

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему

### “Вільновихровий насос моноблочної конструкції”

зі спеціальності 6.05050205 “Гідравлічні машини, гідроприводи та  
гідропневмоавтоматика”

**Виконавець роботи**

Холодов Олександр Анатолійович

*прізвище, ім'я, по батькові*

\_\_\_\_\_  
*підпис, дата*

**Науковий керівник**

Герман Віктор Федорович

*прізвище, ім'я, по батькові*

к.т.н., доцент

*науковий ступінь, вчене звання*

\_\_\_\_\_  
*підпис, дата*

Суми 2020

Сумський державний університет

Факультет TeCET Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

Спеціальність 6.05050205 “Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ЗАВДАННЯ

#### на кваліфікаційну роботу бакалавра

Холодов Олександр Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Вільновихровий насос моноблочної конструкції»

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

2. Термін здавання закінченої роботи 16.06.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: подача насоса  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{год}$ , напір  $H = 16 \text{ м}$ , частота обертів  $n = 2850 \text{ об/хв}$ , густина рідини  $\rho = 1150 \text{ кг/м}^3$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): особливості вільновихрових насосів, 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, розділ з охони праці, економічна частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): складальне креслення насоса, креслення робочого колеса, креслення деталі (всього 4 листа ф. А1)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір матеріалів до бакалаврської роботи	08.02 – 09.02.2020 р.	
2	Переддипломна практика. Охорона праці	10.02 – 08.03.2020 р.	
3	Обґрунтування і вибір конструктивної схеми насоса	11.02 - 16.02.2020 р.	
4	Опис конструкції вибраного насоса	17.02 - 19.02.2020 р.	
5	Гідравлічні розрахунки	22.02 - 26.02.2020 р.	
6	Складання звіту з практики	27.02– 01.03.2020 р.	
7	Вибір двигуна. Вибір кінцевого ущільнення насоса. Теоретичне креслення робочого колеса	20.04 - 30.04.2020 р.	
8	Механічні розрахунки.	01.05 - 10.05.2020 р.	
9	Креслення робочого колеса	11.05 - 21.05.2020 р.	
10	Складальне креслення насоса	22.05 – 07.06.2020 р.	
11	Креслення деталі	08.06 – 11.06.2020 р.	
12	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічних матеріалів	12.06 – 16.06.2020 р.	

Дата видачі завдання – 07.02.2020 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_

Герман В. Ф.  
(прізвище, ініціали)

## Реферат

Пояснювальна записка: 42 с., 11 рисунків, 1 таблиця, 14 літературних джерел.

Тема роботи – «Вільновихровий насос моноблочної конструкції».

Графічні матеріали: 4 аркуші формату А1 : складальне креслення агрегата (аркуші 1,2), креслення робочого колеса, креслення деталі.

Мета роботи – розроблення конструкції вільновихрового моноблочного насоса для перекачування забруднених рідин на параметри: подача  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 16 \text{ м}$ .

Відповідно до поставленої мети:

- обґрунтовано вибір конструкції насоса;
- виконано гідравлічні розрахунки проточної частини;
- розраховано осьову гідравлічну силу;
- обрано кінцеве ущільнення;
- вибрано електродвигун;
- розраховано працездатність складальних одиниць і деталей насоса: вала, шпонкового з'єднання.

У розділі економіки розглянута організація технічного обслуговування й ремонту насоса.

У розділі охорона праці наведені фактори, що впливають на працездатність людини.

Ключові слова: ВІЛЬНОВИХРОВИЙ МОНОБЛОЧНИЙ НАСОС, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ВІДВІД, ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ; УЩІЛЬНЕННЯ, ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ.

## Зміст

ЗАВДАННЯ	
РЕФЕРАТ	
ВСТУП	5
1 ОСОБЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ МОНОБЛОЧНИХ НАСОСІВ. ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАСОСА	8
1.1 Насоси типу КМ	8
1.2 Обґрунтування обраної конструкції	11
1.3 Призначення насоса	11
2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ НАСОСА	12
3 РОЗРАХУНКИ ГІДРАВЛІЧНІ	14
3.1 Розрахунки проточної частини насоса	14
3.2 Розрахунки гідравлічної осьової сили	17
3.3 Розрахунки гідравлічної радіальної сили	21
4 ВИБІР КІНЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ ВАЛА	23
4.1 Вибір типу ущільнення	23
4.2 Розрахунки потужності, споживаної в ущільненні	24
5 РОЗРАХУНКИ НА ВИБІР ДВИГУНА	26
Вибір двигуна	26
6 МЕХАНІЧНІ РОЗРАХУНКИ	27
6.1 Розрахунки вала на статичну міцність	27
6.2 Розрахунки шпонкового з'єднання	30
7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	32
Організація технічного обслуговування й ремонту насоса	
8 ОХОРОНА ПРАЦІ	35
Фактори, що впливають на працездатність людини	
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	41

					<i>6.05050205.10БР.000.00 ПЗ</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Холодов			<i>Агрегат насосний АСВНМ 16-16 Пояснювальна записка</i>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Герман					4	42
Реценз.						<i>СумДУ, гр. ГМз-51с</i>		
Н. Контр.		Алексееenko						
Утверд.								

## Вступ

До переваг моноблочних насосів можна віднести невелику вагу й малі габарити [1]. Вони прості в складанні, установці й не вимагають складного обслуговування. Це й робить їх вигідним вибором для розв'язку багатьох технічних завдань по комунальному обслуговуванню житлових будинків і інших будов. Моноблочні насоси (рис. 1) активно використовуються при створенні систем опалення, водо- і тепlopостачання. Вони ефективно справляються із завданнями по підтримці необхідного тиску в контурі. Саме тому вони часто застосовуються для розв'язку питань водопостачання й опалення у висотних будинках.

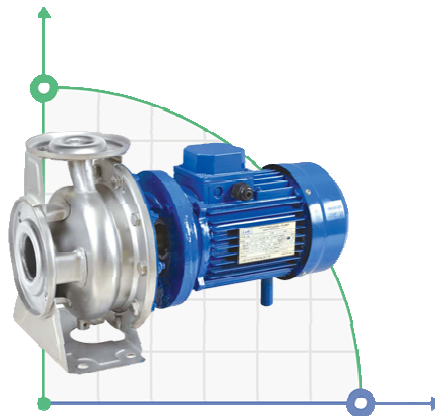


Рисунок 1 – Моноблочні насоси SM [2]

Насоси такого типу також нерідко застосовуються й у побутових потребах. Вони прості в обігу, тому можуть бути використані для поливу саду, наповнення басейну й не тільки. Якщо тиску одного насоса буде недостатньо, завжди є можливість об'єднати кілька таких насосів у єдину систему. При виробництві моноблочних насосів використовуються запчастини й компоненти, виготовлені згідно із установленими специфікаціями й стандартами. Це вирішує завдання пошуку деталей для

заміни, що зносилися або які вийшли з ладу. При цьому всі компоненти мають тривалий термін служби. У конструкції таких насосів використовуються посилені підшипники, і якісні ущільнювачі, тип яких підбирається відповідно до експлуатаційних якостей і функціональними особливостями пристрою. Довгий термін служби, висока ефективність роботи, надійність, відсутність необхідності в складному й дорогому обслуговуванні — усе це робить використання консольно-моноблочних насосів вигідним розв'язком у багатьох випадках.

