

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему:

**Розробка рідинно-кільцевого насоса на параметри:  $P=0,036$  МПа,  $n=$**

**$1500$  об/хв.,  $Q=0,055 \frac{м^3}{с}$ .**

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(освітня програма «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідро пневмоавтоматика»)

Виконавець роботи Сукрут Станіслав Віталійович

---

*підпис, дата*

Науковий керівник

---

*науковий ступінь, учене звання*

Ігнат'єв Олександр Савич *прізвище, ім'я, по-батькові*

---

*підпис, дата*

Суми 2021

## Реферат

Пояснювальна записка: 47 с., 8 рисунків, 3 таблиця, 8 літературних джерел.

Тема бакалаврської роботи: Розробка рідинно-кільцевого насоса на параметри:  $P=0,036$  МПа,  $n=1500$  об/хв.,  $Q=0,055 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ .

Графічні матеріали: складальне креслення насосу (А2×3), складальне креслення робочого колеса (А3×3), ротору (А1), кришка передня(А2×3), кришка задня (А2×4).

Мета роботи : перевірка працездатності насосу

Відповідно до поставленої мети:

- наведено опис конструкції;
- виконано проектувальний розрахунок насосу;
- підібрано двигун насоса;

В економічній частині розглянута спеціалізація підприємств, цехів, виробничих дільниць. У розділі охорони праці розглянуте питання нормування і розрахунок природного і штучного освітлення.

Ключові слова: вакуумний рідинно-кільцевий насос, робоче колесо, ротор, кришка, ізотермічна потужність.

Зміст	
Реферат.....	3
Перелік умовних позначень та скорочень .....	4
Вступ .....	5
1. Конструкція та принцип дії .....	7
2. Проектувальний розрахунок насосу ВВН-А-3/0,4Н.....	11
2.2 Визначення теоретичної швидкості дії.....	14
2.3 Визначення коефіцієнту відносної втрати швидкості дії .....	16
2.4 Визначення температури повітря на нагнітанні .....	18
2.5 Визначення питомої витрати рідини ущільнюючої торцевий зазор .....	19
2.6 Визначення розрахункового коефіцієнту відкачки.....	23
2.7 Визначення втрат потужності в безлопатевому просторі рідинного кільця .....	26
2.8 Визначення теоретичного напору створюваного робочим колесом.....	28
2.9 Визначенню коефіцієнту швидкохідності.....	28
2.10 Визначення питомої потужності .....	29
3. Вибір електродвигуна .....	31
4. Гідравлічні випробування насоса ВВН.....	33
5. Охорона праці. ....	35
5.1 Природне освітлення .....	35
5.2 Штучне освітлення.....	37
6.Економічна частина.....	42
Спеціалізація підприємств, цехів, виробничих дільниць. ....	42
Висновок.....	46
Список літератури .....	47

131.09ВР.000.00 ПЗ

<i>Зм</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Сукрут				Зміст	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	Ігнат'єв						3	64
<i>Н. контр.</i>	Алексєєнко					СумДУ ГМ-71		
<i>Затв.</i>								

## Перелік умовних позначень та скорочень

H - напір, м;

S - швидкість дії, м<sup>3</sup>/с;

n - показник політропи;

p - тиск всмоктування Па;

p<sub>H</sub> - тиск нагнітання Па;

T - температура всмоктування К;

T<sub>H</sub> - температура нагнітання;

N - потужність, Вт;

X - коефіцієнт відкачки;

a - відносний мертвий об'єм, м;

ш - кутова швидкість обертання, с<sup>-1</sup>;

p - густина, кг/м<sup>3</sup>;

P<sub>2</sub> - кут нахилу лопатки робочого колеса, градус;

z - кількість лопатей;

## Скорочення

ВВН - водо кільцевий вакуумний насос;

ККД - коефіцієнт корисної дії;

ПУЕ - правила улаштування електроустановок;

НС - надзвичайна ситуація

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

На даний момент вакуумну техніку широко використовують в різних галузях, наприклад: електротехнічній, радіотехнічній, хімічній, металургійної, медицини та ін. для досягнення технологічних процесів, а також для криогенних установок.

Основним елементом будь-якої вакуумної установки – є механічний вакуумний насос. За числом робочих циклів дані насоси поділяють на насоси простого та подвійної дії. З типом підводу та відводу розрізняють на насоси з осьовим та радіальним підводом та відводом газу. Насоси ВВН можуть відкачувати гази, насичені парами, забруднені середовища, і при цьому очищати їх. Проте склад повинен бути неагресивним, адже чавунні деталі насоса можуть пошкодитись в результаті реакції з хімічними складовими газу. Саме тому існують моделі даних насосів в яких деталі виготовлені з титанового сплаву або сплаву на основі нікелю. Вони можуть відкачувати суміш будь-якого складу, не боячись виникнення пошкоджень.

Коли вхідний газ з рідинним кільцем контактує, виникає конденсація, яка дозволяє значно підвищити продуктивність насоса. При підвищенні швидкохідності насоса значну роль відіграє підвищення коефіцієнта відкачки, який в свою чергу безпосередньо пов'язаний з показником політропи, від значення якого залежать основні параметри та характеристики насосного агрегату.

Тому, метою дослідження є виявлення особливостей робочого процесу рідинно-кільцевого вакуумного насоса.

Задачі, які поставлені:

- вивчення та аналіз конструкції насосного агрегату ВВН-А-3/0,4Н;
- провести розрахунок насосного агрегату ВВН-А-3/0,4Н;
- визначення оптимального значення показника політропи для насосного агрегату ВВН-А-3/0,4Н.

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для вирішення поставлених завдань буде використовуватися розрахунково-аналітичний метод, а також аналіз отриманих результатів аналітичного розрахунку та експериментальних даних.

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. Конструкція та принцип дії

Рідинно-кільцеві вакуумні насоси (РКВН) застосовуються в різних галузях, наприклад: хімічна, текстильна, харчова, металургійна та ін. Дані насоси відрізняються від інших можливістю відкачувати забруднені гази, очищувати та перекачувати їх в трубопровід або резервуар

Умовне позначення розшифровується таким чином: В-водо кільцевий; РК – рідинно – кільцевий; В – вакуумний; Н – насос; цифри після букв перед тире позначають виконання насоса, яке визначає абсолютний тиск всмоктування при номінальній швидкості дії; 1 – для тиску всмоктування 0,04 МПа; 2 – для тиску всмоктування 0,02 МПа; цифри після тире визначають швидкість дії насоса мВ м<sup>3</sup>/хв., букви після цифр – матеріал деталей проточної частини.

Показники насоса повинні відповідати показникам, які вказані нижче:

### Технічна характеристика насосу

Продуктивність приведена до початкових

умов всмоктування, м<sup>3</sup>/с (м<sup>3</sup>/с) 0,055

Тиск на вході мінімальний,

Мпа (кгс/см) 0,036

Температура води, що подається,

К (°С), не більше 278-318 (5-45)

Температура газу (початкова),

К (°С), не більше 293-368 (20-95)

Двигун: АИР132М4

Потужність, кВт 11

Напруга, В 380

Частота обертів, об/хв. 1500

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насос ВВН складається з електричного двигуна, ротора і колеса з осередками. Також він має два отвори – один для входу, другий для виходу робочого середовища. Агрегат не має механічних передач, багато рухомих частин і схожих деталей. (рис 1)

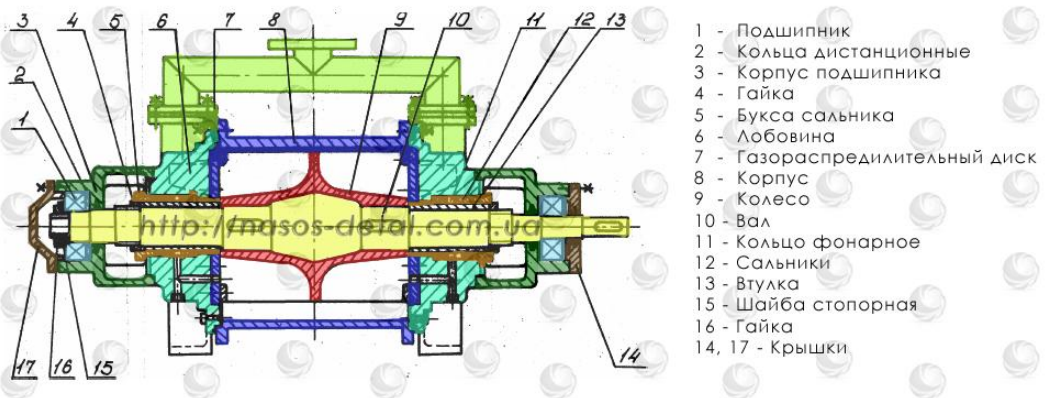


Рисунок 1 – Конструкція насоса ВВН

Принцип дії водо-кільцевого вакуумного (ВВН) насосу заснований на створенні герметичності робочого об'єму за допомогою рідини, а саме води. Всередині корпусу даного насоса знаходиться ротор, який зміщений вгору відносно центру. На роторі розміщене робоче колесо з лопатями, що обертаються під час роботи. Всередину корпусу закачується вода. Під час роботи насоса, робоче колесо захоплює рідину і відкидає її в сторону корпусу відцентровою силою. Через те, що швидкість обертання велика, всередині насоса утворюється водяне кільце. За рахунок чого всередині корпусу утворюється вільний простір, який і буде слугувати робочою камерою. Герметичність даної камери забезпечує навколишнє водяне кільце, саме тому дані насоси називаються водо-кільцевими вакуумними насосами.

