

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему

**«Вільновихровий насос ВВН 25-20»**

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

**Виконавець роботи**

Павленко Сергій Сергійович

*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 TeSET Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Павленко Сергій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вільновихровий насос ВВН 25-20

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

2. Термін здавання закінченої роботи 31.05.2020  
р \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: подача насоса  $Q = 25 \text{ м}^3/\text{год}$ , напір  $H = 20 \text{ м}$ , частота обертів  $n = 2880 \text{ об/хв}$ , густина  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вільновихрові насоси: основні конструктивні схеми, особливості робочого процесу, область застосування; обґрунтування вибору конструктивної схеми насоса; опис конструкції вибраного насоса; гідравлічні розрахунки; розрахунки щодо вибору електродвигуна; вибір кінцевого ущільнення вала; розрахунки на міцність; розрахунки з вибору підшипників, розділ з охони праці, економічна частина

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

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір матеріалів для бакалаврської роботи	19.11 - 30.11. 2019 р.	
2	Аналіз насосного обладнання для перекачування забруднених рідин	01.12 - 31.12.2019 р.	
3	Вільновихрові насоси: основні конструктивні схеми, особливості робочого процесу, область застосування	02.01- 31.01.2020 р.	
4	Обґрунтування вибору конструктивної схеми насоса. Опис конструкції вибраного насоса	01.02 - 10.02.2020 р.	
5	Розрахунок проточної частини	11. 02 - 17.02.2020 р.	
6	Розрахунок осьової і радіальної сил	18.02 - 29.02.2020 р.	
7	Вибір електродвигуна. Вибір кінцевого ущільнення насоса	01.03 - 10.03.2020 р.	
8	Креслення робочого колеса	11.03 - 21.03.2020 р.	
9	Економічне питання	22.03 - 21.03.2020 р.	
10	Розділ охорони праці	22.03 - 05.04.2020 р.	
11	Переддипломна практика. Складання звіту з практики	06.04 - 26.04.2020 р.	.
12	Креслення насосного агрегату	10.04 - 26.04.2020 р.	
13	Складальне креслення насоса	27.04 - 10.05.2020 р.	
14	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічних матеріалів	11.05 – 25.05.2020 р.	
15	Представлення роботи керівнику. Внесення поправок	26.05- 31.05.2020 р.	
16	Підготовка доповіді до захисту	01.06- 06.06.2020 р.	

Дата видачі завдання – 19.11.2019 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_

Герман В. Ф.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 69 сторінок, 31 рисунок,  
17 літературних джерел.

Тема роботи «Вільновихровий насос ВВН 25-20».

Графічні матеріали: 4 аркушів формату А1: монтажне креслення агрегату, складальне креслення насоса, креслення робочого колеса.

Мета роботи – розробка конструкції вільновихрового насоса ВВН 25-20».

Об'єкт розробки – вільновихровий насос для перекачування забруднених рідин на параметри: подача  $Q = 25 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 20 \text{ м}$ .

Відповідно до поставленої мети:

- проведено обґрунтування вибору конструкції насоса вільновихрового типу;
- виконано гідравлічні розрахунки проточної частини, розрахунок осьової і радіальної сил, розрахунок насоса на кавітацію;
- обрано кінцеве ущільнення насоса й тип двигуна;
- розрахована працездатність складальних одиниць і деталей насоса: вала, підшипників, шпонкового з'єднання.

У розділі охорони праці наведена методика розрахунку природної та штучної вентиляції. Призначення і класифікація вентиляції.

В економічному розділі описано виробничий процес, його різновиди і структура.

Ключові слова: ВІЛЬНОВИХРОВИЙ НАСОС, ЗАБРУДНЕНА РІДИНА, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ВІДВІД, УЩІЛЬНЕННЯ, ПІДШИПНИКИ, ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ.

# ЗМІСТ

## ЗАВДАННЯ

## РЕФЕРАТ

ВСТУП.....	7
1 НАСОСИ ДЛЯ ПРЕКАЧУВАННЯ ЗАБРУДНЕНИХ РІДИН. ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ НАСОСА .....	10
2 ВІЛЬНОВИХРОВІ НАСОСИ. ЗАСТОСУВАННЯ. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ І РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ .....	26
3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ НАСОСА .....	28
4 ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	30
4.1 Розрахунок проточної частини насоса.....	30
4.2 Розрахунок осьової сили.....	39
4.3 Розрахунок радіальної сили.....	43
4.4 Розрахунок насоса на кавітацію.....	45
5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ.....	47
5.1 Конструювання вала.....	47
5.2 Розрахунок кінцевого ущільнення вала .....	49
5.2.1 Вибір типу ущільнення.....	49
5.2.2 Розрахунок споживаної потужності в ущільненні.....	51
5.3 Розрахунок вала.....	52
5.3.1 Розрахунок реакцій в опорах.....	52
5.3.2 Розрахунок вала.....	54

					<b>8.131.02БР.000.00 ПЗ</b>				
<i>Зм.И</i>	<i>Арк.Л</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
Розроб.		Павленко			Вільновихровий насос		<i>Літ.</i>	<i>АркушЛ</i>	<i>Аркушіє</i>
Перевір.		Герман			ВВН 25-20		5	69	
Реценз.					Сум ДУ, гр. ГМ-61-8				
Н. Контр.		Алексеевко							
Затв.									