За кордоном і нашої країні виготовляють моноблочні насоси вільновихрової конструкції, в яких між робочим колесом і передньою стінкою корпусу є вільна камера.

Вільновихрові насоси (ВВН) (рис. 2) мають широку область застосування: комунальне й сільське господарство; целюлозно-паперова, хімічна, цукрова й харчова промисловість. Вони можуть перекачувати паперову масу з водою, волокнисту й солом'яну маси, рибне й кісткове борошно з водою, рідкі органічні добрива, відходи цукрового буряка, гній з водою, слабкі розчини кислоти й лугів з пастоподібними добавками, розчини з вугільним дріб'язком і залізним шламом, пульпу та ін. [3].



Рисунок 2 – Вільновихровий насос фірми EGGGER [3]

### Переваги ВВН:

- робоче колесо напіввідкритого типу втоплене в нішу корпуса насоса, що дозволяє перекачувати рідини з домішками розміром до 0,5 – 0,8 розміру вхідного патрубка;
- компактна конструкція;
- можливість застосування насоса при роботі на змінній густині рідини.

Основним недоліком ВВН є їх більш низька економічність (ККД в межах 38 – 58 %). Однак завдяки своїм конструктивним особливостям, ККД практично стабільний протягом експлуатації на відміну від відцентрових насосів. Крім того, ВВН мають високу надійність, зносостійкість і практично не забиваються продуктом, що перекачується.



# 1 Особливості, переваги і недоліки моноблочних насосів. Обґрунтування обраної конструкції

## 1.1 Насоси типу КМ

Насоси КМ (рис. 1.1) відповідно до загальноприйнятих класифікацій є [4] :

- за конструктивною ознакою – консольні ( на відміну від насосів типу К), робоче колесо їх перебуває безпосередньо на валу електродвигуна спеціальної конструкції або на проміжному валу, який також кріпиться на валу звичайного електродвигуна фланцевого або комбінованого монтажного виконання;
- за принципом дії – відцентрові, динамічні, лопатеві, з вихідним потоком на виході з робочого колеса радіального типу (робоче колесо - закритого типу).

Також випускаються моноблочні насоси КМ спеціального призначення:

- для перекачування хімічно активних середовищ (насос ХМ);
- легких нафтопродуктів (насос КМН);
- харчових продуктів;
- інші моноблочні насоси для різних середовищ.

Більша частина побутових насосів виготовляється в моноблочному виконанні.



Рисунок 1.1 – Моноблочний відцентровий насос [4]

Насоси КМ допускають невелику кількість механічних домішок у рідині, що перекачується: до 0,2 % по масі. Розмір часток у домішках – до 0,2 мм.

Насоси КМ мають свої переваги й недоліки в порівнянні з консольними насосами типу К.

Недоліки:

– робоче колесо кріпиться безпосередньо на вал електродвигуна. У випадку неякісного виготовлення, може вийти з ладу дорогий електродвигун.

Переваги:

- насосний агрегат КМ набагато менше по розміру аналогічного насоса типу К;
- менша кількість запасних частин (відсутній кронштейн, муфта);
- немає необхідності робити центрування насоса й електродвигуна;
- більш низьке споживання електроенергії через відсутність втрат у муфті й підшипниках насоса.

Насоси КМ разом з насосами типу К знаходять застосування практично у всіх областях промисловості, сільського господарства, у житлово-комунальній галузі й багатьох інших сферах.

Останнім часом насоси КМ випускаються у вільновихровому варіанті (рис. 1.2; рис. 1.3) [5].

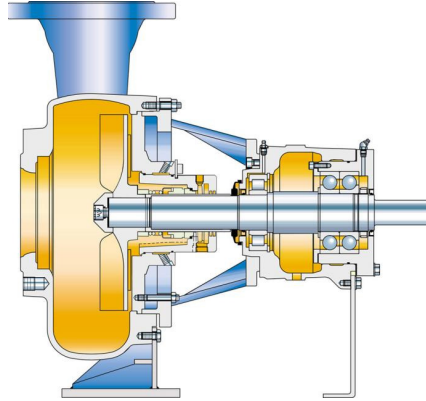


Рисунок 1.2 – Конструкція насосів Sulzer FB [5]

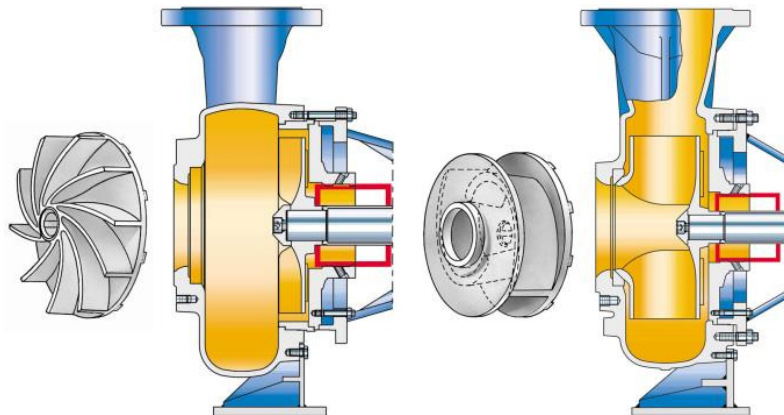


Рисунок 1.3 – Проточні частини насосів Sulzer FB [5]

Недоліком вільновихрових насосів є низька економічність, що залежно від конструктивного типу і розмірів насоса складає 35-58 % [3]. Економічність цих насосів складає приблизно  $2/3$  економічності відцентрового насоса. Однак досвід експлуатації вільновихрових насосів за кордоном показує, що їх ККД є практично однаковим на протязі всього періоду експлуатації. Це надає економічний ефект у порівнянні з відцентровими насосами.

## 1.2 Обґрунтування обраної конструкції

Прийняте конструктивне рішення насоса вільновихрового типу (ВВНМ) обумовлене підвищенням надійності роботи при перекачуванні рідин з домішками й зниженням засмічення проточної частини насоса при перекачуванні забруднених рідин із твердими та волокнистими включеннями. Конструкція насоса типу ВВНМ має більш просту форму проточної частини (робоче колесо можна виготовити на місці експлуатації насоса), меншу металоємність, створює сприятливі умови для високого ступеня уніфікації.

