$$

де  $d$  – діаметр вала в місці набивки сальника ( $d = 56$  мм)

$$S = \sqrt{56} = 7,48(\text{мм})$$

Приймаємо  $S=10$ мм .

Довжина сальникового ущільнення рівна:

$$L = iS, \quad (3.2)$$

де  $i$  – кількість кілець набивки ( $i=4$ ).

$$L = 4 \cdot 10 = 40 \text{ (мм)} .$$

Згідно ГОСТ 5152-84 обираємо сальникову набивку з одношаровим обплетенням марки АГИ 10x10.

## 4 МЕХАНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Механічні розрахунки проводимо за рекомендаціями робіт [6-8].

### 4.1 Розрахунок реакцій в опорах

Із попередніх розрахунків маємо значення осьової та радіальної сил:

$A=2903$  Н,  $R=456$  Н. Розраховуємо реакції опор за схемою:

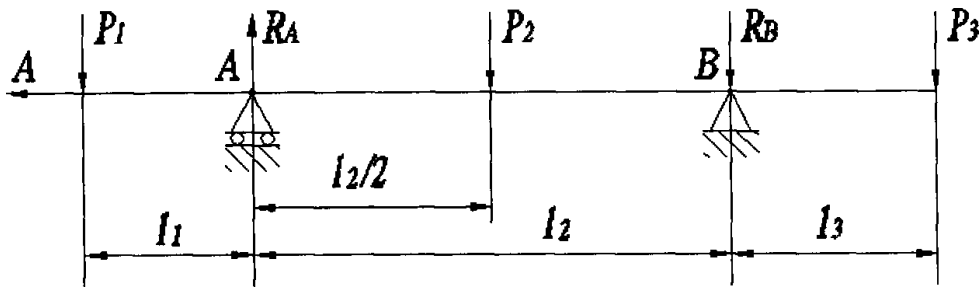


Рисунок 4.1 – Схема навантаження вала

Навантаження  $P_1$  визначаємо за формулою:

$$P_1 = G_k + \frac{1}{3} G_{1a} + R, \quad (4.1)$$

Де  $G_k$  – вага робочого колеса, Н;

$G_{1a}$  – вага вала на ділянці  $l_1$ , Н;

$R$  – радіальна сила, Н.

$$P_1 = 25,5 + \frac{1}{3} 50,7 + 456 = 498,4 \text{ Н}$$

Навантаження  $P_2$  знаходимо наступним чином:

$$P_2 = \frac{1}{3} \cdot G_{2a}, \quad (4.2)$$

Де  $G_{2a}$  – вага вала на ділянці  $l_2$ , Н.

$$P_2 = \frac{1}{3} 61,4 = 20,4 \text{ Н}$$

Навантаження  $P_3$ :

$$P_3 = G_{\text{пм}} + \frac{1}{3} \cdot G_{3\text{в}}, \quad (4.3)$$

де  $G_{\text{пм}}$  – вага напівмуфти;

$G_{3\text{в}}$  – вага вала на ділянці  $l_3$ , Н.

$$P_3 = 33,5 + \frac{1}{3} 28,4 = 43 \text{ Н.}$$

Для визначення реакції в підшипникових опорах складаємо рівняння моментів сил відносно точок опор.

$R_A$  и  $R_B$  – реакції в опорах А та В.

Разміри вала:  $l_1 = 0,275$  м;  $l_2 = 0,155$  мм;  $l_3 = 0,167$  м.

$$\Sigma M_A = P_2 \cdot \frac{l_2}{2} + R_B \cdot l_2 + P_3 \cdot (l_2 + l_3) - P_1 \cdot l_1 = 0 \quad (4.4)$$

$$R_B = \frac{P_1 \cdot l_1 - P_3 \cdot (l_2 + l_3) - P_2 \cdot l_2 / 2}{l_2}; \quad (4.5)$$

$$R_B = \frac{498,4 \cdot 0,275 - 43 \cdot (0,155 + 0,167) - 20,4 \cdot \frac{0,155}{2}}{0,155} = 784,7 \text{ Н.}$$

$$\Sigma M_B = P_2 \cdot \frac{l_2}{2} + P_1 \cdot (l_1 + l_2) - R_A \cdot l_2 - P_3 \cdot l_3 = 0 \quad (4.6)$$

$$R_A = \frac{P_2 \cdot l_2 / 2 - P_1 \cdot (l_1 + l_2) - P_3 \cdot l_3}{l_2}; \quad (4.7)$$

$$R_A = \frac{20,4 \cdot \frac{0,155}{2} - 498,4(0,275 + 0,155) - 43 \cdot 0,167}{0,155} = 1419 \text{ Н.}$$

## 4.2 Вибір підшипників

Підбираємо підшипники по більш навантаженій опорі А.