5.4 Розрахунок шпонкового з'єднання.....	55
5.4.1 Розрахунок на міцність шпонкового з'єднання вала з колесом.....	55
5.5 Вибір підшипників та розрахунок на довговічність.....	57
<b>6 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	
Розрахунок природної та штучної вентиляції. Призначення і класифікація вентиляції.....	59
<b>7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	
Виробничий процес, його різновиди і структура.....	63
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>67</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>68</b>

## ВСТУП

Для перекачування забруднених рідин застосовується великий різновид насосів – це відцентрові насоси для стічних вод типу СМ, фекальні насоси типу СД, насоси для перекачування паперових мас типу БМ, об'ємні поршневі і гвинтові насоси, мембранні насоси, вільно вихрові насоси типу СВН, вільно вихрові насоси з робочим колесом типу VORTEX та ін.

Сучасний досвід експлуатації насосів показує, що для перекачування рідин з різними домішками з успіхом використовуються вільно вихрові насоси (ВВН) [1]. Насоси використовуються в багатьох галузях народного господарства для гідротранспорту абразивних і легко пошкоджуваних речовин, гідросумішей, що містять тверді і волокнисті включення, газомістких рідин. ВВН мають просту і зручну в експлуатації конструкцію, високу надійність, довговічність роботи на гідросуміші і обумовлюють економічну ефективність їх застосування для перекачування різних твердих речовин і продуктів.

ВВН є новим, у багатьох відношеннях прогресивним типом насосного обладнання, тому багато питань їх робочого процесу недостатньо вивчені і широко досліджуються в нашій країні і за кордоном (США, Японії, Швейцарії, Польщі та ін.). Вони випускаються багатьма великими фірмами і знаходять все більш широке застосування в різних галузях промисловості.

За конструктивними ознаками і за характером робочого процесу ВВН істотно відрізняються від відцентрових. Робоче колесо (РК) ВВН розташоване в росточці задньої стінки корпусу, що має вільну камеру, яка не перетинається обертовими деталями. Тому частина потоку рідини, що надходить в насос, проходить через вільну камеру, не стикаючись з лопатями РК. Завдяки наявності вільної камери забезпечується мінімальний контакт рідини з РК, що дозволяє перекачувати продукти без їх особливого ушкодження. У ВВН немає передніх ущільнень, отже, відсутні проблеми, пов'язані з ними (знос, закупорювання, регулювання, промивка і т. п.), Більш проста форма проточної частини знижує металоємність насоса, полегшує його складання, створює

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

кращі умови для високого ступеня уніфікації. Насоси мають високу стійкість до зношування при перекачуванні сумішей з включенням абразивних твердих частинок з огляду на те, що основна частина потоку середовища, що перекачується, проходить через насос без контакту з РК. Крім цього, ВВН мають ряд позитивних властивостей: забезпечують високу надійність роботи при перекачуванні газоподібних сумішей з вмістом газу до 50 %, в'язких рідин, великих включень з розміром до 0,8 ширини вільної камери, мають високу всмоктувальну здатність (висота всмоктування до 8 м) і мало чутливі до кавітації. Характерною для ВВН є конструкція вільновихрового насоса Turo серії ТА (рис. 1) [13].



Рисунок 1 – Вільно вихровий насос Turo серії ТА [13]

Робоче колесо насоса є відкритим і передає енергію на перекачувану рідину за принципом функціонування гідравлічної муфти. Виробник оптимізував гідравлічні характеристики даного колеса для задоволення запитів сучасної промисловості. Як наслідок, з'явилося кілька видів робочих коліс з відповідними властивостями для певних умов експлуатації.

Згідно представленої моделі передачі енергії в насосах Turo основна маса рідини (близько 85 %) рухається від первинного вихора до місця нагнітання. Залишок рідини (15 %) вступає в контакт з робочим колесом за допомогою вторинного вихора, який виходить з робочого колеса (рис. 2).