## 1.3 Призначення насоса

Насос моноблочний вільновихровий ВВНМ 16-16 (подача  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{год}$  і напір  $H = 16 \text{ м}$ ) призначений для перекачування побутових і промислових забруднених рідин, хімічно неагресивних мас, а також суспензій, фекальних і стічних вод з водневим показником рН від 6 до 8.5, температурою до  $90^\circ\text{C}$  і густиною до  $1150 \text{ кг/м}^3$ , зі змістом твердих часток до 20 % за обсягом, з максимальним розміром до 10 мм.

## 2 Опис конструкції насоса

Одним з різновидів конструктивного виконання вільновихрових насосів типу ВВН є моноблочна конструкція (ВВНМ). Насос ВВНМ 16-16 – вільновихровий, горизонтальний, моноблочний з робочим колесом, розташованим у розточенні задньої стінки корпусу (рис. 2.1). Відмінна риса насоса – наявність вільної камери між колесом і передньою стінкою корпусу.

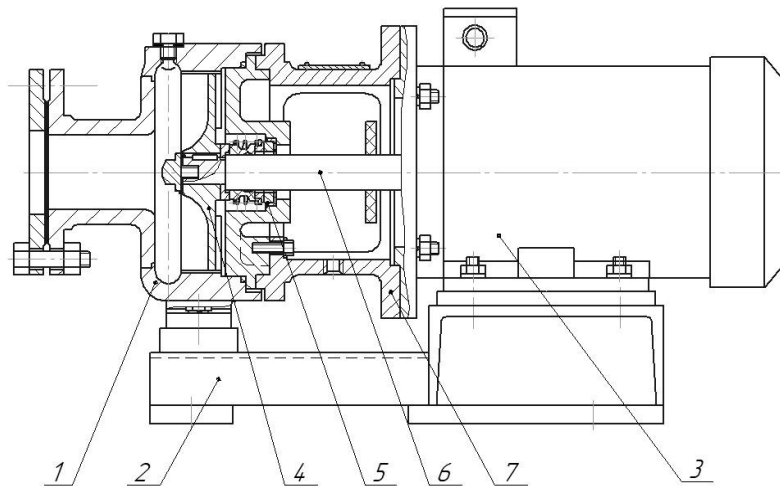


Рисунок 2.1 – Агрегат електронасосний типу СВНМ

1 – корпус, 2 – рама фундаментна, 3 – електродвигун, 4 – робоче колесо, 5 – торцеве ущільнення, 6 – вал, 7 – проставка

Базова деталь електронасоса – корпус із вхідним і напірним патрубками. Вхідний патрубок спрямований горизонтально по осі, напірний – вертикально нагору.

Робоче колесо виконане у вигляді диска з похилими лопатями, що дозволяє дещо збільшити ККД насоса. Електронасос зібраний безпосередньо на валу електродвигуна. Ущільнення вала – торцевого типу. Для його промивання передбачене підведення й відвід технічної води.

Опорами вала служать підшипники електродвигуна. Змащення підшипників – консистентне.

Напрямок обертання ротора - за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку двигуна.

## 3 Розрахунки гідравлічні

### 3.1 Розрахунки проточної частини насоса

Розрахунки проводимо за методикою, викладеною в [3]. Основні геометричні розміри проточної частини показані на рис. 3.1.

#### 3.1.1 Вихідні дані:

$$Q = 16 \text{ м}^3/\text{ГОД}; H = 16 \text{ м}; n = 2850 \text{ об/хв}; \rho = 1150 \text{ кг/м}^3.$$

#### 3.1.2 Визначаємо коефіцієнт швидкохідності насоса:

$$ns = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{i}\right)^{3/4}}, \quad (3.1)$$

$$ns = \frac{3,65 \cdot 2850 \cdot \sqrt{16}}{60 \cdot (16)^{3/4}} = 86,7.$$

3.1.3 Задаємося співвідношеннями основних геометричних розмірів робочого колеса.

$$\vec{D}_1 = 0,2; \vec{b}_2 = 0,14; \vec{\delta} = 0,02; Z = 10.$$

3.1.4 По геометричних залежностях [3] визначаємо ККД насоса, відносну ширину вільної камери  $B$  і функції  $F_1$  і  $F_2$ .

$$\eta = 0,48; \vec{B} = 0,14; F = 1,903 \cdot 10^{-2}; F = 2,22.$$

ККД зазначене для насосної частини.

3.1.5 Зовнішній діаметр робочого колеса визначається за формулою

$$D_2 = \frac{A}{\eta} \cdot \sqrt{H}, \quad (3.2)$$

$$\text{де } A = \left[ \frac{\eta_{\text{MEХ}}}{k\eta \cdot F_1 \cdot F_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

Тут  $\eta_{\text{мех}}$  – механічний ККД насоса;

$$\eta_{\text{мех}} = 0,96;$$

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

Схема проточної частини СВН наведена на рис. 3.1.

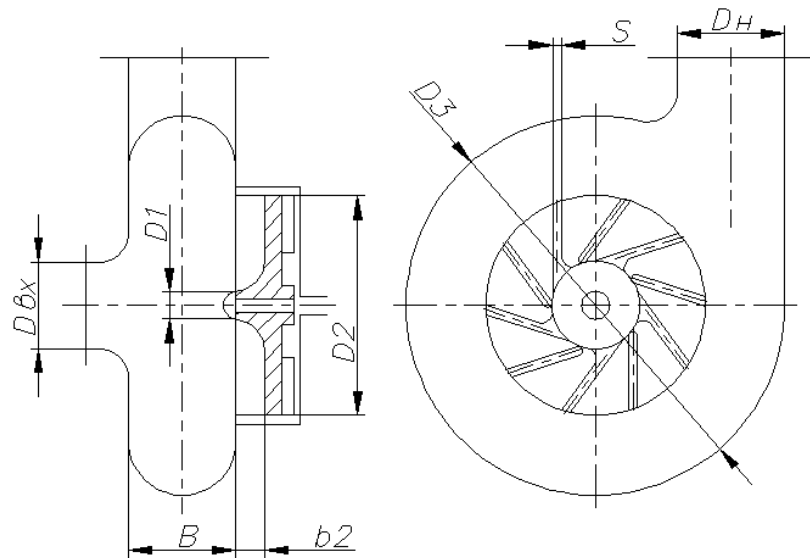


Рисунок 3.1 – Основні геометричні розміри проточної частини насоса



$$\text{Тоді } A = \left[ \frac{0,96}{7,023 \cdot 10^{-3} \cdot 1,903 \cdot 10^{-2} \cdot 0,48 \cdot 2,22} \right]^{\frac{1}{2}} = 82,1;$$

$$D_2 = \frac{82,1}{2850} \cdot \sqrt{16} = 0,120 \text{ м.}$$

Для гарантового забезпечення напору збільшуємо діаметр робочого колеса. У випадку перебільшення значення напору виконується підрізання робочого колеса по зовнішньому діаметру за рекомендаціями [3].

Приймаємо зовнішній діаметр робочого колеса  $D_2 = 128 \text{ мм}$ .