									Лист
									8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	131.09ВР.000.00 ПЗ				



## Схема работы насоса ВВН



Рисунок 2 – схема работы насоса ВВН

Робочу камеру лопаті колеса поділяють на осередки, які не є рівними за об'ємом, тому камера утворюється серпоподібної форми. Під час руху газ переміщається по черзі по всіх осередків, прямуючи в сторону зменшення обсягу і одночасно стискаючись. Так відбувається постійно, тому з часом газ стискається до необхідної величини і виходить через нагнітальний отвір. Коли газ проходить через робочу камеру, він очищається і виходить назовні вже чистим.

В конструкції вакуумної системи даного насосу передбачено резервуар для води, так як під час роботи насосу, невелика кількість води втрачається, але саме через резервуар, рідина, яка втрачається потім повертається назад в робочу камеру.

Насоси ВВН можуть відкачувати гази, насичені парами, забруднені середовища, і при цьому очищати їх. Але склад повинен бути неагресивним, щоб чавунні деталі насоса не пошкодилися в результаті реакції з хімічними складовими газу. Тому існують моделі насосів ВВН, деталі яких виготовлені з титанового сплаву або сплаву на основі нікелю. Вони можуть відкачувати

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суміш будь-якого складу, не боячись виникнення пошкоджень. Насос ВВН, в силу свого принципу роботи, виконується тільки в горизонтальному виконанні, а газ надходить в камеру зверху по осі.

Насоси цього типу практично не потребують технічного обслуговування, так як деталі не труться одна об одну, що збільшує їх експлуатація, але винятком є лише підшипники ротора.

#### Висновок:

В даному пункті пояснювальної записки, детально розглянута конструкція насоса ВВН, який складається з електричного двигуна, ротора і колеса з осередками. Через свою просту конструкцію, даний тип насосів є дуже простими у експлуатації та ремонті, так як деталі насосу не швидко зношуються. Також розглянутий принцип дії проектованого насоса. Він заснований на створенні герметичності робочого об'єму за допомогою рідини, а саме води

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Проектувальний розрахунок насосу ВВН-А-3/0,4Н

Вихідні дані для розрахунку:

При проектуванні насоса задаються його основні параметри:

швидкість дії:  $S=0.055$  (м<sup>3</sup>/с);

робоча рідина: вода;

густина робочої рідини:  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;

тиск всмоктування:  $p = 0.036$  МПа;

тиск нагнітання:  $p = 0.101325$  МПа;

температура повітря на всмоктуванні:  $T = 293$  К;

частота обертання:  $n=1500$  об/хв;

коефіцієнт відкачки:  $\lambda=0,8$ ;

коефіцієнт враховуючий вплив товщини лопаток:  $\psi=0,75$ ;

відносна ширина колеса:  $\chi=2$ ;

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.1 Визначення основних геометричних параметрів

Розрахуємо геометричний об'єм:

$$S_2 = \frac{S}{\lambda}$$

$$S_r = \frac{0,055}{0,8} = 0,069 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Розрахунковий зовнішній радіус колеса:

$$r_2 = \sqrt{\frac{S_r}{[\psi \cdot u_2 \cdot \chi \cdot (1 - v^2)]}}$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{0,069}{[0,75 \cdot 8 \cdot 2 \cdot (1 - 0,4^2)]}} = 0,083 \text{ м}$$

де

$$v = \frac{d_{\text{вТ}}}{d_{\text{к}}}$$

$$v = \frac{80}{200} = 0,4$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{p_H - p}{\rho}}$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{101325 - 36000}{1000}} = 8$$

Ізотермічна потужність:

$$N_{\text{із}} = p \cdot S_r \cdot \ln\left(\frac{p_H}{p}\right)$$

$$N_{\text{із}} = 36000 \cdot 0,069 \cdot \ln\left(\frac{101325}{36000}\right) = 2,57 \text{ кВт}$$

Приймаємо ізотермічний ККД,  $\eta_{\text{із}}=0,35$ ;

Ефективна потужність на валу насосу:

$$N_e = \frac{N_{\text{із}}}{\eta_{\text{із}}}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_e = \frac{2,57}{0,35} = 7,34 \text{ кВт}$$

Розрахунковий середній радіус ступиці колеса:

$$r_1 = v \cdot r_2$$

$$r_1 = 0,4 \cdot 0,083 = 0,033 \text{ м}$$

Відношення середнього радіуса ступиці колеса до зовнішнього радіусу колеса:

$$V = \frac{r_1}{r_2}$$

$$V = \frac{0,033}{0,083} = 0,398$$

Колова швидкість на периферії колеса:

$$u_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot \frac{n}{60}$$

$$u_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,083 \cdot \frac{1500}{60} = 13,03 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерій Ейлера:

$$Eu = \frac{(p_H - p)}{(\rho_p \cdot u_2^2)}$$

$$Eu = \frac{(101325 - 36000)}{(1000 \cdot 13,03^2)} = 0,385$$

Відношення тиску нагнітання до тиску всмоктування:

$$\tau = \frac{p_H}{p}$$

$$\tau = \frac{101325}{36000} = 2,82$$

Знайдемо коефіцієнт  $k_2$ :

$$k_2 = \frac{(1 - v^2 + \frac{\delta \cdot \xi}{\psi}) \cdot \psi}{2 \cdot \xi \cdot (2 \cdot \varepsilon + \delta)} \cdot \{[(8,3696 - 0,465ctg\beta_2) \cdot \varepsilon - 0,4851] - 3,59 \cdot \mu_p\}$$

де  $\delta=0,0125$  – відносний зазор;

$\xi=1,04$  – довжини колеса до довжини корпусу;

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\beta_2=150^0$  – кут нахилу лопатки;

$k_1=0.89$  – коефіцієнт залежності критерію  $E_u$  від  $\tau$ .

$$k_2 = \frac{(1 - 0,4^2 + \frac{0,0125 \cdot 1,04}{0,75}) \cdot 0,75}{2 \cdot 1,04 \cdot (2 \cdot 0,15 + 0,0125)} \cdot \{[(8,3696 - 0,465 \cdot \text{ctg}150) \cdot 0,15 - 0,4851] - 3,59 \cdot 1,004 \cdot 10^{-3}\}$$
$$= 0,84$$

Розрахуємо радіус  $r_{22}$ :

$$r_{22} = r_2 \cdot \sqrt{\frac{v^2}{k_1^2} + \frac{4 \cdot \xi \cdot \varepsilon \cdot k_2}{\psi} + \frac{2\xi\delta(k_2 - 0,5)}{\psi}}$$
$$r_{22} = 0,083 \cdot \sqrt{\frac{0,4^2}{0,89^2} + \frac{4 \cdot 1,04 \cdot 0,15 \cdot 0,84}{0,75} + \frac{2 \cdot 1,04 \cdot 0,0125(0,84 - 0,5)}{0,75}}$$
$$= 0,0793 \text{ м}$$

## 2.2 Визначення теоретичної швидкості дії

Глибина занурення лопатки в рідинне кільце:

$$a = r_2 - r_{22}$$

$$a = 0,083 - 0,0793 = 0,004 \text{ м}$$

Знайдемо ексцентриситет:

$$e = \varepsilon \cdot r_2$$

$$e = 0,15 \cdot 0,083 = 0,0125$$

Розрахуємо найменший зазор між колесом та корпусом:

$$\Delta = \delta \cdot r_2$$

$$\Delta = 0,0125 \cdot 0,083 = 0,00098 \text{ м}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Знаходимо внутрішній радіус корпусу за формулою:

$$R = \frac{2 \cdot r_2 + \Delta + 2 \cdot e}{2}$$
$$R = \frac{2 \cdot 0,083 + 0,00098 + 2 \cdot 0,0125}{2} = 0,096 \text{ м}$$

Округляємо значення ексцентриситету  $e=0,013$ .