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8



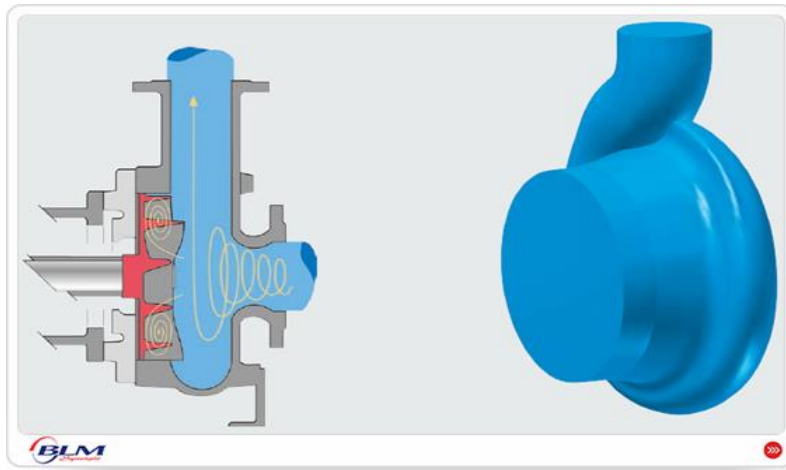


Рисунок 2 – Модель течії рідини в насосі Turo [13]

Завдяки цьому, зношення проточної частини насоса зводиться до мінімуму, а чутливі частки в рідині (наприклад, кристали або водорості) залишаються неушкодженими. Знос колеса відбувається рівномірно, що гарантує надійність і безшумне функціонування насоса. Істотне зниження рівня продуктивності можливе тільки при повному зносі колеса.

Особлива геометрія потоку гарантує підвищену ефективність і тривалий термін використання насоса. Один з елементів насоса - осьова спіраль, що знаходиться в корпусі, запатентована. За рахунок цього фахівці скоординували геометрію корпусу і робочого колеса. Завдяки оптимальній взаємодії між робочими елементами, ці насоси мають підвищений напір і підвищену ефективністю. Конструкція насоса нечутлива до зносу, стійка до засмічення і має безпечну швидкість подачі продукту завдяки утопленню робочого колеса. Крім цього, характеризуються зручністю і безпекою, відрізняється надійною роботою і тривалим терміном служби без необхідності ремонту.

Конструкція ВВН типу Turo прийнята для розробки в бакалаврській роботі.

## 1 НАСОСИ ДЛЯ ПРЕКАЧУВАННЯ ЗАБРУДНЕНИХ РІДИН. ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ НАСОСА

Розглянемо основні види насосів для перекачування забруднених рідин.

Насоси для забруднених рідин типу СМ (рис. 1.1) використовуються на насосних станціях для перекачування побутових і промислових стічних вод (стічних, дренажних, фекальних), сильно забруднених або пінних рідин, рідин, що містять маслянисті, волокнисті або тверді частинки, включаючи ті, які не розбиваються; для активних біологічних шлаків і стоків тваринного походження.

По виду установки насосів поділяються на вертикальні, заглиблені, напівзаглиблені і горизонтальні насоси.



Рисунок 1.1 – Відцентровий насос типу СМ [4]

Насоси СМ – стічно–масні відцентрові насоси. Матеріал проточної частини насоса - сірий чавун. По конструктивному виконанні фекальні стічно-масні насоси СМ - горизонтальні, консольні, одноступінчасті. Всмоктуючий патрубков розташований по осі насоса, напірний вертикально вгору. Мастило підшипників консистентне (у насосів СМ 250-200-400 і СМ 200-150-500 - рідке). Для забезпечення надійної роботи сальникового ущільнення до корпусу ущільнення необхідно подавати технічну воду під тиском 3.0 кгс/см<sup>2</sup>.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						10

Максимальний тиск на вході в насос 1.0 кгс/см<sup>2</sup>.

Забороняється використовувати насоси фекальні СМ для перекачування

горючих і легкозаймистих рідин. Граничний вміст газу в перекачуваній рідині – 5%.

Насоси для стічних вод типу СМ [4] набули широкого поширення в комунальній сфері, на очисних спорудах, на промислових і сільськогосподарських підприємствах, в різних системах відводу рідин.

Насоси типу БМ (рис. 1.2) [5] – відцентрові, консольні, одноступінчасті з горизонтальним розташуванням вала і осьовим підведенням рідини.

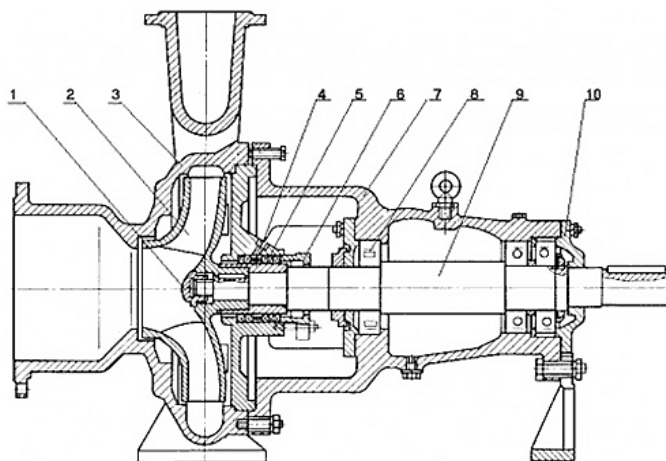


Рисунок 1.2 – Паперово-масний насос типу БМ :

1 - гайка робочого колеса; 2 - колесо робоче; 3 - корпус насоса з всмоктуючим і напірним патрубками; 4 - кільце сальника; 5 - набивка сальникова; 6 - кришка сальника; 7 - кронштейн; 8 - підшипник; 9 - вал; 10 - кришка підшипника

Призначені насоси БМ для перекачування паперових і дерево волокнистих мас концентрацією до 8%, водневим показником рН від 2 до 13, з температурою до 100 ° С в технологічних процесах целюлозно-паперових виробництв на целюлозно-паперових і картонних комбінатах. Насос БМ 56 /

						Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

31,5 може бути використаний для перекачування рідких кормів на тваринницьких фермах.