Попередньо обираємо шариковий радіальний однорядний підшипник 66414 к по ГОСТ 831-75:

$d=70$  мм,  $D=180$  мм,  $B=42$  мм,  $C=152$  кН,  $C_0=109$  кН.

Еквівалентне навантаження знаходимо за формулою [9]:

$$P = (XVR_A + YA)k_\sigma k_m, \quad (4.8)$$

$V=1$  – коефіцієнт обертання внутрішнього кільця;

$X=1$  – коефіцієнт;

$k_6=3$  – коефіцієнт безпеки (враховують сильні поштовхи (удари) під час роботи);

$k_T=1$  – температурний коефіцієнт;

$$P = (1419 + 2903)3 \cdot 1 = 12966 \text{ Н.}$$

Розрахункова довговічність в млн. об. знаходиться за формулою

$$L = \left( \frac{C}{P} \right)^{10/3}, \quad (4.9)$$

$$L = \left( \frac{152000}{12966} \right)^{10/3} = 3660 \text{ млн. об.}$$

Якщо частота обертання постійна, то визначаємо довговічність підшипника в год. по цій формулі:

$$L_h = \frac{10^6 L}{60n} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^{10/3}, \quad (4.10)$$

$$L = \frac{10^6}{60 \cdot 1450} \cdot \left( \frac{152000}{12966} \right)^{10/3} = 42069 \text{ год.}$$

### 4.3 Розрахунок шпонкових з'єднань

Крутний момент у поперечному перетині  $M = 1296 \text{ Нм}$ . Діаметр вала рівний  $d=48 \text{ мм}$ . Діаметр підшипниками  $d_n=70 \text{ мм}$ .

Перетин А-А. У цьому перетині концентрацію напружень викликає наявність пазу для шпонки.

Коефіцієнт запасу міцності:

$$s = s_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} \tau_v + \psi_\tau \tau_m}, \quad (4.11)$$

Де амплітуда та середнє напруження від нульового циклу

$$\tau_v = \tau_m = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{M}{2W_k}, \quad (4.12)$$

При  $d=48 \text{ мм}$ ,  $b=16 \text{ мм}$ ,  $t_1=6 \text{ мм}$ .

$$W_k = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{bt_1(d-t_1)^2}{2d}, \quad (4.13)$$

$$W_k = \frac{3,14 \cdot 48^3}{16} - \frac{16 \cdot 6(48-6)^2}{2 \cdot 48} = 5148 \text{ мм}^3.$$

Тоді розраховуємо, підставляючи раніше отримані дані:

$$\tau_v = \frac{1296000}{2 \cdot 5148} = 125,9 \text{ МПа.}$$

Приймаємо  $k\tau=1,7$ ,  $\varepsilon\tau=0,76$  та  $\psi\tau=0,15$ . Розраховуємо:

$$s = s_\tau = \frac{1296}{\frac{1,7}{0,76} \cdot 125,9 + 0,15 \cdot 125,9} = 4,31 > [s] = 1,5.$$

Так як  $s > [s]$ , то умова виконується, ця перевірка була в найнебезпечнішій зоні вала.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### Система технічного обслуговування та ремонту вільновихрового насоса

Специфіка роботи вільновихрового насоса полягає в тому, що насосні агрегати і установки працюють в середньому 350-360 днів у році (з 365 днів), тобто практично без зупинки.

У силу цього до перекачуваних агрегатів пред'являються високі вимоги по працездатності без поломок і аварій. Цього можна досягти за рахунок наступних чинників:

- а) наявність певного резерву обладнання;
- б) проведення попереджувальних ремонтів за планом;
- в) організація запасів взаємозамінних деталей і частин;
- г) грамотна експлуатація обладнання і систем охолодження, змащення, регулювання параметрів тощо;
- д) якісний монтаж обладнання;
- е) наявність надійного автоматичного контролю за роботою агрегатів.