Відносний ексцентриситет:

$$\varepsilon = \frac{e}{r_2}$$
$$\varepsilon = \frac{0,013}{0,083} = 0,1566$$

Розраховуємо радіус  $r_{22}$ :

$$r_{22} = r_2 \cdot \sqrt{\frac{v^2}{k_1^2} + \frac{4 \cdot \xi \cdot \varepsilon \cdot k_2}{\psi} + \frac{2\xi\delta(k_2 - 0,5)}{\psi}}$$
$$r_{22} = 0,083 \cdot \sqrt{\frac{0,4^2}{0,89^2} + \frac{4 \cdot 1,04 \cdot 0,1566 \cdot 0,84}{0,75} + \frac{2 \cdot 1,04 \cdot 0,0125(0,84 - 0,5)}{0,75}}$$
$$= 0,0806 \text{ м}$$

Глибина занурення лопатки в рідинне кільце:

$$a = r_2 - r_{22}$$
$$a = 0,083 - 0,0806 = 0,024 \text{ м}$$

Теоретична швидкість дії:

$$S_T = \pi \cdot (r_{22}^2 - r_1^2) \cdot b_0 \cdot \psi \cdot n$$

де  $b_0 = 0,172$  – ширина колеса.

$$S_T = 3,14 \cdot (0,0806^2 - 0,033^2) \cdot 0,172 \cdot 0,75 \cdot \frac{1500}{60} = 0,055$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

### 2.3 Визначення коефіцієнту відносної втрати швидкості дії

Внутрішній радіус рідинного кільця в перетині I-I:

$$(r_1 + d) = \frac{r_1}{k}$$
$$(r_1 + d) = \frac{0,033}{0,89} = 0,037 \text{ м}$$

Радіус внутрішньої поверхні рідинного кільця:

$$r_0 = 0,5 \cdot [r_{22} + (r_1 + d)]$$
$$r_0 = 0,5 \cdot [0,0806 + 0,037] = 0,059 \text{ м}$$

Ексцентриситет внутрішньої поверхні рідинного кільця:

$$e' = 0,5 \cdot [r_{22} - (r_1 + d)]$$
$$e' = 0,5 \cdot [0,0806 - 0,037] = 0,0218 \text{ м}$$

Кут між лопатками:

$$\beta = \frac{2 \cdot \pi}{z}$$
$$\beta = \frac{2 \cdot 3,14}{16} = 22,5^\circ$$

$z=16$ .- кількість лопаток колеса;

Знайдемо радіус  $\rho'$ :

$$\rho' = -e' \cos(\varphi_2 - \beta) + \sqrt{r_0^2 - (e')^2}$$

$\varphi_2=22,5^\circ$ ;

$$\rho' = -0,0218 \cdot 1 + \sqrt{0,059^2 - (0,0218)^2} = 0,033 \text{ м}$$

Знайдемо радіус  $\rho''$ :

$$\rho'' = -e' \cos \varphi_2 + \sqrt{r_0^2 - (e')^2 \sin^2 \varphi_2}$$

$$\rho'' = -0,0218 \cdot 0,9239 + \sqrt{0,059^2 - (0,0218)^2 \cdot 0,146} = 0,038 \text{ м}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Розрахуємо кут  $\angle B'O''O$ :

$$\angle B'O''O = \arccos \frac{(e')^2 + r_0^2 - (\rho'')^2}{2 \cdot e' \cdot r_0}$$

$$\angle B'O''O = \arccos \left[ \frac{(0,0218)^2 + 0,059^2 - (0,038^2)}{2 \cdot 0,0218 \cdot 0,059} \right] = 12,4^\circ$$

Розрахуємо кут  $\angle BO''O$ :

$$\angle BO''O = \arccos \frac{(e')^2 + r_0^2 - (\rho')^2}{2 \cdot e' \cdot r_0}$$

$$\angle BO''O = \arccos \left[ \frac{(0,0218)^2 + 0,059^2 - (0,033^2)}{2 \cdot 0,0218 \cdot 0,059} \right] = 83,4^\circ$$

Розрахуємо кут  $\gamma$ :

$$\gamma = \angle B'O''O - \angle BO''O$$

$$\gamma = (720 + 12,4) - (360 + 83,4) = 289^\circ$$

Параметр  $m$ :

$$m = 0,5(e' + r_0 + \rho')$$

$$m = 0,5(0,0218 + 0,059 + 0,033) = 0,0569 \text{ м}$$

Параметр  $c$ :

$$c = 0,5(e' + r_0 + \rho'')$$

$$c = 0,5(0,0218 + 0,059 + 0,038) = 0,0594 \text{ м}$$

Площа закритого об'єму, що переноситься з нагнітання на всмоктування:

$$f_{з.о.} = \frac{\pi r_0^2 \gamma}{360} + \sqrt{m(m - e')(m - r_0)(m - \rho')} - \frac{\pi r_1^2 \beta}{360}$$

$$- \sqrt{c(c - e')(c - r_0)(c - \rho'')}$$

$$f_{з.о.} = \frac{3,14 \cdot 0,059^2 \cdot 71}{360} +$$

$$+ \sqrt{0,0569 \cdot (0,0569 - 0,0218)(0,0569 - 0,059)(0,0569 - 0,033)} -$$

$$\frac{3,14 \cdot 0,033^2 \cdot 22,5}{360} -$$

$$- \sqrt{0,0594 \cdot (0,0594 - 0,0218)(0,0594 - 0,059)(0,0594 - 0,038)} =$$

										Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	131.09BP.000.00 ПЗ					17

$$= 0,0014871 \text{ м}^2$$

Витрата газу закритого об'єму, що переноситься з нагнітання на всмоктування:

$$S_{3.0.} = f_{3.0.} \cdot b_0 \cdot z$$

$$S_{3.0.} = 0,0014871 \cdot 0,172 \cdot 16 = 0,00409 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Коефіцієнт відносної втрати швидкості дії:

$$\lambda'_0 = \frac{S_{3.0.} \cdot \rho_{\text{н}}}{S_{\text{т}} \cdot \rho}$$

де  $\rho = 0,238 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \text{с}}$  – стискання;

$\rho_{\text{н}} = 1,205 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – густина повітря при умовах нагнітання.

$$\lambda'_0 = \frac{0,00409 \cdot 1,205}{0,055 \cdot 0,238} = 0,0377$$

## 2.4 Визначення температури повітря на нагнітанні

Зовнішній радіус торцевого зазору:

$$r_{\text{н}} = r_1 = 0,033 \text{ м}$$

Довжина еквівалентного зазору:

$$l = 2(r_{\text{н}} - r_{\text{вн}})$$

$r_{\text{вн}} = 0,02, \text{ м}$  - внутрішній радіус торцевого зазору (радіус валу під колесом).

$$l = 2(0,033 - 0,02) = 0,026 \text{ м}$$

Кут  $\alpha$ :

$$\alpha = \arcsin \frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{н}}}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{0,02}{0,033} = 37,3^\circ$$

Ширина еквівалентного зазору:

$$b = \frac{r_{\text{н}}^2 \left( \left( \frac{\pi}{2} \right) - \sin \alpha \right) - r_{\text{н}} \cdot r_{\text{вн}} \cdot \cos \alpha}{r_{\text{н}} - r_{\text{вн}}}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$b = \frac{0,033^2 \left( \left( \frac{3,14}{2} \right) - \sin 37,3 \right) - 0,033 \cdot 0,02 \cdot \cos 37,3}{0,033 - 0,02} = 0,0403 \text{ м}$$

Температура рідинного кільця:

$$t_{\text{рк}} = \frac{0,9N_e - m_p \cdot c_p \cdot t_{p.\text{вх}}}{m_p \cdot c_p}$$

де  $t_{p.\text{вх}} = 15^\circ\text{C}$  – температура робочої рідини на вході;

$c_p = 4,19, \frac{\text{кВт}}{\text{C}\cdot\text{с}}$  – теплоємність робочої рідини;

$m_p = 0,133, \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  – витрата робочої рідини.

$$t_{\text{рк}} = \frac{0,9 \cdot 7,34 + 0,133 \cdot 4,19 \cdot 15}{0,133 \cdot 4,19} = 26,87^\circ$$