### 3.1.6 Абсолютні розміри робочого колеса:

$$D_1 = 26 \text{ мм};$$

$$b_2 = 18 \text{ мм};$$

$$\delta = 3 \text{ мм.}$$

### 3.1.7 Ширина вільної камери електронасоса

$$B = \vec{B} \cdot D_2 = 0,14 \cdot 128 = 18 \text{ мм.}$$

### 3.1.8 Приймаємо кільцевий відвід

Основні геометричні розміри відводу.

Діаметр кільцевого відводу  $D_3 = D_2 + B = 128 + 18 = 146 \text{ мм}$ .

Діаметр входу:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V_0}}, \quad (3.4)$$

де  $V_0 = K_{v0} \cdot \sqrt{2g \cdot H}$  – швидкість на вході в насос;

$$K_{v0} = 0,25 \cdot \left[ \frac{n_s}{100} \right]^{2/3} \quad \text{– коефіцієнт вхідної швидкості.}$$

Після обчислень одержуємо  $D_0 = 0,03$  м. З урахування рекомендацій ISO 2858 приймаємо  $D_0 = D_{вх} = 50$  мм.

Діаметр виходу прийнятий  $D_n = 32$  мм.

### 3.2 Розрахунки гідравлічної осьової сили

Визначення осьового зусилля проводимо за методикою [6].

Результуюче осьове зусилля (рис. 3.2), що діє на ротор електронасоса, визначається за формулою:

$$F = F_I - F_1 + F_0 - F_m, \quad (3.5)$$

де  $F_I$ ,  $F_1$ ,  $F_0$ ,  $F_m$  - складові повної осьової сили (див. рис. 3.2).

#### 3.2.1 Визначаємо силу $F_m$ .

$$F_m = \rho \cdot g \cdot Q \cdot V_{вх},$$

де –  $V_{вх}$  - швидкість рідини в підвідному патрубку насоса;

$$V_{\text{вх}} = 4Q / \pi \cdot D_0^2 = 2,26 \text{ м/с}$$

$$\text{Тоді } F_m = 1150 \cdot 9,81 \cdot 0,00444 \cdot 2,26 = 114 \text{ Н.}$$

3.2.2 Сила  $F_1$  визначається за формулою:

$$F_1 = \pi \cdot \rho \cdot g [r_2^2 - r_B^2] \cdot \left\{ H_p \frac{\Omega^2 \cdot \omega^2}{2g} \cdot \left[ r_2^2 - \frac{r_2^2 + r_B^2}{2} \right] \right\}; \quad (3.6)$$

$$F_1 = 3,14 \cdot 1150 \cdot 9,81 \cdot (0,064^2 - 0,0125^2) \cdot \left[ 9,8 - \frac{0,452^2 \cdot 298,3^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left( 0,064^2 - \frac{0,064^2 + 0,0125^2}{2} \right) \right] =$$

$$= 1092 \text{ Н.}$$

де  $r_2 = 0,064 \text{ м}$  - зовнішній радіус робочого колеса;

$r_B = 0,0125 \text{ м}$  - радіус вала під ущільненням;

$\rho = 1150 \text{ кг/м}^3$  - щільність рідини;

$\omega = 298,3 \text{ 1/с}$  - кутова швидкість обертання ротора;

$\Omega = 0,452$  - відношення середньої швидкості обертання рідини в пазусі до швидкості обертання ротора.

$H_p = H \cdot \{1 - V(2u) / 2(u_2)\} = 9,8 \text{ м}$  - п'єзометричний напір електронасоса;

При цьому окружна швидкість:  $U_2 = 19,1 \text{ м/с}$ ;

Окружная складова абсолютної швидкості:

$$V_{u_2} = 0,775 \cdot U_2 = 14,8 \text{ м/с}.$$

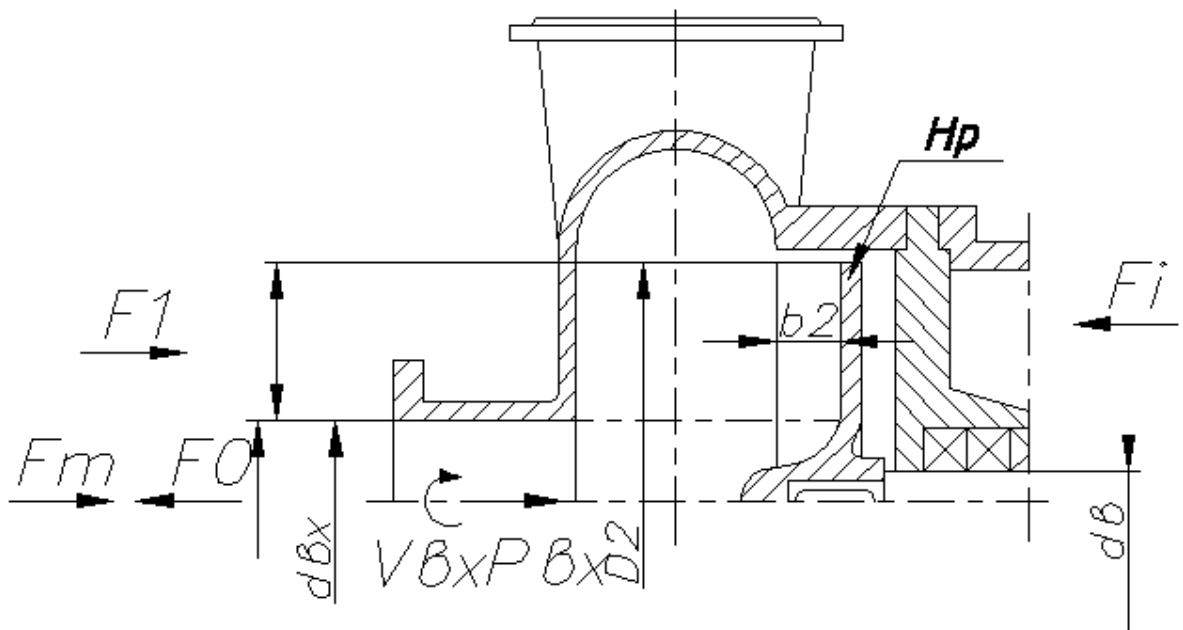


Рисунок 3.2 – Схема дії осьових сил у ВВН

3.2.3 Сила  $F_0$  буде рівна;

$$F_0 = \pi/4 \cdot D_0 \cdot P_0, \quad (3.7)$$

де  $P_0 = 2,5 \text{ кгс/с}^2$  - максимальний тиск в усмокувальному патрубку.

Тоді  $F_0 = 3,14/4 \cdot 0,052 \cdot 2,5 \cdot 105 = 490$  Н.

3.2.4 Силу  $F_1$  визначаємо за формулою

$$F_1 = K \cdot \rho \cdot g \cdot H (D_2^2 - D_0^2), \quad (3.8)$$

де  $K = 0,33 + 0,295 \cdot 10^{-4} \cdot [36 - b_2]^3 - 0,0087 = 0,37$  - коефіцієнт, що залежить від геометричних розмірів електронасоса.