Плановий огляд (ревізію) проводять через кожні 200-250 год роботи агрегату.

Зазвичай при планових оглядах виконують:

- 1) ревізію підшипників; якщо шарикопідшипники мають раковини на бігових доріжках або неприпустимий зазор між кульками і обоймами, їх слід замінити; нормальний зазор між кульками і обоймами для підшипників діаметром до 50 мм складає до 0,1 мм і для підшипників діаметром 50-100 мм - до 0,2 мм;
- 2) ревізію та промивку картерів підшипників, зміну масла, промивку масляних трубопроводів;
- 3) ревізію і при необхідності зміну сальникової набивки і перевірку робочих поверхонь захисних гільз (втулок);
  - 4) перевірку стану сполучної муфти, прокладку і зміну мастила (у зубчастих муфт);
  - 5) промивку і продування системи трубопроводів, підвідних ущільнювальну рідину, коли сальники насосів мають рідинне ущільнення;



- б) чистку трубопроводів і камер водяного охолодження;
- 7) перевірку стану корпусу насоса шляхом його огляду та простукування;
- 8) перевірку кріплення всього агрегату на фундаменті;
- 9) перевірку центрування агрегату.

Поточний ремонт проводять через 700-750 год роботи агрегату. При цьому, крім робіт, передбачених плановим оглядом, виконують такі операції. Повністю розбирають насос і ретельно оглядають його деталі. Про всі дефекти зазначають у журналі. Перевіряють осьовий розбіг ротора в корпусі. До установки радіально-упорних підшипників осьовий розбіг становить 8-10 мм. Після їх установки і затягування (тобто фіксації ротора) осьовий люфт в межах 0,1 - 0,2 мм. Зазор між деталями ротора і корпусом насоса повинен бути 4-6 мм

При поточному ремонті зазвичай міняють підшипники кочення. Можлива також зміна захисних втулок або шліфування їх. Розкривають і промивають масляні фільтри. При необхідності міняють масло в системі змащування.

Поточний ремонт виконує ремонтний персонал (бригада слюсарів-ремонтників у складі чотирьох-п'яти осіб) насосної станції. Всі витрати для поточного ремонту відносять до засобів експлуатації.

При належній організації поточний ремонт насосного агрегату займає не більше трьох днів. Середній ремонт роблять один раз на рік. При цьому виконують всі роботи поточного ремонту, розбирають окремі вузли і замінюють деталі (підшипники, що ущільнюють кільця, торцеві ущільнення та ін), перевіряють стан робочих коліс, зазорів розвантажувального пристрою і стан поверхонь деталей розвантаження (у секційних насосів), а також биття ротора за допомогою індикатора.

Значення допустимого биття роторів насосів наступні (у мм):

робоче колесо	0,1-0,2
полумуфта	0,03-0,05
посадочні місця під підшипники (шийки валу)	0,02-0,03
захисні гільзи валу	0,02-0,03
ущільнюючі кільця робочих коліс	0,03-0,05

Якщо биття окремих ділянок зібраного ротора дещо перевищує допустиме значення, дефектні місця обточують (за винятком посадочних місць під підшипники кочення і напівмуфти). При значному битті окремих місць ротор розбирають, перевіряють вал і всі деталі на биття. Якщо биття вала або якої-небудь деталі більше допустимого, їх піддають правці або обточуванню.

Значення допустимого биття валів відцентрових насосів наступні (у мм):

шийка вала	0,02-0,025
посадочні місця:	
під захисні гільзи	0,02
під робочі колеса	0,02-0,04
під напівмуфти	0,02

При середньому ремонті виконують статичне балансування ротора насоса. Розбирають торцеве ущільнення і заміряють знос третьових поверхонь. При необхідності міняють вкладиші підшипників ковзання, міняють масло в системі змащування. Середній ремонт також проводиться за рахунок коштів експлуатації.

Капітальний ремонт.

Чим якісніше виконують поточний та середній ремонт, чим вище технічна культура експлуатації обладнання, тим довше воно працює без капітального ремонту.

Приблизний термін, через який потрібен капітальний ремонт відцентрових насосів, коливається в межах 10000 - 25000 год. Зміст і обсяг капітального ремонту встановлюють на основі визначення ступеня зносу окремих деталей. В обсяг капітального ремонту можуть входити наступні роботи: повне розбирання агрегату, визначення дефектів всіх деталей, відновлення зношених деталей до номінальних розмірів або заміна їх новими, обточування шийок роторів насоса, перезаливка

вкладишів підшипників ковзання або заміна всіх підшипників кочення, шліфування або заміна захисних гільз, заміна робочих коліс, динамічне балансування ротора насоса, складання і обкатка насоса.