Температура повітря на нагнітанні:

$$T_H = 273 + t_{\text{рк}}$$

$$T_H = 273 + 26,87 = 299,87\text{K}$$

## 2.5 Визначення питомої витрати рідини ущільнюючої торцевої зазор

Питомий об'єм повітря при умовах перед торцевою щілиною (умови нагнітання):

$$V'_H = \frac{R \cdot T_H}{p_H}$$

де  $K=287, \text{Ним}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  - універсальна газова стала для повітря;

$$V'_H = \frac{287 \cdot 299,87}{101,325} = 0,849 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Питома критична витрата газу через щілину:

$$q_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \cdot \frac{p_H^2}{R \cdot T_H}}$$

де  $k=1,4 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ , -стала Больцмана для повітря;

$$q_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{1,4}{1,4+1} \cdot \left( \frac{2}{1,4+1} \right)^{\frac{2}{1,4-1}} \cdot \frac{101325^2}{287 \cdot 299,87}} = 167,23 \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Критерій Рейнольдса для критичної витрати:

$$Re_* = \frac{q_{кр} \delta}{\mu}$$

де  $\mu = 1,9 \cdot 10^{-6}$ , Па·с - в'язкість повітря при умовах нагнітання;

$\delta = 0,2 \cdot 10^{-3}$  – еквівалентний зазор;

$$Re_* = \frac{167,23 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}{1,9 \cdot 10^{-6}} = 17603,16$$

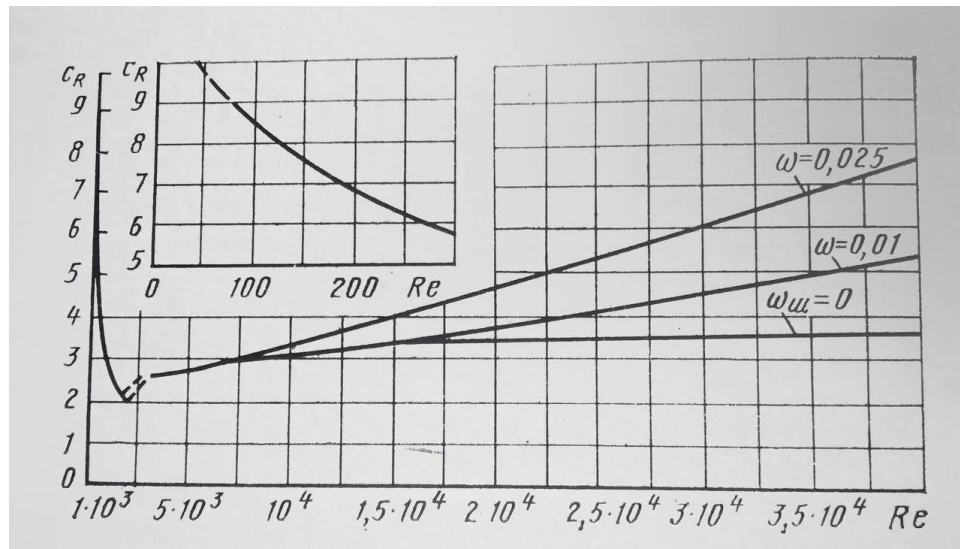


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта  $c_R$  опору від критерія Рейнольдса для різних значень відносної шорсткості  $\omega$  стінок зазорів

Приймаємо коефіцієнт опору  $c_R = 3,5$

Параметр опору при критичній витраті:

$$s_* = \frac{b \cdot c_R}{\delta \cdot \sqrt{Re_*}}$$

$$s_* = \frac{0,04 \cdot 3,5}{0,2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{17603,16}} = 5,276$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

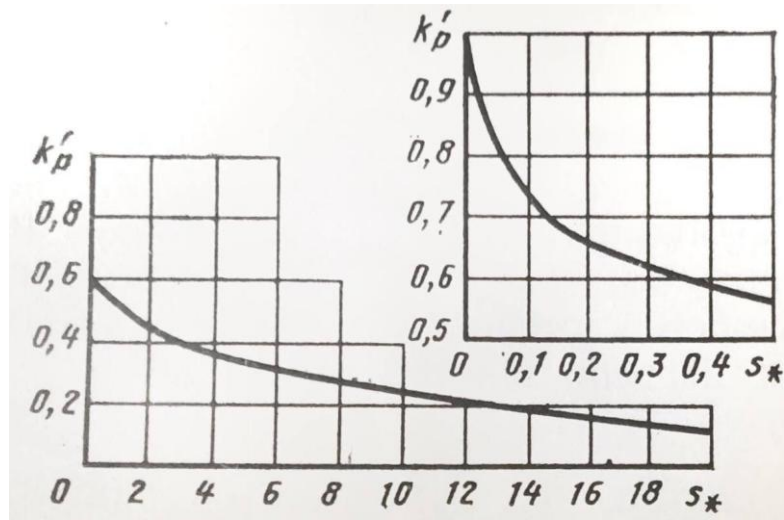


Рисунок 4— Залежність коефіцієнта  $k'_B$  витрат від параметра опору

Приймаємо коефіцієнт витрати  $k'_B = 0,38$

Питома витрата газу в першому наближенні:

$$q = k'_B \sqrt{\frac{p_H^2 - p^2}{R \cdot T_H}}$$

$$q = 0,38 \sqrt{\frac{101325^2 - 36000^2}{287 \cdot 299,87}} = 122,685 \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

Критерій Рейнольдса в першому наближенні:

$$Re = \frac{q \cdot \delta}{\mu}$$

$$Re = \frac{122,685 \cdot 0,0002}{1,9 \cdot 10^{-6}} = 12914,2$$

Приймаємо коефіцієнт опору в першому наближенні  $c_R = 3,15$

Знаходимо параметр опору в першому наближенні:

$$s = \frac{b \cdot c_R}{\delta \cdot \sqrt{Re}}$$

$$s = \frac{0,04 \cdot 3,15}{0,0002 \cdot \sqrt{12914,2}} = 5,54$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Приймаємо коефіцієнт витрати в першому наближенні  $k_B=0,35$ ;

Питома витрата газу в другому наближенні:

$$q = k_B \sqrt{\frac{p_H^2 - p^2}{R \cdot T_H}}$$
$$q = 0,35 \sqrt{\frac{101325^2 - 36000^2}{287 \cdot 299,87}} = 113 \frac{\text{КГ}}{\text{С} \cdot \text{М}^2}$$

Критерій Рейнольдса в другому наближенні:

$$Re = \frac{q \cdot \delta}{\mu}$$
$$Re = \frac{113 \cdot 0,0002}{1,9 \cdot 10^{-6}} = 11894,74$$

Приймаємо коефіцієнт опору в другому наближенні  $c_R = 3,05$

Параметр опору в другому наближенні:

$$s = \frac{b \cdot c_R}{\delta \cdot \sqrt{Re}}$$
$$s = \frac{0,04 \cdot 3,05}{0,0002 \cdot \sqrt{11894,74}} = 5,6$$

Приймаємо коефіцієнт витрати в другому наближенні  $k_B=0,3$ ;

Питома витрата газу в третьому наближенні:

$$q = k_B \sqrt{\frac{p_H^2 - p^2}{R \cdot T_H}}$$
$$q = 0,3 \sqrt{\frac{101325^2 - 36000^2}{287 \cdot 299,87}} = 96,86 \frac{\text{КГ}}{\text{С} \cdot \text{М}^2}$$

Витрата повітря через сухий торцевий зазор:

$$m_{\Pi} = 2ql\delta$$
$$m_{\Pi} = 2 \cdot 96,86 \cdot 0,026 \cdot 0,0002 = 1,007 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{С}}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питома витрата води для ущільнення торцевого зазору:

$$q_p = (p_H - p) \cdot \delta \cdot \rho \cdot \left(24 \cdot \frac{b}{\delta} \cdot \mu\right)$$
$$q_p = (101325 - 36000) \cdot 0,0002 \cdot 1000 \cdot \left(24 \cdot \frac{0,04}{0,0002} \cdot 1 \cdot 10^{-3}\right)$$
$$= 6271 \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

## 2.6 Визначення розрахункового коефіцієнту відкачки

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{2q \cdot \delta}{\mu}$$
$$Re = \frac{2 \cdot 6271 \cdot 0,0002}{0,001} = 2508,4$$

Коефіцієнт гідравлічного тертя при протіканні робочої рідини в торцевому зазорі:

$$\lambda_{тр} = \frac{0,9}{Re^{0,368}}$$
$$\lambda_{тр} = \frac{0,9}{2508,4^{0,368}} = 0,051$$

Тиск перед торцевим зазором:

$$p_2 = \frac{(p_H + p)}{2}$$
$$p_2 = \frac{(101325 + 36000)}{2} = 68662,5 \text{ Па}$$