Тоді  $F_1 = 0,37 \cdot 1150 \cdot 9,81 \cdot 16 (0,1282 - 0,052) = 928$  Н.

Результуюча осьова сила, що діє на ротор електронасоса

$$F = 1092 - 928 + 490 - 114 = 540 \text{ Н.}$$

Для зменшення величини осьової сили застосовуємо імпелери.

Зменшення осьової сили від дії лопаток імпелера визначаємо за формулою [7]:

$$T_{\text{л}} = 3/8 \cdot \rho \cdot g (\pi \cdot D_2 u^{2/4} - \pi d_1 u^{2/4}) \cdot (U_2 u^2 - U_1 u^2) / 2g; \quad (3.9)$$

$$T_{\text{л}} = 3/8 \cdot 1150 \cdot 9,81 \cdot (3,14 \cdot 0,128^2 / 4 - 3,14 \cdot 0,06^2 / 4) \cdot (19,1^2 - 9^2 / 2 \cdot 9,81) = 614 \text{ Н,}$$

де  $D_2 u = 0,128$  м - зовнішній діаметр лопаток імпелера;

$d_{1u} = 0,06$  м - внутрішній діаметр лопаток імпелера;

$U_{2u} = 19,1$  м/с - окружна швидкість на виході з лопаток імпелера;

$U_{1u} = 9,0$  м/с - окружна швидкість на вході на лопатки імпелера.

Величина осьового зусилля, сприйманого підшипниками насоса, буде рівна:

$$A = F - T_l = 540 - 614 = 74 \text{ Н.}$$

Отримане значення осьового зусилля значно менше припустимої осьового навантаження (294 Н) для прийнятого двигуна АИР80В2ЖУ2.

### 3.3 Розрахунки гідравлічної радіальної сили

Розрахунок гідравлічної радіальної сили виконуємо за методикою, викладеною в роботі [3].

Радіальна сила, що діє на робоче колесо в кільцевому відводі, визначається за формулою:

$$Rr = Kr \cdot \frac{Q}{Q_{onm}} \cdot \rho g \cdot H \cdot D_2 \cdot b_{20}, \quad (3.10)$$

де  $\rho = 1150$  кг/м<sup>3</sup> - густина рідини;

$D_2 = 0,128$  м - зовнішній діаметр робочого колеса;

$b_{2д} = 0,023$  м - ширина робочого колеса;

$K_r = 0,2$  - коефіцієнт радіальної сили.

Максимальна радіальна сила буде на оптимальній подачі.

Тоді:  $R_r = 0,2 \cdot 1150 \cdot 9,81 \cdot 16 \cdot 0,128 \cdot 0,023 = 106$  Н.

Отримане значення радіального навантаження не перевищує припустиме (118 Н) для обраного двигуна.

У вільновихрових насосах робоче колесо розташоване в ніші (розточенні) корпусу. Виникаюча у відводі цих насосів радіальна сила спрямована у вільну камеру й практично не діє на робоче колесо.

Таким чином, за результатами розрахунків підшипники двигуна, що сприймають осьове й радіальне навантаження насоса, задовольняють необхідним показникам надійності.

## 4 Вибір кінцевого ущільнення вала

### 4.1 Вибір типу ущільнення

Кінцеві ущільнення передбачаються для ущільнення вала насоса в місці виходу його з корпусу й запобігають витокам перекачувальної рідини з насоса.

За умовами роботи моноблочного вільновихрового насоса найбільш доцільне застосування торцевого ущільнення [8].



Рисунок 4.1 – Одинарне торцеве ущільнення

Торцеві ущільнення мають ряд переваг: забезпечують практично повну герметичність, нормально працюють при підвищеній вібрації й не вимагають постійного нагляду.

У конструкції насоса застосоване одинарне торцеве ущільнення (рис. 4.2) [7].

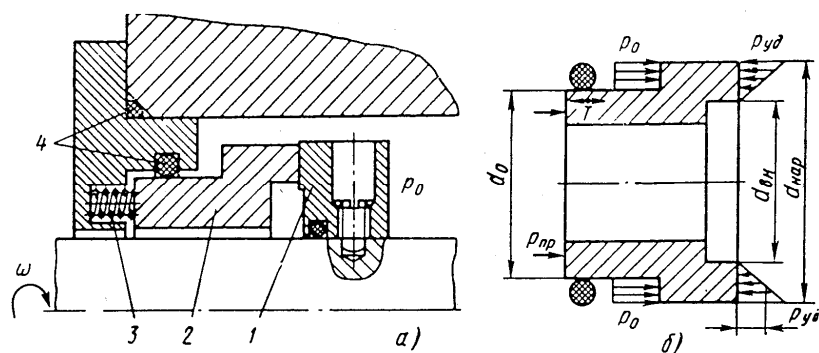


Рисунок 4.1 – Торцеве ущільнення вала насоса



## 4.2 Розрахунки потужності, споживаної в ущільненні

Ущільнення здійснюється по торцевій поверхні між необертовою й обертовою деталями (див. рис. 4.2), які притискаються одна до іншої пружиною.

Втрата потужності в парі тертя визначається за формулою [7]:

$$N_y = 16,16 \cdot 10^6 \cdot v \cdot d_{cp}^2 \cdot f \cdot P_{yD} \cdot n, \text{ кВт} \quad (4.1)$$

де  $v$  – ширина пояса, що ущільнюється, см;  $d_{cp} = \frac{(d_H + d_{вн})}{2}$ ;  $f = 0,05 - 0,15$  – коефіцієнт тертя;  $P_{yD}$  – питомий тиск, кгс/см<sup>2</sup>;  $n$  – частота обертання вала, об/хв.

$$v = 3 \text{ мм}; \quad d_H = 34 \text{ мм}; \quad d_{вн} = 28 \text{ мм}.$$

Значення  $P_{yD}$  можна визначити виходячи з оптимального значення коефіцієнта зрівноважування [7]:  $K = 0,55 - 0,8$ .

Коефіцієнт зрівноважування визначається відношенням

$$K = \frac{P_{yD}}{P_O}, \quad (4.2)$$

де  $P_O$  – тиск, що ущільнюється.

Ухвалюємо  $K = 0,7$ .

$$P_{yD} = K \cdot P_O. \quad (4.3)$$

Уважаємо, що тиск, що ущільнюється,  $P_O$  буде дорівнює тиску  $P_{вх}$  на вході в насос. Ухвалюємо максимальний тиск на вході  $P_{вх} = 2,5 \text{ ат} = 2,5 \text{ кгс/см}^2$ . Тоді тиск, що ущільнюється,  $P_O = 2,5 \text{ кгс/см}^2$ .

$$P_{yD} = 0,7 \cdot 2,5 = 1,75 \text{ кгс/см}^2.$$

$$d_{CP} = \frac{3,4 + 2,8}{2} = 3,1 \text{ см.}$$

Ухвалюємо  $f = 0,05$ .