Аварійна зупинка, якщо для її ліквідації потрібне повне розбирання насоса з заміною окремих вузлів і деталей, відноситься до капітального ремонту.

При капітальному ремонті здійснюють також модернізацію обладнання.

Капітальний ремонт виконують за рахунок коштів, які спеціально утворюються з щорічних амортизаційних відрахувань.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### Аналіз потенційних небезпек і шкідливих факторів в досліджуваній насосній установці.

Розглянута насосна установка включає в себе:

- вільновихровий насос;
- електродвигун;
- муфту для з'єднання вала електродвигуна з валом насоса.

Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпек і шкідливих чинників.

У нашому випадку будуть мати місце механічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, а хімічні, біологічні, психофізичні небезпечно-шкідливі фактори відсутні.

При роботі і обслуговуванні розглянутого насосного агрегату небезпечними і шкідливими виробничими чинниками за ГОСТ 12.0.003-74 можуть бути [10]:

- ураження електричним струмом;
- шум і вібрація, викликані працюючим агрегатом;
- рухливі елементи агрегату;
- мікроклімат;
- освітленість робочої зони;
- пожежна безпека;
- вплив високих температур.

#### Аналіз потенційних небезпечних факторів насосної установки

##### *Електричний струм*

Основними джерелами ураження електричним струмом при експлуатації та обслуговуванні агрегату є випадковий дотик до струмоведучих частин, що знаходяться в даний момент під напругою, який підводиться для живлення двигуна агрегату ( $U = 380\text{В}$ ), несправності захисних засобів, за допомогою яких відбувається контакт працівника з струмопровідними частинами; поява напруги на металевих частинах виробничого обладнання напругою. Останнє відбувається в результаті

пошкодження ізоляції струмопровідних частин електрообладнання при контакті металевих частин обладнання з приводом, що знаходиться під напругою. Джерело небезпеки може виникнути в результаті пошкодження ізоляції приєднувальних проводів, якщо під напругою виявляться металеві струмопровідні частини насоса.

Вимоги з електробезпеки регламентовані ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление». Захисне заземлення та занулення повинно забезпечувати захист людей від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Захисного заземлення та занулення підлягають металеві частини насоса, електроустановок, доступні для дотику людини та інших видів захисту.

Металеві струмопровідні частини електродвигуна і електроустановки заземлені відповідно до ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту». Захисне заземлення виконано навмисним електричним з'єднанням металевих частин електроустановок із землею або її еквівалентом. Струмопровідні частини надійно ізольовані. Для забезпечення захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин агрегату, який проектується застосовуємо:

- ізоляцію струмоведучих частин;
- захисні відключення;
- засоби індивідуального захисту та запобіжні пристосування;
- захисне заземлення (при пошкодженні ізоляції);
- вирівнювання потенціалів;
- попереджувальну сигналізацію.

Згідно з Правилами улаштування електроустановок залежно від умов ОС, а також з метою обмеження напруги живлення переносних електроприладів, а також переносних освітлювальних установок всі приміщення з встановленою в ньому насосною станцією відносяться до класу підвищеної небезпеки, так як в ньому присутня висока вологість, струмопровідні підлоги. Також можливе зіткнення обслуговуючого персоналу одночасно з корпусом ЕО і конструкціями, пов'язаними із землею.

### ***Вплив високих температур***

В основному робота вільновихрового насоса (ВВН) здійснюється у рідинах з  $t < 45 \text{ } ^\circ \text{C}$ .

Температура поверхонь насоса повинна бути не вище  $45 \text{ } ^\circ \text{C}$ . Поверхні даного насоса і трубопроводів, температура яких перевищує  $45 \text{ } ^\circ \text{C}$ , повинні бути ізольовані теплоізоляцією на місці експлуатації або огорожені.

### ***Рухливі елементи агрегату***

У розглянутому агрегаті рухомої деталлю, є вали насоса, електродвигуна і муфта. Тому, щоб уникнути випадкового дотику людини до рухомих деталей, і виключення його травматизму, відповідно до ГОСТ 12.2.003 - 91 "Обладнання виробниче. Огородження захисне" муфта повинна мати надійно закріплене захисне огороження (кожух). Кожух повинен бути червоного кольору, що сигналізує про небезпеку.