Витрата води, необхідна для ущільнення торцевого зазору:

$$m_{р.пр} = 2 \cdot q_p \cdot l \cdot \delta$$

де  $\delta = 0,0125$  – відносний зазор;

$$m_{р.пр} = 2 \cdot 6271 \cdot 0,026 \cdot 0,0125 = 4,08$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Коефіцієнт наповнення:

$$k_p = \frac{m_p}{m_{p.пр}}$$
$$k_p = \frac{0,133}{4,08} = 0,033$$

Витрата повітря через ущільнений рідиною зазор:

$$m_{п.р} = k_r \cdot m_{п}$$

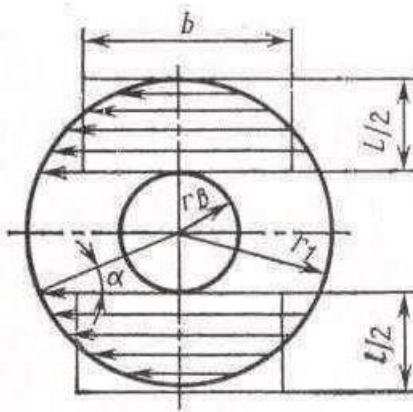


Рисунок 5 – Торцевий зазор в насосі

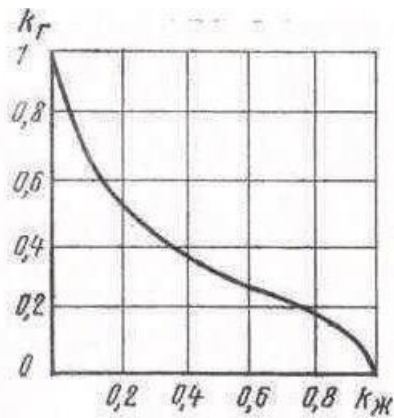


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта  $k_r$  від коефіцієнта  $k_p$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Згідно рис.6 було обрано коефіцієнт ущільнення, який дорівнює  $k_T=0,8$

$$m_{п.р} = 0,8 \cdot 1,007 \cdot 10^{-3} = 0,806 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{С}}$$

Коефіцієнт  $\lambda_{\Pi}$ :

$$\lambda_{\Pi} = \frac{m_{п.р}}{S_T \cdot \rho_H}$$

де  $\rho_H = 1,205 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$  – густина повітря при умовах нагнітання;

$S_T = 0,055$  – теоретична швидкість дії;

$$\lambda_{\Pi} = \frac{0,806 \cdot 10^{-3}}{0,055 \cdot 1,205} = 0,012$$

Температура насиченого пару:

$$T_{н.п.} = 0,5(T_H + T)$$

де  $T_H$  – температура повітря на нагнітанні;

$T$  – температура при 20°C;

$$T_{н.п.} = 0,5(299,87 + 293) = 296,44 \text{ К}$$

Густина насиченого пару при умовах всмоктування:

$$\rho_{н.п} = \frac{p_{н.п.}}{RT_{н.п.}}$$

де  $R=741, \frac{\text{Н}\cdot\text{М}}{\text{КГ}\cdot\text{С}}$  – універсальна газова стала для насиченого пару;

$p_{н.п.}=20,5 \cdot 10^2$ , Па - тиск насиченого пару при умовах всмоктування в насос;

$$\rho_{н.п} = \frac{2050}{741 \cdot 296,44} = 0,0103 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$$

Кількість пару, що випарувався в робочі комірки всмоктування:

$$m_B = S_T \cdot \rho_{н.п.}$$

$$m_B = 0,055 \cdot 0,0103 = 0,0005665 \frac{\text{КГ}}{\text{С}}$$

Знайдемо коефіцієнт  $\lambda_B$ :

$$\lambda_B = \frac{m_B}{S_T \cdot \rho_H}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$\lambda_B = \frac{0,0005665}{0,055 \cdot 1,205} = 0,00855$$

Розрахуємо коефіцієнт що враховує зменшення продуктивності насоса внаслідок занурення лопаток в рідинне кільце і відходу рідини від ступиці робочого колеса:

$$\lambda_1 = \frac{S_T}{S_r}$$

$$\lambda_1 = \frac{0,055}{0,069} = 0,797$$

Розрахунковий коефіцієнт відкачки:

$$\lambda_p = \lambda_1 - \lambda_{\Pi} - \lambda_B - \lambda'_0$$

$$\lambda_p = 0,797 - 0,012 - 0,00855 - 0,0377 = 0,739$$

## 2.7 Визначення втрат потужності в безлопатевому просторі рідинного кільця

Кутова швидкість колеса:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1500}{60} = 157 \text{ c}^{-1}$$

Момент  $M_B$ :

$$\begin{aligned} M_B &= \frac{\rho_p \vartheta_B^2 \lambda_p}{8} \int_{\varphi_0 - \frac{2\pi}{z}}^{\pi + \frac{\pi}{z}} (0,5h^3 + h^2a + hd + br_2^2) \\ &= \left( \frac{\rho_p \vartheta_B^2 \lambda_p}{8} \right) \{ [d(e + \Delta) + br_2^2] \cdot \\ &\cdot \left( \pi - \varphi_0 - \frac{2\pi}{z} \right) + de \left[ \sin \left( \frac{\pi}{z} \right) + \sin \left( \varphi_0 - \frac{2\pi}{z} \right) \right] \} \end{aligned}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$M_B = \left( \frac{1000 \cdot 0,4^2 \cdot 0,739}{8} \right) \left\{ [0,017(0,0125 + 0,00098) + 0,0403 \cdot 0,083^2] \cdot \left( 3,14 - 0,3925 - \frac{2 \cdot 3,14}{16} \right) + 0,017 \cdot 0,0125 \cdot \left[ \sin \left( \frac{3,14}{16} \right) + \sin \left( 0,3925 - \frac{2 \cdot 3,14}{16} \right) \right] \right\} = 23,54 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент  $M_H$ :

$$M_H = \left( \frac{\rho_p \vartheta_H^2 \lambda_p}{8} \right) \left\{ [d(e + \Delta) + br_2^2] \cdot \left( \varphi_K - \varphi_{CT} - \frac{2\pi}{z} \right) - de \left[ \sin \left( \varphi_K + \frac{2\pi}{z} \right) - \sin \left( \varphi_{CT} - \frac{2\pi}{z} \right) \right] \right\}$$

$$M_H = 13,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент  $M_1$ :

$$M_1 = \left( \frac{\rho_p \lambda_p}{8} \right) \left\{ \vartheta_B^2 G_1 + \frac{\vartheta_B \vartheta_H - \vartheta_B^2}{\gamma} R_1 + \frac{(\vartheta_B - \vartheta_H)^2}{\gamma^2} T_1 \right\}$$

$$M_1 = 3,249 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент  $M_2$ :

$$M_2 = \left( \frac{\rho_p \lambda_p}{8} \right) \left\{ \vartheta_H^2 G_2 + \frac{\vartheta_B \vartheta_H - \vartheta_H^2}{\beta} R_2 + \frac{(\vartheta_B - \vartheta_H)^2}{\beta^2} T_2 \right\}$$

$$M_2 = 1,595 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент  $M$ :

$$M = M_B + M_H + M_1 + M_2$$

$$M = 23,54 + 13,1 + 3,249 + 1,595 = 41,48 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Втрата потужності в безлопатевому просторі:

$$N_{\text{бл}} = \frac{M \cdot \omega}{1000}$$

$$N_{\text{бл}} = \frac{41,48 \cdot 157}{1000} = 6,513 \text{ кВт}$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.8 Визначення теоретичного напору створюваного робочим колесом

Витрата рідини через робоче колесо:

$$Q_p = \pi \cdot [r_{22}^2 - (r_1 + d)^2] \cdot b_0 \cdot n \cdot \psi$$

$$Q_p = 3,14 \cdot [0,0806^2 - 0,037^2] \cdot 0,172 \cdot 25 \cdot 0,75 = 0,0519 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Теоретичний напір створюваний робочим колесом, що має безкінечне число лопаток:

$$H_{T\infty} = \frac{u_2^2}{g} - \frac{2 \cdot \omega^2 e' \cdot r_0 \cdot \text{ctg}\beta_2}{\pi g}$$

$$H_{T\infty} = \frac{13,03^2}{9,81} - \frac{2 \cdot 157^2 \cdot 0,0218 \cdot 0,059 \cdot \text{ctg}150}{3,14 \cdot 9,81} = 20,87 \text{ м}$$