Потужність тертя

$$N_y = 16,16 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3 \cdot 3,1^2 \cdot 0,05 \cdot 1,75 \cdot 2850 = 0,012 \text{ кВт.}$$

## 5 Розрахунки на вибір двигуна

### Вибір двигуна

Потужність насоса на номінальному режимі при густині рідини  $\rho = 1150 \text{ кг/м}^3$ .

$$N = \frac{\rho g Q H}{1000 \cdot \eta}, \text{ КВт}; \quad (5.1)$$

$$N = \frac{1150 \cdot 9,81 \cdot 16 \cdot 16}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,48} = 1,67 \text{ КВт},$$

$\eta = 0,48$  – ККД насоса.

Потужність електродвигуна

$$N_{\text{эд}} = K \cdot N, \quad (5.2)$$

де  $K = 1,1 - 1,3$  – коефіцієнт, що враховує припустиме граничне відхилення напору

Ухвалюємо  $K = 1,1$ .

$$N_{\text{эд}} = 1,1 \cdot 1,67 = 1,84 \text{ КВт}.$$

Для привода насоса вибираємо електродвигун АИР80В2ЖУ2 з параметрами [9]:

Потужність – 2,2 Квт;

Напруга – 220 / 380 В;

Частота обертання (синхронна) – 3000 об/хв.

## 6 Механічні розрахунки

Механічні розрахунки проводимо з використання літератури [10-11].

### 6.1 Розрахунки вала на статичну міцність

#### 6.1.1 Вихідні дані

Матеріал вала – сталь 40.

Границя текучості матеріалу вала –  $\delta_T=294$  МПа.

Максимальна потужність, споживана насосом -  $N_{max}=1,84$  кВт.

Частота обертання вала –  $n=2850$  об/хв.

#### 6.1.2 Розрахункова схема

Вал насоса перебуває в умовах спільної дії вигину й крутіння. Найнебезпечнішим є перетин А-А (рис. 6.1) під робочим колесом, оскільки в цьому перетині діє максимальний крутний момент і сам перетин ослаблений шпонковим пазом.

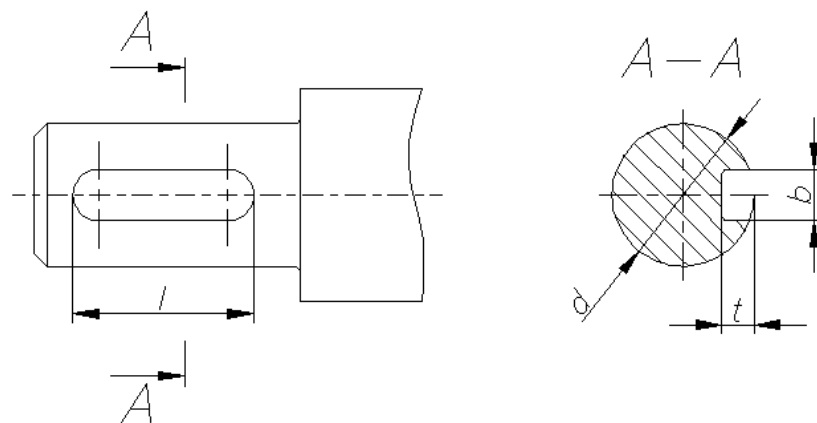


Рисунок 6.1 – Перетин шпонкового паза під колесом

#### 6.1.3 Розрахунки небезпечного переріза на статичну міцність

Крутний момент, переданий валом

$$M_{кр} = 9551 \cdot \frac{N}{n}, \quad (6.1)$$

$$M_{кр} = 9551 \cdot \frac{1,84}{2850} = 6,2 \text{ Нм.}$$

Максимальний згинальний момент приймаємо

$$M_u = 0,1 \cdot M_{кр}; \quad (6.2)$$

$$M_u = 0,1 \cdot 6,2 = 0,62 \text{ Нм.}$$

Моменти опору перетину крутінню й вигину з урахуванням ослабленого перетину шпонковим пазом обчислюють за формулами:

$$W_{кр} = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{bt(d - t_1)^2}{2d}; \quad (6.3)$$

$$W_u = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt(d - t_1)^2}{2d}, \quad (6.4)$$

де  $d$  – діаметр вала в місці установки колеса, м;

$t_1$  – глибина паза вала, м;

$b$  – ширина шпонки, м.

Розміри перетину:  $d=0,019$  м;  $t_1=0,0035$  м;  $b=0,006$  м.

$$W_{кр} = \frac{3,14 \cdot 0,019^3}{16} - \frac{0,006 \cdot 0,0035(0,019 - 0,0035)^2}{2 \cdot 0,019} = 1,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$W_u = \frac{3,14 \cdot 0,019^3}{32} - \frac{0,006 \cdot 0,0035(0,019 - 0,0035)^2}{2 \cdot 0,019} = 0,54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Напряга крутіння й вигину відповідно

$$\tau_{KP} = \frac{M_{KP}}{W_{KP}}, \quad (6.5)$$

$$\tau_{KP} = \frac{6,2}{1,21 \cdot 10^{-6}} = 5,2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 5,2 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II}}{W_{II}}, \quad (6.6)$$

$$\sigma_{II} = \frac{0,62}{0,54 \cdot 10^{-6}} = 1,14 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1,14 \text{ МПа.}$$

Еквівалентна напруга в небезпечному перерізі

$$\sigma_{ЭKB} = \sqrt{\sigma_{II}^2 + 3\tau_{KP}^2}, \quad (6.7)$$

$$\sigma_{ЭKB} = \sqrt{1,14^2 + 3 \cdot 5,2^2} = 9,1 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт запасу по границі текучості

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{ЭKB}}, \quad (6.8)$$

$$n_T = \frac{294}{9,1} = 32.$$

Припустимий запас  $[n]=2,2$ ;

$$n > [n].$$

Умова міцності виконується.

## 6.2 Розрахунки шпонкового з'єднання

Розмір шпонки під робочим колесом, мм.

$$b \times h \times l = 6 \times 6 \times 18.$$

Матеріал шпонки – сталь шпонкова ГОСТ 3360-78.

Границя текучості матеріалу шпонки –  $\sigma_T = 333$  МПа.

Матеріал колеса – сталь 20Х13Л.

Границя текучості матеріалу колеса –  $\sigma_T = 412$  МПа.

Матеріал вала – сталь 40.

Границя текучості матеріалу вала –  $\sigma_T = 294$  МПа.

Крутний момент на валу –  $M_{кр} = 6,4$  Нм.

При розрахунках шпонкового з'єднання вала з колесом визначальним є напруга зминання

$$\sigma_{см} = \frac{2M_{кр}}{d \cdot l_p (h - t_1)}, \quad (6.9)$$

де  $l_p$  – робоча довжина шпонки, м;

$d$  - діаметр вала, м;

$h$  – висота шпонки, м;

$t_1$  - глибина паза вала, м.