Проточна частина насосів БМ виготовляється з нержавіючої сталі, стійкої в кислих і лужних середовищах. Відлиті спільно відвід насоса і всмоктуючий патрубок і передня кришка, утворюють корпус насоса, в нижній частині якого розташовані лапи для його кріплення на рамі. Широкий всмоктуючий патрубок забезпечує оптимальні значення швидкостей течії перекачуваної рідини на вході в насос.

Робоче колесо - лите п'ятилопатеве (у насосі БМ 56 / 31,5 - дволопатево) закрите, з відбійними лопатями на задньому диску. Є модифікація насоса і з напіввідкритими колесами, тобто без переднього диска. При цьому ККД насоса знижується на 40 %. Масні насоси БМ з напіввідкритими колесами більш надійні в роботі при перекачуванні волокнистих мас високої концентрації. Переднє ущільнення колеса - щілинне.

Привод насоса БМ здійснюється від електродвигуна через втулочно-пальцеву муфту з проставкою. Демонтаж насоса для заміни колеса здійснюється без від'єднання всмоктуючого і напірного трубопроводів від корпусу насоса і електродвигуна від рами (відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 2858).

Масні насоси БМ останньої модифікації, в порівнянні з насосами, які раніше випускалися по ГОСТ 11377-73, мають більш досконалу конструкцію робочих органів, підвищений на 4-5 % ККД, а також високу уніфікацію вузлів і деталей.

Сучасні промислові фекальні насоси компанії «ЗІКО» [3] мають високу продуктивність. Їх потужність і здатність до самовсмоктування дозволяють осушувати резервуари і вигрібні ями, відкачуючи з глибини забруднені довгими волокнами і великими включеннями рідини і фекалії. Насос наведено на рис. 1.3.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12



Рисунок 1.3 – Промисловий фекальний насос компанії «ЗІКО» [3]

За типом монтажу промислові фекальні насоси діляться на 3 види:

1. Поверхневі.
2. Напівзаглиблювальні.
3. Занурювальні.

Поверхневий промисловий насос для забрудненої води встановлюється вище рівня рідини. Він має ряд переваг:

1. Доступна ціна, що значно знижує вартість організації каналізаційної системи.
2. Проста конструкція і висока надійність.
3. Стійкість матеріалів виготовлення фекального промислового насоса до агресивних хімічних речовин стічних вод забезпечує великий термін експлуатації обладнання.
4. Доступна вартість експлуатації, обслуговування та ремонту.
5. Завдяки конструктивним особливостям фекальний насос з подрібнювачем здатний дробити не дуже тверді забруднення.

Напів заглиблювальні промислові насоси для забрудненої води та фекалій тільки наполовину занурюються в відкачувану рідину. Їх двигуни закріплюються на спеціальних поплавцях. Переваги цього типу фекальних насосів:

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						13

- наявність надійних сталевих корпусів і механічних торцевих ущільнювачів, які захищають деталі насосів від механічних пошкоджень і дії вологи;
- здатність перекачувати рідини з великими частками;
- потужні двигуни;
- ефективні системи охолодження і посилені елементи конструкції.

Недоліком цього типу агрегатів є те, що вони не комплектуються подрібнювачами.

Занурювальні промислові фекальні насоси встановлюють на дні вигрібних ям і резервуарів. Це обладнання характеризується:

- зносостійкістю;
- міцністю;
- високою продуктивністю.
- доступною ціною і простотою експлуатації.

Занурювальні насоси встановлюються стаціонарно і призначаються для відкачування ґрунтових, каналізаційних і забруднених мулом вод на різних об'єктах:

- автомийках;
- промислових підприємствах;
- підземних парковках;
- багатоквартирних будинках;
- багатоярусних гаражах і т. д.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Ці насоси застосовують на каналізаційних насосних станціях. У комплект каналізаційної насосної установки входить герметичний резервуар, в який стічна вода надходить самопливом і 1 або 2 насоси для перекачування рідини до місця біологічної очистки. Розміри резервуара і комплектація каналізаційної насосної станції вибираються в кожному випадку індивідуально і залежать від поставлених завдань і обсягу стоків.

Для відкачування забрудненої рідини використовуються різні види pomp Ebara [6]. Занурена дренажна водовідливна помпа Ebara серії DVS (рис. 1.4) виготовлена з чавуну і використовується для перекачування забрудненої і стічної води з твердими частками, каналізаційної води, осушення резервуарів і загальних робіт із забрудненою водою.