### ***Пожежна безпека***

Вимоги регламентовані ДСТУ 2272:2006. «Пожарная безопасность. Термины и определения основных понятий». Пожежна безпека повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту, організаційно-технічними заходами. Пожежна безпека об'єкта та його складових частин повинна забезпечуватися як при експлуатації, так і в разі реконструкції.

Заходи по боротьбі з пожежею:

1. Застосування електрообладнання у відповідній пожежній та вибухонебезпечній зоні відповідно до вимог правил улаштування електрообладнання.

2. Дотримання правил пожежної безпеки. Протипожежний захист забезпечується:

- застосуванням засобів пожежогасіння. У приміщенні встановлено пожежний щит, на якому знаходиться: вуглекислотний вогнегасник УО-25 ДСТУ 3734-98, ящик з піском;

- застосуванням сигналізації;
- застосуванням засобів індивідуального та колективного захисту людей від небезпечних факторів пожежі.

Робоче середовище - забруднена рідина, яка не є горючою. Тому приміщення згідно ДСТУ 3855-99 відноситься до категорії Д. Насосну станцію за ступенем вибухо-і пожежобезпеки можна віднести до безпечної, так як вона не має приміщень, де б містилися небезпечні речовини.

### ***Хімічні фактори***

У зв'язку з тим, що для роботи підшипників насоса застосовується органічне змащення, в повітря робочої зони можуть виділятися пари масел, тим самим, негативно впливаючи на людину. Ступінь і характер викликаних ними порушень нормальної роботи організму людини залежить від шляху потрапляння в організм людини, дози, часу впливу, концентрації речовини і його розчинності, стану сприймання тканин і організму в цілому, атмосферного тиску, температури та інших характеристик навколишнього середовища. За ступенем впливу на організм людини всі шкідливі речовини поділяються згідно ДСТУ Б А.3.2-12: 2009 "Система стандартів безпеки праці» на:

- надзвичайно небезпечні;
- високонебезпечні;
- помірно небезпечні;
- малонебезпечні.

Органічне мастило відноситься до помірно небезпечних речовин, для яких ГДК робочої зони встановлено від 1,1 до 10 мг/м<sup>3</sup>. ГДК мінерального масла становить 5 мг/м<sup>3</sup>.

### **Аналіз потенційних шкідливих факторів насосної установки**

#### ***Шум і вібрація***

При роботі насосного агрегату створюється шум різної тональності залежно від ступеня його навантаження і досконалості застосовуваних вузлів, а також від типу та конструкції. Основними джерелами коливань є:

- а) механічна неврівноваженість ротора;

- б) підшипники кочення;
- в) неоднорідність потоку;
- г) кавітаційні процеси;
- д) вихрові процеси в рідині.

Вільновихрові насоси є одними із самих тихих динамічних насосів. Основне джерело шуму - двигун. У даному випадку застосовується асинхронний електродвигун.

Рівень шуму створюваний агрегатом відповідає ТУ і становить 75 дБА, якщо ж рівень шуму з якихось причин перевищує норму, використовуються захисні пристосування. У виробничих приміщеннях, на постійних робочих місцях допустимий рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБА ДСТУ 2867-94.

### ***Вібрація***

При порушенні режимів і ТУ експлуатації, розцентруванні і розбалансуванні агрегату, недосконалості конструкції може виникнути вібрація установки. При роботі та експлуатації агрегату повинні дотримуватися вимоги та рекомендації ДСН 3.3.6.039-99 "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації". Допустимим значенням вібрації при третьому класі точності балансування є 1мм/с.

### ***Мікроклімат***

Для нормальних умов праці на ділянці повинна підтримуватися оптимальна температура повітря, його вологість і запиленість не залежно від пори року. Згідно ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень" для даного приміщення, в якому виконуються середні роботи по тяжкості, вологість повітря повинна бути 40-60 %, а температура повітря в межах 18-20 ° С, швидкість руху повітря 0,15 м/с. Так як підтримання оптимальних кліматичних умов важче в літній період року, коли виділяється багато теплової енергії від сонця і обладнання, то для цього періоду року передбачена примусова вентиляція робочого приміщення, щоб забезпечити нормальні умови праці. Враховуючи, що забруднені рідини не є токсичними речовинами, вентиляція розрахована для надлишкового тепла і вологості. У холодний період року вентиляція відбувається за рахунок щілин у



віконних і дверних прольотах. У цей період використовується система опалення, яка забезпечує відповідні умови мікроклімату в робочій зоні.