Коефіцієнт  $\psi_L$ :

$$\psi_L = 0,6 + 0,6 \cdot \sin\beta_2$$

$$\psi_L = 0,6 + 0,6 \cdot \sin 150 = 0,9$$

Поправка Пфлейдерера:

$$\Pi = \frac{1}{(1 + 2 \cdot \psi_L) / [z \cdot (1 - v^2)]}$$

$$\Pi = \frac{1}{(1 + 2 \cdot 0,9) / [16 \cdot (1 - 0,4^2)]} = 0,882 \Pi$$

Теоретичний напір створюваний колесом:

$$H_T = H_{T\infty} \cdot \Pi$$

$$H_T = 20,87 \cdot 0,882 = 18,407 \text{ м}$$

## 2.9 Визначенню коефіцієнту швидкохідності

Коефіцієнт швидкохідності:

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

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 25 \sqrt{Q_p}}{18,407^{\frac{3}{4}}} = 2,34$$

## 2.10 Визначення питомої потужності

Втрати потужності в робочому колесі:

$$N_k = \frac{Q_p \cdot H_T \cdot (1 - \eta_k) \cdot \rho}{102}$$

де  $\eta_k = 0,73$  – ККД колеса;

$$N_k = \frac{0,0519 \cdot 18,407 \cdot (1 - 0,73) \cdot 1000}{102} = 2,53 \text{ кВт}$$

Потужність гідродинамічних втрат:

$$N_r = N_{\text{бл}} + N_k$$

$$N_r = 6,513 + 2,53 = 9,04 \text{ кВт}$$

Показник політропи стискання:

$$n = \frac{\ln \frac{p_H}{p}}{\ln \frac{p_H}{p} - \ln \frac{T_H}{T}}$$

$$n = \frac{\ln \frac{101325}{36000}}{\ln \frac{101325}{36000} - \ln \frac{299,87}{293}} = 1,023$$

Відносний мертвий об'єм:

$$a = \frac{S_{3.0}}{S}$$

$$a = \frac{0,00409}{0,055} = 0,074$$

Коефіцієнт  $\lambda'$ :

$$\lambda' = 1 - a \cdot \left[ \left( \frac{p_H}{p} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$\lambda' = 1 - 0,074 \cdot \left[ \left( \frac{101325}{36000} \right)^{\frac{1}{1,023}} - 1 \right] = 0,87$$

Потужність, що витрачається на стискання:

$$N_{\text{ст}} = N_{\text{із}} \cdot \lambda'$$

$$N_{\text{ст}} = 2,57 \cdot 0,87 = 2,24 \text{ кВт}$$

Ефективна потужність на валу насоса:

$$N_e = N_{\text{ст}} + N_{\text{Г}}$$

$$N_e = 2,24 + 9,04 = 11,28 \text{ кВт}$$

Питома потужність:

$$N_{\text{п}} = \frac{N_e}{S}$$

$$N_{\text{п}} = \frac{11,28}{0,055} = 205,09 \text{ кВт}$$

Висновок:

В пункті 2 були проведені розрахунки основних геометричних параметрів колеса, які становлять: зовнішній радіус колеса  $r_2 = 83 \text{ мм}$ ,  $r_1 = 33 \text{ мм}$ ,  $R = 96 \text{ мм}$ ,  $\beta = 22,5^\circ$ .

Також проведені розрахунки на визначення температури повітря на нагнітанні  $T_{\text{Н}} = 26,87^\circ$ , визначено розрахунковий коефіцієнт відкачки  $\lambda_p = 0,739$ , Теоретичний напір створюваний колесом  $H_{\text{T}} = 18,407 \text{ м}$ , питома потужність  $N_{\text{п}} = 205,09 \text{ кВт}$

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Вибір електродвигуна

Для вакуумного водо-кільцевого насосу був обраний, згідно з потужністю 10 кВт та частотою обертання 1500 об/хв., електродвигун АИР132М4.

Даний двигун – це трьохфазний асинхронний електродвигун 11 кВт та 1500 об/хв загальнопромислового призначення з короткозамкненим ротором.

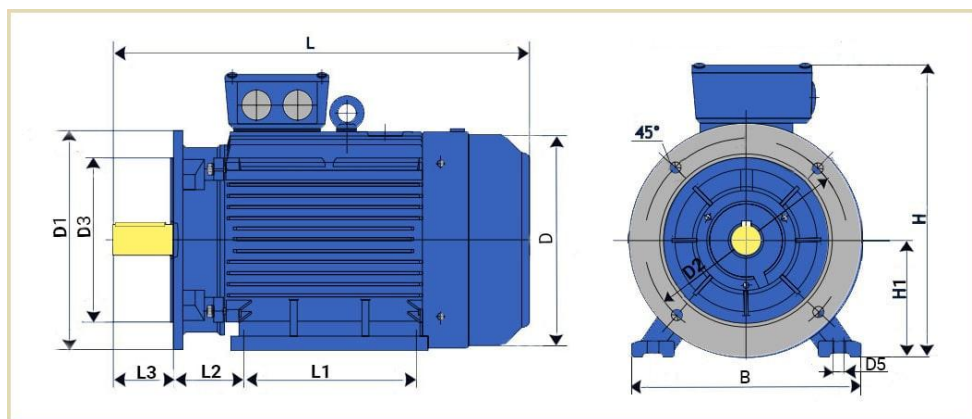


Рисунок 7– Схема електродвигуна АИР132М4

Таблиця 1– Технічна характеристика електродвигуна.

Характеристика електродвигуна	АИР132М4
Потужність	11 кВт
Частота обертів поля статора	1500 об/хв
Швидкість обертання валу	1460 обертів
Тип	асинхронний
Напруга живлення	Трьохфазне, 220/380, 380/660 ВОЛЬТ
Номінальний струм	22.5 А
ККД	88,4%
Вага	86кг
Рівень шуму	до 75 дБ
Крутний номінальний момент,	72,448 Нм

Двигун АИР 132 М4 має такі переваги:

- просту і надійну конструкцію;

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- можливість значних короткочасних перевантажень;
- високу надійність при пусках і перевантаженнях;
- легкий пуск і можливість автоматизації;
- хороший ККД, завдяки достатньої точності виготовлення;
- майже завжди однакову швидкість при зміні навантажень;
- знижений шум за рахунок використання якісних підшипників;
- знижений рівень реактивних струмів;
- захист від пилу;
- корпус відлитий з міцного чавуну.

**Висновок:**

Згідно з потужністю 10 кВт та частотою обертання 1500 об/хв для насоса ВВН 3/04 було обрано електродвигун асинхронний типу АИР132М4, який має просту конструкцію, високу надійність та знижений струм.

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



#### 4. Гідравлічні випробування насоса ВВН

При випробуваннях першого насоса повинні визначатися такі характеристики:

- об'ємна;
- енергетична;
- вібраційна;
- шумова.

При цьому повинні бути проконтрольовані на номінальному режимі, при тиску всмоктування - 0,036 МПа, такі показники:

- продуктивність, наведена до початкових умов;
- споживана потужність;
- тиск повітря початковий;
- температура повітря на вході в насос;
- витрата води на вході в насос;
- температура води на вході в насос;
- барометричний тиск;
- частота обертання ротора;
- коректований рівень звукової потужності;
- середньоквадратичне значення віброшвидкості.

Крім того, повинна бути проконтрольована маса рідинно-кільцевої машини і насосу, габаритні розміри насосу і рідинно-кільцевої машини.

Перевірка працездатності насосу проводиться в два етапи:

- в двох точках робочого діапазону при тисках всмоктування 0,03; 0,02 МПа
- не менше 7 годин на кожній точці;
- на номінальній точці (тиск всмоктування - 0,036 МПа) - не менше 58 годин.

Під час проведення всіх видів випробувань повинна постійно контролюватися температура підшипників насосу і електродвигуна, яка контролюється переносним приладом на опорах підшипників.

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випробування проводяться на стенді підприємства-виготовлювача. Приймальні і приймально-здавальні випробування обладнання повинні проводитися на стендах в умовах, максимально наближених до реальних умов експлуатації.

Випробування насоса проводяться до його забарвлення.

Після випробувань насос піддається ревізії, забарвленням і консервації.

Визначення та перевірка показників надійності, проводиться розрахунково-експериментальним методом по ГОСТ 27.410.



Рисунок 8 – Схема гідравлічних випробувань насосу ВВН.

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. Охорона праці.