Рисунок 1.4 – Водовідливна помпа Ebara серії DVS [6]

Максимальна температура перекачуваної рідини – 40° С. Максимальна глибина занурення: 4 м – 8 м. Максимальний діаметр твердих часток: 21– 41 мм.

Матеріали помпи: корпус помпи, робоче колесо, кришка і корпус двигуна із чавуну; вал із нержавіючої сталі AISI 403; сальник насоса із SiC/SiC/NBR, сальник двигуна із графіту/кераміки/NBR.

На відміну від відцентрових насосів, які є гідродинамічними машинами, в насосах об'ємного типу перекачування рідини відбувається за рахунок

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

примусової зміни обсягу порожнини, яка заповнюється рідиною. Об'ємний насос, незалежно від конструкції, має три основних елементи:

- 1) робочу камеру - порожнину в проточній частині насоса, яка заповнюється рідиною і обсяг якої змінюється;
- 2) витіснювач - елемент, рух якого змінює обсяг робочої камери;
- 3) розподільник - пристрій, що служить для направлення потоку рідини з всмоктуючого патрубку в робочу камеру або з робочої камери до нагнітального патрубку.

### **Конструкція поршневого насоса**

Поршневий насос односторонньої дії [7] має наступні основні елементи (рис. 1.5): циліндр 4, поршень 8, шток поршня 9, робочу камеру 5, всмоктувальний патрубок 7, нагнітальний патрубок 2, всмоктувальний клапан 6, нагнітальний клапан 1, пневмокомпенсатор 3 і кривошипно-шатунний механізм 10 з'єднаний з двигуном.

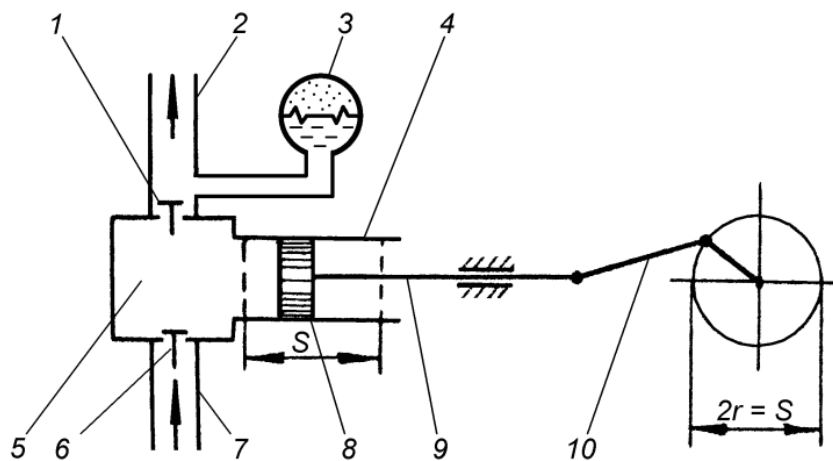


Рисунок 1.5 – Поршневий насос односторонньої дії

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	16



При русі поршня 8 насоса зліва направо в робочій камері 5 утворюється розрядження, завдяки якому рідина піднімається по всмоктуючому патрубку 7, відкриває всмоктуючий клапан 6 і надходить у робочу камеру, заповнюючи простір. При зворотному русі поршня тиск в робочій камері зростає, внаслідок чого всмоктувальний клапан закривається, а нагнітальний клапан 1 відкривається і рідина витісняється в нагнітальний патрубок 2. Таким чином, за один оборот вала двигуна, що відповідає подвійному ходу поршня, в насосі відбувається один раз всмоктування і один раз нагнітання.

Недолік одно поршневого насоса односторонньої дії - його нерівномірна робота - максимальна подача в 3,14 рази перевищує середню. При всмоктуванні рідина в мережу не надходить і двигун працює майже без навантаження. На початку циклу нагнітання відбувається різке зростання швидкості потоку рідини в нагнітальному трубопроводі, через низьку стисливість це призводить до явища гідравлічного удару - тиск за насосом стає значно більше середнього.

**Насоси Н1В** (рис. 1. б) призначені для перекачування чистих і забруднених рідин температурою до 80 ° С, в тому числі хімічно активних, з широким діапазоном кінематичної в'язкості (до 4600 Сст). Максимальна концентрація зважених часток по масі - не більше 5 %, розмір твердих частинок до 0,2 мм. Межі в'язкості і температуру рідини, що перекачується, необхідно погоджувати при замовленні.



Рисунок 1.6 – Одногвинтовий об'ємний насос Н1В [8]

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Насоси типу Н1В можуть використовуватись:

- на суднах морського і річкового флоту для відкачування трюмних вод з домішками нафтопродуктів (насоси судові);
- в технологічних лініях хімічних виробництв для перекачування різних реагентів (насоси хімічні);
- у вугільних розрізах і інших виробництвах для відкачування шахтних вод та інших забруднених неагресивних рідин (насоси загальнопромислові).