### ***Освітленість робочої зони***

Розрізняють два типи освітлення: природне і штучне.

Штучне освітлення підрозділяється залежно від призначення на робоче, аварійне, евакуаційне та охоронне. Розрізняють такі системи штучного освітлення: загальне, місцеве і комбіноване. Згідно СНІП 23-05-95, монтажні, обслуговуючі та ремонтні роботи відносяться до IV розряду зорового навантаження, отже приміщення, де встановлені агрегати, передбачає використання загального освітлення з освітленістю 200 лк.

### ***Забезпечення безпеки об'єкта в надзвичайних ситуаціях***

Розглянемо можливі надзвичайні ситуації на насосній станції:

1. Підтоплення насосної станції. Небезпечним є електродвигун, який опинився в воді. Це приведе до короткого замикання і виходу з його ладу. У цьому випадку персонал станції керується правилами ДСТУ 3891-99 і зобов'язаний відключити електричне живлення насосного агрегату, щоб не сталося аварії.

2. Вибух. Вибух, який пошкодив насосну станцію призведе до розгерметизації трубопроводів, в наслідок чого, рідина з напірного трубопроводу піде назад, підтоплюючи приміщення. На напірному трубопроводі повинен бути передбачений зворотний клапан і засувка. Персоналу необхідно відключити електрику, перекрити трубопроводи і відкачати рідину.

3. При пожежі, яка виникла на підприємстві, персонал повинен знеструмити насос, ліквідувати пожежу. Якщо під час пожежі згоріли ущільнення і прокладки (розгерметизація насоса) провести ремонт із заміною робочих елементів.

4. У сейсмічно активних зонах насосний агрегат монтують на спеціальну подушку, яка поглинає вібраційні коливання. Землетрус може зашкодити як агрегату, так і підвідним і відвідним трубопроводам, призвести до розгерметизації ущільнень і витікання рідини. Необхідно знеструмити агрегат, перекрити засувки на трубопроводах.

Заходи для уникнення небезпек, викликаних позаштатними ситуаціями повинні бути вказані в інструкції з експлуатації:

- небезпеки внаслідок відмови і неправильного застосування захисних заходів;
- всі види захисних пристроїв;
- всі види інформаційних чи попереджувальних пристроїв;
- заходи на випадок аварії;
- необхідне обладнання для безпечного налагодження та підтримання їх у справності.

Для запобігання цих небезпек необхідно:

- пристрої, які відкриваються чи захисні пристрої, які знімаються, повинні бути конструктивно виконані так, щоб помилкова їх зміна місць не позначилась на заходах щодо зниження ризику;

- демонтаж захисних пристроїв, призначених для зменшення небезпеки при дотику до насоса або частин агрегату, повинен виконуватися за допомогою інструменту;

- якщо з умов безпеки насосів необхідно встановити контрольні-вимірювальні прилади, або прилади сигналізації, то для них повинні бути передбачені місця приєднання;

- якщо необхідна аварійна зупинка за допомогою ручного втручання, то повинні бути передбачені заходи, що зберігають безпеці об'єкта експлуатації та насосного агрегату (перехід на резервний насос);

- якщо для монтажу та експлуатації потрібен спеціальний інструмент, то він повинен регламентуватися виробником і пропонуватися до постачання.

Контроль по попередженню таких небезпек повинен здійснюватися згідно з інструкціями з експлуатації виробника або споживача.

## 7 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 7.1 Характеристика типу виробництва

Серійний тип організації виробництва [11] характеризується одночасним виготовленням на підприємстві широкої номенклатури однорідної продукції, випуск якої повторюється протягом тривалого часу. Найбільшого поширення серійне виробництво має в машинобудуванні та металообробці. При цьому випуск продукції відбувається серіями, а по відношенню до деталей – партіями. Виготовлення серій виробів одного типорозміру зазвичай повторюється через регулярні проміжки часу. При повторних запусках серій машин часто вносяться зміни до конструкторської та технологічної підготовки виробництва, організації робочих місць, підвищується кваліфікація робітників. Серійне виробництво дозволяє уніфікувати конструкції деталей, виробів і домагатися типізації технологічних процесів і оснащення. Залежно від розміру серії розрізняють великосерійні, среднесерійні і дрібносерійні виробництва.