### Нормування і розрахунок природного і штучного освітлення.

#### 5.1 Природне освітлення

Є загальноприйняті норми для штучного та природнього освітлення, тому згідно з [7] розглянемо їх:

1. Приміщення з постійним перебуванням людей повинно мати, як правило, природне освітлення. Без природного освітлення допускається проектування приміщень, які визначені державними будівельними нормами на проектування будинків і споруд, нормативними документами з будівельного проектування будинків і споруд окремих галузей промисловості, затвердженими в установленому порядку, а також приміщення, розміщення яких дозволено в підвальних поверхах будинків.
2. Природне освітлення поділяється на бокове, верхнє і комбіноване (верхнє і бокове).
3. Нормоване значення КПО,  $e_N$ , для будинків, розташованих в різних районах, слід визначати за формулою

$$e_N = e_n \cdot m_N$$

де  $e_n$  - значення КПО;  $m_N$  - коефіцієнт світлового клімату; N- номер групи забезпеченості природним світлом. Отримані за формулою значення слід округлити до десятих долей.

4. При двосторонньому боковому освітленні приміщень різного призначення нормоване значення КПО повинно бути забезпечено в розрахунковій точці в центрі приміщення на перетині вертикальної площини характерного розрізу і робочої поверхні.
5. У виробничих приміщеннях глибиною до 6 м при односторонньому боковому освітленні нормується мінімальне значення КПО в точці, розташованій на перетині вертикальної площини характерного розрізу приміщення і умовної робочої поверхні на відстані 1 м від стіни або лінії максимального заглиблення зони, найбільше віддаленої від світлових

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прорізів. У великогабаритних виробничих приміщеннях глибиною більше ніж 6 м при боковому освітленні нормується мінімальне значення КПО в точці на умовній робочій поверхні, віддаленій від світлових прорізів: - на 1,5 м висоти від підлоги до верху світлових прорізів для зорової роботи I - IV розрядів; - на 2 м висоти від підлоги до верху світлових прорізів для зорової роботи V - VII розрядів; - на 3 м висоти від підлоги до верху світлових прорізів для зорової роботи VIII розряду.

6. При верхньому або комбінованому природному освітленні приміщень різного призначення нормується середнє значення КПО в точках, розташованих на перетині вертикальної площини характерного розрізу приміщення і умовної робочої поверхні (або підлоги). Перша і остання точки приймаються на відстані 1 м від поверхні стін (перегородок) або осі колон.
7. Допускається розподілення приміщень на зони з боковим освітленням (зони, які примикають до зовнішніх стін з вікнами) і зони з верхнім освітленням. Нормування та розрахунок природного освітлення в кожній зоні проводиться незалежно одне від одного.
8. У виробничих приміщеннях із зоровою роботою I-III розрядів слід використовувати суміщене освітлення. Допускається застосовувати верхнє природне освітлення у великопрогонових складальних цехах, де роботи виконуються в значній частині об'єму приміщення на різних рівнях підлоги і на різноорієнтованих у просторі робочих поверхнях. При цьому нормовані значення КПО приймаються для розрядів I, II, III відповідно 10; 7; 5 %.
9. Розрахунок КПО проводиться з урахуванням середньозважених коефіцієнтів відбивання внутрішніх поверхонь приміщень без урахування меблів, устаткування, озеленення та інших затінюючих предметів, а також при 100 % використанні світлопрозорих заповнень у світлопрорізах. Розрахункові значення КПО слід округляти до десятих часток.

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Розрахункові значення середньозваженого коефіцієнта відбивання внутрішніх поверхонь приміщення слід приймати 0,50 в громадських, 0,40 в житлових і 0,30 у виробничих приміщеннях.

## 5.2 Штучне освітлення

1. Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, охоронне, чергове.

Аварійне освітлення поділяється на освітлення безпеки і евакуаційне. Для загального штучного освітлення приміщень слід використовувати, як правило, розрядні джерела світла, віддаючи перевагу за однакової потужності джерелам світла з найбільшою світловою віддачею і строком служби.

Світлова віддача джерел світла для штучного освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах кольоропередачі не повинна бути менше значень, наведених у таблиці 2.

Таблиця 2 - Світлова віддача

Тип джерела світла	Світлова віддача, лм/Вт, не менше, при мінімально допустимих індексах кольоропередачі				
	$R_a \geq 80$	$R_a \geq 60$	$R_a \geq 45$	$R_a \geq 25$	$R_a \leq 25$
Люмінесцентні лампи	65	75	-	-	-
Компактні люмінесцентні лампи	70	-	-	-	-
Металогалогенні лампи	75	90	-	-	-
Дюгові ртутні лампи	-		55	-	-
Натрієві лампи високого тиску	-	75	-	100	-
Лампи розжарювання	-	-	-	-	7

2. Штучне освітлення може бути двох систем - загальне та комбіноване.

3. Норми освітленості, слід підвищувати на один ступінь шкали освітленості в таких випадках:

а) при роботах I - VI розрядів, якщо зорова робота виконується більше

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

половини робочого дня;

б) при підвищеній небезпеці травматизму, якщо освітленість від системи загального освітлення складає 150 лк і менше (робота на дискових пилках, гільйотинних ножицях тощо);

в) при спеціальних підвищених санітарних вимогах (наприклад, на підприємстві харчової та хіміко-фармацевтичної промисловості), якщо освітленість від системи загального освітлення 500 лк і менше;

г) при роботі або виробничому навчанні підлітків, якщо освітленість від системи загального освітлення 300 лк і менше;

д) за відсутності в приміщенні природного світла і постійному перебуванню працюючих, якщо освітленість від системи загального освітлення 750 лк і менше;

е) при спостереженні за деталями, що обертаються зі швидкістю, яка дорівнює або більша 500 об/хв, або об'єктами, що рухаються зі швидкістю, яка дорівнює або більша 1,5 м/хв;

ж) при постійному пошуку об'єктів розрізнення на поверхні розміром 0,1 м<sup>2</sup> і більше. За наявності одночасно кількох ознак норми освітленості слід підвищувати не більше ніж на один ступінь.

4. В приміщеннях, де виконуються роботи IV-VI розрядів, норми освітленості слід знижувати на один ступінь при короткочасному перебуванні людей або за наявності устаткування, яке не потребує постійного обслуговування.

5. При виконанні в приміщеннях робіт I-III, IVa, IVб, IVB, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення.

Передбачати систему загального освітлення допускається при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення, що конкретизується в галузевих нормах, узгоджених з органами Державного санітарного нагляду.

За наявності в одному приміщенні робочих і допоміжних зон слід

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачати локалізоване загальне освітлення (за будь-якої системи освітлення) робочих зон і менш інтенсивне освітлення допоміжних зон, зараховуючи їх до розряду VIIa.

6. Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10 % нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення. При цьому освітленість повинна бути не менше 200 лк при розрядних лампах, не менше 75 лк - при лампах розжарювання.

Створювати освітленість від загального освітлення в системі комбінованого більше 500 лк при розрядних лампах і більше 150 лк при лампах розжарювання допускається тільки за наявності обґрунтувань. У приміщеннях без природного світла освітленість робочої поверхні, утворена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, слід підвищувати на один ступінь.

7. Відношення максимальної освітленості до мінімальної не повинно перевищувати для робіт I - III розрядів при люмінесцентних лампах 1,3, при інших джерелах світла - 1,5, для робіт розрядів IV - VII - 1,5 і 2,0 відповідно.

Нерівномірність освітленості допускається підвищувати до 3,0 в тих випадках, коли за умов технології світильники загального освітлення можуть установлюватися тільки на площадках, колонах або стінах приміщення.

8. У виробничих приміщеннях освітленість проходів та ділянок, де робота не виконується, повинна складати не більше 25 % від нормованої освітленості, але не менше 75 лк при розрядних лампах і не менше 30 лк при лампах розжарювання.

9. Для місцевого освітлення робочих місць слід використовувати світильники з непросвічуючими відбивачами. Світильники повинні

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розташовуватися так, щоб їх елементи, які світяться, не влучали в поле зору працюючих на освітленому робочому місці і на інших робочих місцях.

Місцеве освітлення робочих місць, як правило, повинно бути обладнане регуляторами освітлення.

Місцеве освітлення зорових робіт з тривимірними об'єктами розрізнення слід виконувати:

- при дифузійному відбиванні фону - світильником, у якого відношення найбільшого лінійного розміру поверхні, яка світиться, до висоти її розташування над робочою поверхнею складає не більше 0,4 при направленні оптичної осі в центр робочої поверхні під кутом не менше 30° до вертикалі:

- при направлено-розсіяному і змішаному відбиванні фону - світильником, у якого відношення найменшого лінійного розміру поверхні, яка світиться, до висоти її розташування над робочою поверхнею складає не менше 0,5, а її яскравість - від 2500 до 4000 кд/м<sup>2</sup>.