Насоси мембранні (діафрагмові, пневматичні) [9] - це агрегати само всмоктувального типу, оснащені пневматичним приводом, які на сьогоднішній день є одними з найбільш затребуваних і універсальних на ринку. Вони відрізняються простим принципом роботи і високим ступенем надійності конструкції і призначені для перекачування рідких середовищ з різними хімічними і фізичними властивостями, в тому числі агресивних, в'язких, забруднених, токсичних та радіоактивних. Цим обумовлено широке застосування даного виду агрегатів в багатьох промислових і побутових сферах, де необхідно якісно і швидко перекачувати малі, середні та великі обсяги середовищ.

Основні області застосування мембранного насосного обладнання:

- хімічна промисловість: перекачування лужних, кислотних, фосфоровмістких сполук, емульсій, порошків, суспензій, реагентів, рідких миючих засобів та ін. (вибір матеріалу корпусу насоса і мембрани проводиться в залежності від середовища, що перекачується);
- харчова промисловість: перекачування різних видів харчової продукції рідкої і в'язкої консистенції, в тому числі тих, що містить тверді включення - напої, сиропи, карамелі, зріджені концентрати, пасти і

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

джеми з м'якими і твердими включеннями, йогурти, шоколад, супи та ін .;

- фармацевтична промисловість: перекачування рідких, порошкоподібних і в'язких лікарських форм, що вимагають високого ступеня чистоти, а також відходів фармацевтичного виробництва;
- лакофарбова промисловість: перекачування вибухонебезпечних, агресивних і абразивних рідких середовищ різного ступеня в'язкості, в тому числі з твердими включеннями - фарб, полірувальних паст, емалей, лаків, розчинників, ацетону, оліфи, затерли і ін., а також відходів лакофарбового виробництва;
- добувна промисловість: перекачування абразивних рідких середовищ, в тому числі з твердими включеннями - шлами, шлікери, відпрацьовані шахтні води, глазури та ін .;
- водопостачання, водоочисні та каналізаційні системи: дозування і перекачування реагентних середовищ, перекачування чистих і забруднених рідин, фекалій та ін .;
- сільське господарство: перекачування переробленої сільськогосподарської продукції та її відходів, іригація, полив, розпорошення добрив та ін .;
- поліграфічна промисловість;
- нафтопереробна промисловість;
- скляне виробництво.

Конструкція насоса мембранного типу гранично проста: він оснащений двома повітряними камерами, двома робочими камерами і двома мембранами (діафрагмами). Мембрани (рис. 1. 7) поділяють собою робочу і повітряну камери в кожній парі. У свою чергу, кожна з мембран міцно затискається двома опорними тарілками і зафіксована на загальному штоку. Шток з мембранами переміщається вперед і назад під впливом повітряного приводу, внаслідок чого відбувається почергове наповнення ним правої і лівої повітряних камер.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Всі мембранні насоси поділяються на сталеві, алюмінієві та пластмасові - в залежності від того, з якого матеріалу зроблені проточна частина і корпус.



Рисунок 1.7 – Мембрана насоса [9]

*Преваги мембранных насосів перед насосами інших видів:*

- простий монтаж, експлуатація та сервісне обслуговування;
- можливість швидкої установки в будь-якому місці;
- компактність мембранных насосів;
- тривала безперебійна експлуатація насоса без ремонтних і змащувальних робіт;
- високий показник ККД при низьких енерговитратах;
- великий вибір матеріалів конструкції і аксесуарів;
- високий ступінь зносостійкості і безпеки мембранного насоса;
- можливість перекачування рідких середовищ з динамічною в'язкістю до 50000 мПа на висоту до 80 м;

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

- робота агрегату всуху без ризику його пошкодження;
- мінімальний вплив на будь-які перекачувальні рідини;
- на відміну від інших видів насосного обладнання, мембранні насоси мають надзвичайно просту і надійну конструкцію, в якій відсутні сальникові і торцеві ущільнювачі, електродвигуни, мастила, підшипники, деталі, що обертаються, опорні плити;
- можливість змінювати продуктивність агрегату шляхом зміни тиску повітря;
- безпечна експлуатація даного виду насосів у вибухонебезпечному середовищі;
- здатність самовсмоктування в залитому і порожньому стані;
- можливість безпечного перекачування токсичних, високо абразивних, агресивних, газових, радіоактивних середовищ, а також сильно забруднених рідин (до 90 % твердих включень, розміром до 50 мм і більше) за рахунок високої хімічної стійкості корпусу і його герметичності;
- витік рідини, що перекачується, через корпус можлива тільки в разі його руйнування.