При великосерійному виробництві продукція виготовляється безперервно великим об'ємом протягом періоду, що перевищує, як правило, рік. Підприємство спеціалізується на випуску повністю відпрацьованих видів продукції або окремих вузлів і деталей. Цехи підприємства спеціалізуються за предметною ознакою, а робочі місця – за однорідними операціями. На такому виробництві широко використовуються спеціалізоване обладнання, потокові лінії і засоби автоматизації (наприклад, конвеєри). Великосерійне виробництво дозволяє організувати на науковій основі всі підготовчі операції, виділяючи їх в самостійний етап. До групи підготовчих операцій відносяться конструювання виробу, його окремих деталей, розробка нових технологічних процесів, виготовлення інструменту і пристосувань. Великосерійне виробництво за своїм характером наближається до масового виробництва.

При среднесерійном виробництві спеціалізація обмежується більш вузькою номенклатурою, а виробничі лінії і цехи мають предметну і технологічну

спеціалізацію. Підготовка виробництва, як правило, також виділяється з основного виробничого процесу. До середньосерійного виробництва відносяться, наприклад, верстатобудування і двигунобудування, багато видів прокату чорних і кольорових металів.

Дрібносерійне виробництво – перехідна форма від одиничного виробництва до випуску продукції дрібними серіями. Виготовлення виробів або окремих деталей, як правило, не повторюється. Розмір серій нестійкий, а збут обмежений наявними замовленнями або договорами. З цієї причини порівняно швидко припиняється виготовлення одних видів продукції і налагоджується освоєння нових. До дрібносерійного можна віднести виробництво деяких видів прокату і сплавів спеціального призначення, невеликих партій виробів, машин, призначених для експериментування в різних умовах, і т. д. Дрібносерійне виробництво відрізняється від дослідного виробництва, продукція якого, як правило, обмежується виготовленням одного зразка.

Техніко – організаційні особливості серійного виробництва обумовлюють ряд економічних переваг порівняно з одиничним виробництвом : скорочення виробничого циклу, підвищення якості продукції, зростання продуктивності праці, зниження собівартості. Ці фактори забезпечують підвищення ефективності виробництва.

## 7.2 Технологічність деталі

Найважливішим показником досконалості конструкції машини чи деталі служить її технологічність.

Визначення технологічності конструкцій деталей і кількісна оцінка критеріїв технологічності виробництва проводиться за ГОСТ 14.205-83.

Під технологічністю конструкції виробу мається на увазі її відповідність тим конкретним методам виробництва, в умовах якого вона повинна виготовлятися. При інших рівних умовах більш технологічною є та конструкція, трудомісткість і собівартість виготовлення якої менша.

Підвищення технологічності конструкцій відбувається в таких основних напрямках:

- 1) спрощення конструктивних форм деталей, включаючи заготовки;
- 2) призначення раціональних допусків;
- 3) уніфікація і стандартизація конструкцій (вузлів, деталей та конструктивних елементів).

Відпрацювання технологічності конструкцій гідромашин проводиться на всіх стадіях проектування, у процесі технологічного контролю, а також у період освоєння виробництва машини.

Відпрацювання технологічності проводиться для трьох етапів виготовлення: виробництва заготовок, механічної обробки та складання.

Велика частина виливків, що застосовуються при виготовленні гідромашин, повинна відповідати особливим вимогам. Наприклад, поверхні виливків, що утворюють проточну частину у відцентрових насосах, мають складну форму подвійної кривизни. На цих поверхнях (в порожнинах спіральних камер, в каналах робочих коліс та ін.) здійснюється робочий процес насоса. Зважаючи на складність форми та недоступність для механічної обробки, поверхні проточної частини зберігаються такими, якими виходять у виливках. У деяких випадках може бути проведена лише зачистка вручну або струменем абразивної суміші.

Допуски на лінійні розміри встановлюють за ГОСТ 26645-85 для сталевих виливків.