Яскравість робочої поверхні не повинна перевищувати значень, вказаних у таблиці 3

Таблиця 3 - Яскравість робочої поверхні

Площа робочої поверхні, м <sup>2</sup>	Найбільша допустима яскравість, кд/м <sup>2</sup>
Менше $1 \cdot 10^{-4}$	2000
Від $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$	1500
Понад $1 \cdot 10^{-3}$ до $10^{-2}$	1000
Понад $1 \cdot 10^{-2}$ до $1 \cdot 10^{-1}$	750
Більше $1 \cdot 10^{-1}$	500

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Висновок:**

В пункті 5, детально розглянуте питання з охорони праці, яке звучить наступним чином «Нормування і розрахунок природного і штучного освітлення». Згідно з ДБН-В.2.5-28-2006 визначила, що природне освітлення повинно бути в приміщеннях, де постійно знаходяться люди. Природне освітлення поділяється на бокове, верхнє і комбіноване. Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, охоронне, чергове. Місцеве освітлення робочих місць має бути обладнане регулятором освітлення, та знаходитись на кожному робочому місці.

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6.Економічна частина

### Спеціалізація підприємств, цехів, виробничих дільниць.

Спеціалізація - це процес, який відображає зосередженість фірми на виробництві певної продукції.

Згідно з [8] всі виробничі процеси та окремі операції мають раціонально поєднуватися в просторі та часі. Кожне підприємство має свої особливості такого поєднання, але також можемо відокремити основні принципи раціональної організації виробничого процесу: спеціалізація, пропорційність, паралельність, прямотечійність, безперервність, ритмічність, автоматичність, гомеостатичність, гнучкість. Розглянемо саме принцип спеціалізації.

Принцип спеціалізації означає обмеження різноманітності елементів виробничого процесу, передусім зменшення номенклатури продукції, яка виготовляється на кожній ділянці підприємства, та різновидів виробничих операцій, що виконуються на робочих місцях. Збільшуючи однорідність виробництва, спеціалізація спрощує його організацію, створює передумови для автоматизації, унаслідок чого поліпшується використання ресурсів підприємства, підвищується якість продукції, знижується її собівартість. Дотримання принципу спеціалізації істотно впливає на запровадження інших принципів раціональної організації виробничого процесу.

Спеціалізація виробництва здійснюється за територіальною й галузевою ознаками.

Спеціалізація за територіальною ознакою – це процес, який зосереджений на виготовленні продукції для певних економічних районів, які мають переваги перед іншими районами країни саме для виробництва саме цієї продукції.

Спеціалізація за галузевою ознакою може бути галузевою, внутрішньогалузевою, заводською, внутрішньозаводською й означає

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зосередження діяльності галузей підприємств та їх структурних підрозділів на виробництві певної продукції.

Суть процесу спеціалізації за галузевою ознакою полягає в збільшенні частки будь-якої галузі у виробництві продукції певного виду в загальному обсязі її виробництва.

Внутрішньогалузева спеціалізація – полягає в створенні відокремлених спеціалізованих підприємств, які об'єднанні у галузі або окремі види виробництв (м'ясопереробне, маслоробство, сироварство та ін.).

Заводська спеціалізація означає виробництво однорідної продукції в межах окремих підприємств або виробничих одиниць

Внутрішньозаводська спеціалізація – це скорочення номенклатури однорідних видів продукції, що виробляється в межах одного підприємства.

Існують такі види спеціалізації виробництва:

- предметна;
- подетальна;
- технологічна (стадійна);
- функціональна.

До предметно спеціалізованих належать підприємства (цехи), які випускають кінцеву, готову до споживання продукцію (кондитерська фабрика, м'ясокомбінат, хлібозавод та ін.).

До подетально спеціалізованих – підприємства (цехи) із виготовлення окремих видів продукції, напівфабрикатів для інших підприємств, які випускають готову продукцію.

До технологічно (стадійно) спеціалізованих – цехи, самостійні виробництва з проведення окремих стадій технологічного процесу. За цієї форми спеціалізації в заготівельних цехах виготовляють напівфабрикати, призначені для подальшої переробки на готову

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукцію на інших підприємствах. Так, сепараторні відділення виконують частину технологічного процесу виробництва масла – отримання вершків, які спрямовуються на маслоробний завод; безкісткове м'ясо в блоках, отримане на одних підприємствах, надходить на інші для виготовлення з нього м'ясних продуктів тощо.

До функціонально спеціалізованих – ремонтні та машиносервісні організації, підприємства з виготовлення стандартної тари.

Показники рівня розвитку:

- частка основної (профільної) продукції в загальному її обсязі;
- кількість видів технологічно однорідних виробів;
- частка продукції подетально (технологічно) спеціалізованих підприємств і цехів у загальному обсязі.

Спеціалізація підприємств є важливою передумовою постійного підвищення ефективності їх господарської діяльності. Поглиблення й розвиток усіх видів спеціалізації підприємств супроводжується більш широким застосуванням прогресивних технологій та високопродуктивного спеціалізованого обладнання, упровадженням комплексної механізації й автоматизації взаємопов'язаних виробничих ланок. Проте у спеціалізації виробництва є й недоліки, зумовлені, головним чином, орієнтацією на завузьку спеціалізацію, невеликими розмірами підприємств та ін.

Показники ефективності спеціалізації:

- зростання продуктивності праці;
- збільшення фондівіддачі;
- економія ресурсів.

Спеціалізація виробництва передбачає налагодження виробничих зв'язків між окремими галузями або підприємствами, тобто кооперування.

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок:

В пункті 6 економічної частини, розглянуте було питання спеціалізації підприємств, цехів, виробничих дільниць. Спеціалізація підприємств є важливою умовою для постійного підвищення ефективності господарської діяльності. Існує декілька видів спеціалізації, а саме: предметна, до неї належать цехи, які випускають готову продукцію для споживання; подетальна, до неї належать цехи, які випускають напів готову продукцію для інших підприємств; технологічна, до яких належать цехи з проведення окремих стадій технологічного процесу; функціональна, до неї належать ремонтні цехи.

					131.09BP.000.00 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновок

В результаті проведеної роботи було встановлено:

1. Насоси типу ВВН знаходять широке застосування у атомній енергетиці в якості допоміжного обладнання, яке повинно підвищувати ККД парової турбіни і електростанції в цілому.
2. Насоси мають високий ресурс роботи, так як деталі не труться одна об одну, що збільшує їх експлуатацію, винятком є лише підшипники ротора.
3. У результаті проведеного розрахунку були отримані показники швидкості дії, температури середовища на нагнітанні, величина коефіцієнту відкачки, втрати потужності в безлопатевому просторі рідинного кільця, величина теоретичного напору, величина питомої потужності.
4. Були визначені норми штучного та природного освітлення для робочих приміщень, цехів, підприємств і т.п. Природне освітлення повинно бути у всіх приміщеннях де постійно знаходяться люди. Штучне освітлення повинно знаходитись на кожному робочому місці та додатково захищено, щоб не заважати робочим. Також в розділі економіки було розглянуте питання спеціалізації підприємств, цехів, виробничих дільниць. Спеціалізація є дуже важливим фактором для підвищення ефективності підприємств.
5. Результати числового експерименту показали, що для забезпечення усталеної роботи насоса потрібно певне співвідношення температури середовища на вході та об'єму мертвого простору у якому середовище переноситься з порожнини нагнітання у порожнину всмоктування

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список літератури

1. Механические вакуумные насосы/ Е.С.Фролов, И.В. Автономова, В.И.Васильев и др. - М.: Машиностроение, 1989. - 288 с.
2. Автономова И.В. К расчету двухступенчатых ротационных жидкостно-кольцевых вакуум-насосов // Изв. Вузов. Машиностроение. 1977. №6. С. 106-109.
3. Вакуумная техника: Справочник/ Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова и др.; под общ. ред. Е.С. Фролова, В.Е. Минайчева. М.:Машиностроение, 1985. 350 с
4. Хмара В.Н., Радуин Н.А. Исследование рабочих колес вихревых нагнетателей с периферийными каналами // ^Химическое и нефтяное машиностроение. 1980. №9. С.13-15.
5. Гейнце В. Введение в вакуумную технику: Пер. с нем./Под ред. М. И. Мельникова. М. - Л.:Госэнергоиздат, 1960. Т. 1. 511 с.
6. Фролов Е. С. Турбомолекулярные вакуумные насосы. М.: Машиностроение 1980. 117 с.
7. ДБН В.2.5.-28-2006 “Естественное и искусственное освещение”
8. Прохорова В. В., Давидова О. Ю. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА / В. В. Прохорова. – 2018. – С. 275.

					131.09ВР.000.00 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		