*Недоліки мембранних / діафрагменних насосів:*

- чим вище показник абразивності рідини, тим вище і зносостійкість мембрани;
- в разі пошкодження мембрани внаслідок постійних циклічних деформацій або інших причин, можливі витіки рідких середовищ і просочування рідини за її простір.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Насоси з робочим колесом типу VORTEX серії ТСТ [10] (рис. 1. 8) застосовуються для перекачування рідин, що містять тверді включення або волокна, а також інші забруднені і в'язкі рідини. Перекачування цих середовищ можливо через те, що застосовується робоче колесо відкритого типу і рідина перекачується завдяки крутному моменту самого колеса, яке не вступає в прямий контакт з рідиною, що перекачується.



Рисунок 1.8 – Насос серії ТСТ [10]

Перекачування рідких середовищ підвищеної в'язкості, а також з домішками дрібних частинок, різних волокон, абразивних та інших забруднень виконується відцентровими насосами з вихровим робочим колесом (рис. 1.9). Транспортування таких потоків рідини ефективно здійснюється насосами серії ТСТ. Відмінною особливістю в насосах цієї серії є використання робочого колеса типу VORTEX (перекладається "вихор") з відкритими лопатями.



Рисунок 1.9 – Робоче колесо типу VORTEX [10]

Головною перевагою устаткування серії ТСТ є можливість транспортування специфічних продуктів у великих обсягах.

*Основні переваги:*

- висока продуктивність (до 250 м<sup>3</sup>/год) і напір до 70 м;
- широкий температурний інтервал рідини, що перекачується – від -10 ° С до +160 ° С;
- використання широкого спектру матеріалів при виготовленні - чавунне лиття, сталь, полімери;
- можливість використання різних варіантів ущільнень;
- низькі енерговитрати;
- міцність і надійність конструкції;
- відсутні жорсткі вимоги до кавітаційної стійкості.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Уніфікованість розмірів насосного обладнання серії ТСТ дозволяє використовувати стандартні комплектуючі серії ТСН - корпусу, кришки і підшипників, що дає можливість виготовляти меншу кількість спеціалізованих елементів для складання насоса.

*Галузь застосування:*

- 1) хімічна і нафтова індустрія;
- 2) фармацевтична, харчова, паперова промисловість і багато іншого;
- 3) здатність перекачувати без засмічення рідини з високо абразивними, твердими і волокнистими включеннями, а так само корозійно-активні і в'язкі рідини;
- 4) робота в важких умовах.

Широку номенклатуру насосів для забруднених рідин випускає АТ «Сумський завод «Насосенергомаш». Це вільновихрові насоси типу СВН (рис. 1.10).

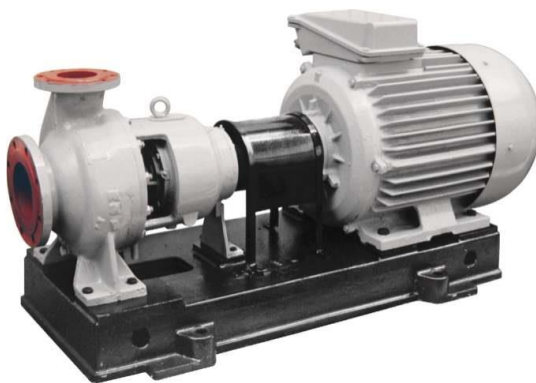


Рисунок 1.10 – Вільновихровий насос типу СВН [11]

Параметри насосів [11]: подача  $Q = 20-200 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 10-50 \text{ м}$ .

Насоси відцентрові, консольні, вільновихрові, з кінцевим ущільненням сальникового типу, з приводом від електродвигуна. Опори ротора - підшипники кочення з консистентним мастилом.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					24



Призначені для перекачування фекальних, комунально-побутових, промислових стічних вод і інших рідин, що містять волокнисті та тверді включення, абразивні частинки. Застосовуються на очисних спорудах та каналізаційних насосних станціях.

Аналіз вищенаведених конструкцій насосів для перекачування забруднених рідин показує, що на задані в завданні параметри насоса (подача  $Q=25 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H=20 \text{ м}$ ) і з урахуванням вітчизняного і закордонного досвіду оптимальною є конструкція вільновихрового насоса схеми Turo (рис. 1.11) [12].

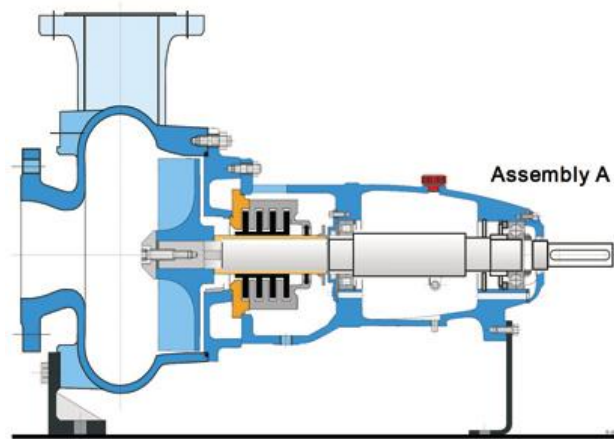


Рисунок 1. 11 – Вільновихровий насос Turo фірми EGGER [12]

Насоси Turo виконані з втопленим в розточення задньої стінки корпусу робочим колесом. Відкрите, спеціальне робоче колесо для однорідних рідин, що містять корозійні і абразивні тверді частинки, з високою концентрацією твердих частинок і великою кількістю газів.