Робоча довжина шпонки

$$l_p = l - b, \quad (6.10)$$

$$l_p = 18 - 6 = 12 \text{ мм.}$$

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 6,2}{0,019 \cdot 0,012 \cdot (0,006 - 0,0035)} = 21,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 21,8 \text{ МПа.}$$

напруга, що допускається, змінання обчислюємо для матеріалу, що має найнижчу границю текучості (матеріал вала).

напруга, що допускається, змінання

$$[\sigma_{CM}] = 0,56 \cdot \sigma_T. \quad (6.11)$$

Для матеріалу вала

$$[\sigma_{CM}] = 0,56 \cdot 294 = 164,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{CM} < [\sigma_{CM}].$$

Умова міцності шпонки на змінання виконується.



## **7 Економічна частина**

### **Організація технічного обслуговування й ремонту насоса**

Моноблочні вільновихрові насоси призначені для перекачування побутових і промислових забруднених рідин, хімічних неагресивних мас, фекальних і стічних вод.

Ефективність використання таких насосів багато в чому залежить від правильної їхньої експлуатації, тобто своєчасного проведення запланованих заходів щодо технічного обслуговування й ремонту даного встаткування.

Технічне обслуговування й ремонт включають виконання наступних видів робіт [12]:

- вимір параметрів (вимір тиску на вході в електронасос, на виході з електронасоса, температури рідини, що перекачується);
- правильне розбирання й складання насоса;
- проведення ремонту.

Правильне розбирання насоса включає виконання наступних операцій:

- повністю відключити живлення електроустаткування;
- підготувати повний комплект універсального інструмента;
- розібрати насос у строго певній послідовності;
- очистити й протерти всі деталі, змазати шаром мінерального масла;
- дефектні деталі відремонтувати або замінити на нові;
- складання насоса робити в порядку, зворотному розбиранні.

Особливо необхідно звернути увагу на проведення ремонту.

У період експлуатації насоса проводяться поточні ремонти й ремонти із заміною проточної частини.

Поточний ремонт являє собою мінімальний за обсягом вид ремонту, при якому забезпечується нормальна експлуатація насоса. Поточний

ремонт виконується, як правило, на місці експлуатації при збільшенні витоків через торцеве ущільнення, порушення герметичності стиків, збільшенні вібрації насоса й інших несправностей. Ремонт виконується без повного розбирання насоса з заміною швидкозношуваних деталей запасними.

Для проведення поточного ремонту підприємство-виготовлювач насоса поставляє комплект запасних частин.

До складу запасних частин включені деталі, робочі поверхні яких зазнають у процесі експлуатації перепаду тиску або зношування. При виготовленні запасних частин допускається заміна матеріалу на матеріал іншої марки, що не погіршує якості й надійності деталі.

Найбільш частими для даних насосів є наступні несправності й способи їх усунення (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 - Можливі несправності й способи їх усунення

Найменування несправності		Імовірна причина	Спосіб усунення
1		2	3
1	Припинилася подача рідини, що перекачується	Зміна напрямку обертання ротора	Змінити напрямок обертання ротора
2	Електронасос при пуску не створює напір	Недостатній кавітаційний запас на вході	Забезпечити величину кавітаційного запасу згідно з паспортними даними
3	Зменшення подачі й напору в процесі роботи	Засмічена проточна частина Ушкоджене робоче колесо. Утворення повітряних мішків у підвідному	Очистити проточну частину  Розібрати електронасос і перевірити стан робочого колеса  Вилучити повітря із трубопроводу

		патрубку Несправні контрольно-вимірвальні прилади	Замінити прилади
4	Перевантаження двигуна	Збільшення подачі	Прикрити засувку на напірному трубопроводі
5	Підвищена вібрація насоса	Вібрує трубопровід Дисбаланс робочого колеса більш припустимого Ослабнуло кріплення до фундаменту	Підсилити кріплення трубопроводу Розібрати насос, зробити балансування робочого колеса Підтягти гайки фундаментних болтів
6	Підвищений витік через торцеве ущільнення	Порушення площинності ущільнюючих поверхонь внаслідок абразивного зношування Втрата осьової рухливості обертового кільця пари тертя через забруднення Підвищена вібрація	Замінити ущільнюючі кільця новими Очистити деталі торцевого ущільнення Усунути вібрацію

## 8 Охорона праці

### **Фактори, що впливають на працездатність людини**

*Працездатність* – здатність до трудової діяльності, яка залежить від стану здоров'я людини [13]. Залежно від характеру роботи, яку може виконувати людина, працездатність поділяють на:

- загальну (здатність до виконання роботи в звичайних умовах);
- професійну (здатність до виконання роботи певної професії);
- спеціальну (здатність до виконання робіт у певних виробничих або кліматичних умовах – під землею, у тропіках тощо).

Працездатність визначається здатністю людини виконувати певну роботу протягом заданого часу і залежить від чинників як суб'єктивного, так і об'єктивного характеру (статі, віку, стану здоров'я, рівня кваліфікації, умов, за яких відбувається праця тощо).

Вивчення умов, що впливають на продуктивність праці, показало, що існує багато факторів, які позначаються на продуктивності праці:

- організація робочого місця;
- режим напруження і відпочинку під час роботи;
- забарвлення приміщення та обладнання;
- ставлення до праці.

### *Організація робочого місця*

Це підпорядкована цілям виробництва система заходів щодо їх оснащення засобами і предметами праці, планування, розміщення їх у певному порядку, обслуговування й атестації. Конкретний зміст цих заходів визначається характером і спеціалізацією робочого місця, його видом і значенням у виробничому процесі.

Оснащення робочого місця складається із сукупності засобів праці, необхідних для виконання конкретних трудових функцій, тобто основного технологічного і допоміжного обладнання; організаційного оснащення

(оргтехніка, засоби зв'язку і сигналізації, робочі меблі, тара тощо); технологічного оснащення (робочі та вимірювальні інструменти, запасні частини тощо); робочої документації; засобів комунікації для подачі на робоче місце енергії, інформації, матеріалів, сировини та ін.

#### *Режими напруження і відпочинку під час роботи*

– це встановлювані для кожного виду робіт порядок чергування періодів роботи і відпочинку та їх тривалість. Раціональний режим – таке співвідношення і зміст періодів роботи і відпочинку, при яких висока продуктивність праці сполучається з високою і стійкою працездатністю людини без ознак надмірної втоми протягом тривалого часу. Таке чергування періодів праці та відпочинку дотримується в різні відрізки часу: протягом робочої зміни, доби, тижня, року відповідно до режиму роботи підприємства.

#### *Забарвлення приміщення та обаднання*

Людина живе у світі предметів. Кожний колір викликає у неї цілком конкретні реакції й відчуття. Найбільш сприятливі для нервової системи світлі, пастельні тони – зеленувато-бакитний, ясно - сірий, золотавий. Яскраві, контрастні поєднання (синій і жовтогарячий, червоний і фіолетовий) надають інтер'єру особливого колориту, але водночас викликають стомлення, роздратування.