В процесі конструювання литих деталей в першу чергу повинні бути прийняті всі міри для отримання виливків з мінімальним дефектами, до основних з яких відносяться: усадочні тріщини і раковини, газові раковини, пористість і надмірне викривлення. Повинні бути також вирішені наступні завдання:

1. Вибір способу формування. Переважним є застосування машинної формовки. З урахуванням габаритів виливків може виявитися доцільним розчленування виливків на дві частини, якщо цілісна виливок не формується на машині, а кожна з частин може формуватися на машині.

2. Вибір площини роз'єму моделі і розташування не формуючих западин, виступів і бубишок з метою зменшення потреби в застосуванні додаткових стержнів або від'ємних частин на моделі.

3. Встановлення базових поверхонь для перших операцій механічної обробки. Базові поверхні повинні бути рознесені на необхідну відстань і достатніми для забезпечення стійкості заготовки при її установці.

4. Встановлення необхідної кількості стрижнів і послідовність їх складання у формі.

5. Слід зазначити, що структура і механічні властивості металу у великій мірі залежать від швидкості охолодження.

6. Ув'язка конструктивних і формувальних ухилів.

7. Вибір способу транспортування виливки.

Безпосереднього конструювання литої деталі передує вибір марки матеріалу і міцнісні розрахунки.

Дане робоче колесо виготовляється зі сталі 20Х13Л.

Проведемо аналіз технологічності матеріалу, з якого зроблено робоче колесо.

За призначенням сталь 20Х13Л застосовується для деталей, що піддаються ударним навантаженням, а також виробів, що піддаються дії слабких агресивних середовищ, а також різних деталі машинобудування, що працюють при температурі не вище 700 °С.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи в магістерській роботі розроблена конструкція вільновихрового насоса ВВН 750-32 високої швидкохідності ( $n_s=184$ ).

Обґрунтовано вибір конструктивної схеми насоса, виконано опис конструкції.

Виконано гідравлічні розрахунки, які включають: розрахунок коефіцієнта швидкохідності, розрахунок геометричних розмірів проточної частини насоса, розрахунок осьової та радіальної сил.

Проведено механічні розрахунки: розрахунок реакцій в опорах, вибір підшипників, розрахунок шпонкових з'єднань.

У розділі економіки описана система технічного обслуговування насоса.

У розділі охорони праці проведено аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів в досліджуваній насосній установці.

У технологічній частині наведені характеристики типу виробництва і технологічності деталі.

Розроблені основні креслення (презентація): монтажне креслення агрегату; складальне креслення насоса; креслення робочого колеса; теоретичне креслення відводу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герман В. Ф. Свободновихревые насосы : учеб. пособие / В. Ф. Герман, И. А. Ковалев, А. И. Котенко; под общ. ред. А. Г. Гусака. – 2-е изд., доп. и перераб. – Сумы : Сумский государственный университет, 2013. – 159 с.
2. Хімічний насос типу Egger [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://belayacerkov.flagma.ua/himicheskiy-nasos-tip-egger-e-eo-eos-shlam-i-o1452745.html>.
3. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. – Москва : Машиностроение, 1977. – 288 с.
4. Герман В.Ф. Поиск путей расширения диапазона рабочих параметров свободновихревых насосов типа «Туго»/ В.Ф.Герман, А.Г.Гусак, А.А.Евтушенко, В.А.Панченко// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №4/8 (52). – С. 33-37.
5. Пат. № 56039 Україна, МПК F04D 7/00. Вільновихровий насос / В. О. Панченко, А. О. Євтушенко, В. О. Соляник, О. С. Моргаль; - № и 2010 06394; заявл. 25.05.10; опубл. 27.12.10, Бюл. №24.
6. Дунаев П. Ф Конструирование узлов и деталей машин /П. Ф Дунаев , А. П. Леликов: учебное пособие для машиностроительных вузов. – М.: Высшая школа, 1985.
7. Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов / С. А. Чернавский, К. Н. Боков, И.М. Чернин и др. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 416 с.
8. Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В. И. Ануриев ; под ред. И. Н. Жестковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2006. – Т. 1. – 928 с.
9. Иванов М. Н. Детали машин: учеб. для студентов вузов /под ред. В. А. Финогенова.– 6-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.



10. ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
11. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навч. посібник. – К.: Вища шк. 1993. – 414 с.
12. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра / укладачі: В. Ф. Герман, О. Г. Гусак, Е. В. Колісніченко. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 47 с.