Вплив кольору на працездатність:

1. У будь-яких офісних приміщеннях освітлення має бути теплим, так як холодне люмінесцентне світло лише дратує робітників і жодним чином, не сприяє підвищенню рівня працездатності.
2. У робочий час оптимальним колірним рішенням оформлення стін є жовто - зелені тони.
3. Кольорові рішення підлогових покриттів повинні бути стандартними, без якої або екзотики, оскільки, наприклад, підлога з ефектом морського

дна буде відволікати співробітників від виконання їх обов'язків.

Психологічний вплив кольору :

1. Світлі тони будь-яких кольорів створюють у людини відчуття легкості, невимушеності, комфорту.
2. Відтінки зеленого, синього сприяють розслабленню і зниженню емоційної напруги.
3. Яскраві кольори, такі як оранжевий, жовтий, червоний викликають бурхливі емоційні реакції, такі як збудження, радість, захоплення.
4. Чорний, темний і відтінки коричневого, сірого, фіолетового надають пригнічуючий вплив на нервову систему людини.

На працездатність людини також впливають особистісні фактори: її настрій, ставлення до праці, стан здоров'я та ін.

Основні фактори виробничого середовища, що впливають на працездатність людини в процесі виробництва (відповідно до рекомендацій МОП) :

- фізичне зусилля (переміщення вантажів певної ваги в робочій зоні, зусилля, пов'язані з утримуванням вантажів, натисненням на предмет праці або важіль управління меха нізмом протягом певного часу). Розрізняють такі види фізичного зусилля: незначне, середнє, сильне і дуже сильне.
- нервові напруження (складність розрахунків, особливі вимоги до якості продукції, складність управління механізмом, апаратом, приладдям, небезпека для життя і здоров'я людей під час виконання робіт, особлива точність виконання). Є такі види напруження: незначне, середнє, підвищене.
- робоче положення (положення тіла людини і його органів відносно засобів виробництва). Розрізняють робоче положення обмежене, незручне, незручно - стиснене і дуже незручне.

– монотонність роботи (багаторазове повторення одноманітних, короткочасних операцій, дій, циклів). Монотонність може бути незначна, середня, підвищена.

– температура, вологість, теплове випромінювання в робочій зоні (градуси за Цельсієм, відсоток вологості, калорії на 1см<sup>2</sup> за хвилину). Стадії впливу зазначених факторів поділяються на: незначні, підвищені або знижені, середні, високі, дуже високі.

– забруднення повітря (вміст домішок в 1м<sup>3</sup> або літрі повітря і їх вплив на організм людини). Ступінь забруднення повітря може бути незначний, середній, підвищений, сильний, дуже сильний.

– виробничий шум (частота шуму в герцах, сила шуму в децибелах).

Розрізняють помірний, підвищений і сильний шум.

– вібрація, обертання, по штовхи (амплітуда на хвилину, градуси і кількість обертів або поштовхів за хвилину). Є такі рівні значень указаних факторів:

підвищені, сильні, дуже сильні.

– освітленість у робочій зоні (в люксах). Освітленість може бути нормальна, недостатня або осліплююча.

Відомо, що на працездатність, продуктивність праці, на життєдіяльність у цілому впливає відпочинок.

Відпочинок може бути двох типів

– активний і пасивний.

Активний відпочинок –це, наприклад, заняття спортом, туристичні поїздки, походи в ліс, подорожі, плавання в басейні тощо. Саме активний відпочинок сприяє підвищенню працездатності, покращанню психічного стану особистості, настрою.

Пасивний відпочинок –сидячи, лежачи, читання книг тощо. Особливим, але і обов'язковим видом такого відпочинку є сон.

На працездатність людини впливають і пори року. Наприклад, зниження працездатності відчувається весною, особливо у працівників з нервово-моцїйним перенапруженням.

Отже, психофізіологічні фактори небезпек безпосередньо впливають на людину – на фізичні та фізіологічні процеси, працездатність, настрій, продуктивність праці і її життєдіяльність у цілому.



## Висновки

У бакалаврській роботі розроблено вільновихровий моноблочний насос для перекачування забруднених рідин на параметри: подача  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 16 \text{ м}$ .

Обґрунтовано вибір моноблочної конструкції насоса вільновихрового типу.

Наведено опис конструкції.

Виконані гідравлічні розрахунки: проточної частини насоса і гідравлічних сил, що діють на ротор насоса.

Обрані кінцеве ущільнення й тип двигуна.

Визначена працездатність складальних одиниць і деталей насоса: вала, шпонкового з'єднання.

У розділі економіки розглянута організація технічного обслуговування й ремонту насоса.

У розділі охорони праці наведені фактори, що впливають на працездатність людини.

Обсяг креслень – 4 аркуші ф. А1.

## Список літератури

1. Консольні моноблочні насоси [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://gidromashina.ru/articles/konsolnyie-monoblochnyie-nasosyi.html>.
2. Каталог промислових насосів [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.prom-nasos.com.ua/ukr/catalog/SM/>.
3. 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.
4. Насоси типу КМ [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://electronpo.ru/nasosi-km>.
5. Незабиваючіся горизонтальні одноступенчаті центробежні насоси типу FB [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sulzer.com/ru/Products-and-Services/Pumps-and-Systems/Single-Stage-Pumps/ISO5199-Pumps/Other-ISO5199-Pumps/Process-Pump-FB#tabs-1>
6. Анализ осевого напора, действующего на ротор насоса свободного течения. Перевод статьи Grychowski I, Gontarczuk Z. из журнала Zeszyty naukowe politechnika staska, 1978, № 532.
7. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. – М. : Машиностроение, 1977. – 288 с.
8. Торцеве ущільнення [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.nektonnasos.ru/articles/torcevor\\_uplotnenie/torcevor\\_uplotnie.php](http://www.nektonnasos.ru/articles/torcevor_uplotnenie/torcevor_uplotnie.php).

9. Электродвигатели АИР [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [https://armavent.ru/elektrodivigateli\\_obschepromyshlenny](https://armavent.ru/elektrodivigateli_obschepromyshlenny).
10. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учебное пособие для машиностроительных вузов. – М.: Высшая школа, 1985.
11. Биргер И.А., Шор Б.Ф. Расчет на прочность деталей машин. 3 издание. – М.: Машиностроение, 1979.
12. Монтаж, експлуатація та ремонт гідромашин і гідропневмоприводів : навчальний посібник / В. О. Панченко, О. Г. Гусак, А. А. Папченко, С. О. Хованський. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 152 с.
13. Абракітов В. Е. Конспект лекцій з дисципліни «Ергономіка робочих місць» (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної формнавчання спеціальності 263–Цивільна безпека) / В.Е. Абракітов, І. О. Ткаченко; Харків. нац. ун-т міськ.госп-ва ім. О. М. Бекетова.– Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. –78 с.
14. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: В. Ф. Герман, О. Г. Гусак, В. О. Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 32 с.