Ефективність насоса - високий ККД насоса, низький NPSH, підвищена зносостійкість, простота конструкції, низькі витрати на експлуатацію.

## 2 ВІЛЬНОВИХРОВІ НАСОСИ. ЗАСТОСУВАННЯ. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ І РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ

На сьогодні вільновихрові насоси (рис. 2.1) [14] є одним із основних видів насосного обладнання, яке застосовується для перекачування забруднених рідин (особливо з волокнистими включеннями). Це пояснюється наявністю між робочим колесом і передньою стінкою корпуса вільної камери.

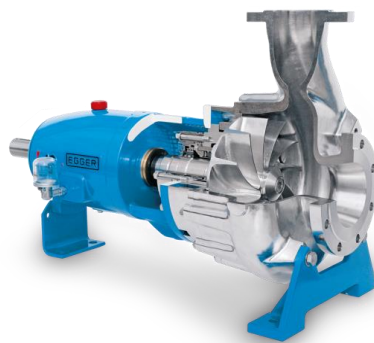


Рисунок 2.1 - Конструкція вільновихрового насоса  
типу «Tуго» фірми EGGER [14]

При роботі ВВН лопаті робочого колеса (РК) розкручують масу гідросуміші, що знаходиться в цій камері, утворюючи так званий вільний вихор (рис. 2.2). Потрапляючи в зону дії вихору, частина гідросуміші, що транспортується, отримує обертальний рух і поступово виходить в напірний патрубок (омінаючи робоче колесо), а інша частина суміші проходить до робочого колеса.

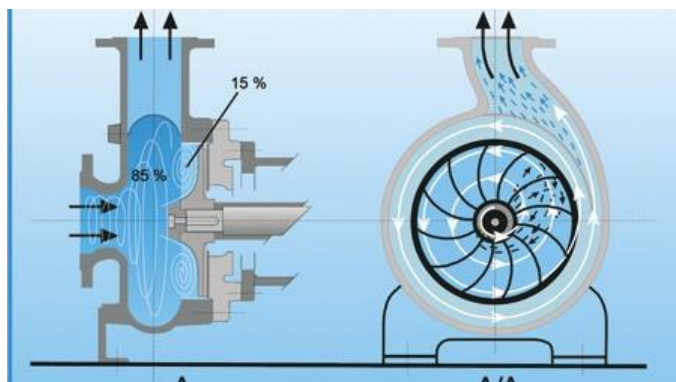


Рисунок 2. 2 – Модель течії рідини у вільно вихровому насосі типу «Туго»

Таким чином, робоче колесо вільно вихрового насоса контактує не з усім транспортованим продуктом, а лише з його частиною (див. рис. 2. 2). Саме ця особливість робочого процесу ВВН привертає увагу фахівців, що займаються проблемами максимального збереження транспортованих матеріалів і продуктів. Ці насоси здатні переміщати необроблені муніципальні стоки, які в значній кількості містять волокна без засмічення. Завдяки «утопленому» всередину насоса робочому колесу досягається максимальний робочий прохід перекачуваного продукту.

Насоси вільно вихрового типу широко застосовуються [1] в комунальному господарстві для перекачування фекальних рідин, ґрунтових і стічних вод, каналізаційного мулу; в сільському господарстві для гідротранспорту органічних добрив, картоплі, фруктів, риби; в харчовій промисловості для перекачування легко ушкоджуючих продуктів, соків, сиропів, суспензій та іншого, а також в целюлозно-паперовій та хімічній промисловостях для транспортування деревної маси, макулатури, полімерів, віскозної сировини, газоподібних рідин та інших продуктів. ВВН перспективно застосовувати в тепловій енергетиці в системах кулькового очищення від забруднень конденсаторів парових турбін, в чорній металургії для гідротранспорту шламу, золи, руд, хвостів на гірничо-збагачувальних фабриках; в нафтовій промисловості для перекачування відходів нафтохімічного виробництва; у вугільній промисловості для гідротранспорту вугілля і вугільного шламу та ін. Ці насоси також можна використовувати для подачі піску, ґрунту, гравію та інших абразивних речовин.

У цих випадках ВВН забезпечують значно більшу надійність та довговічність роботи в порівнянні з відцентровими насосами традиційних конструкцій, хоча і поступаються їм за ККД.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

### 3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ НАСОСА

Насос ВВН 25-20 (рис. 3.1) - вільновихровий, горизонтальний, консольний з робочим колесом, розташованим в розточці задньої стінки корпусу. Відмітна особливість насоса - наявність вільної камери між колесом і передньою стінкою корпусу.

Базова деталь насоса - корпус з вхідним і напірним патрубками. Вхідний патрубок спрямований горизонтально по осі, напірний - вертикально вгору.

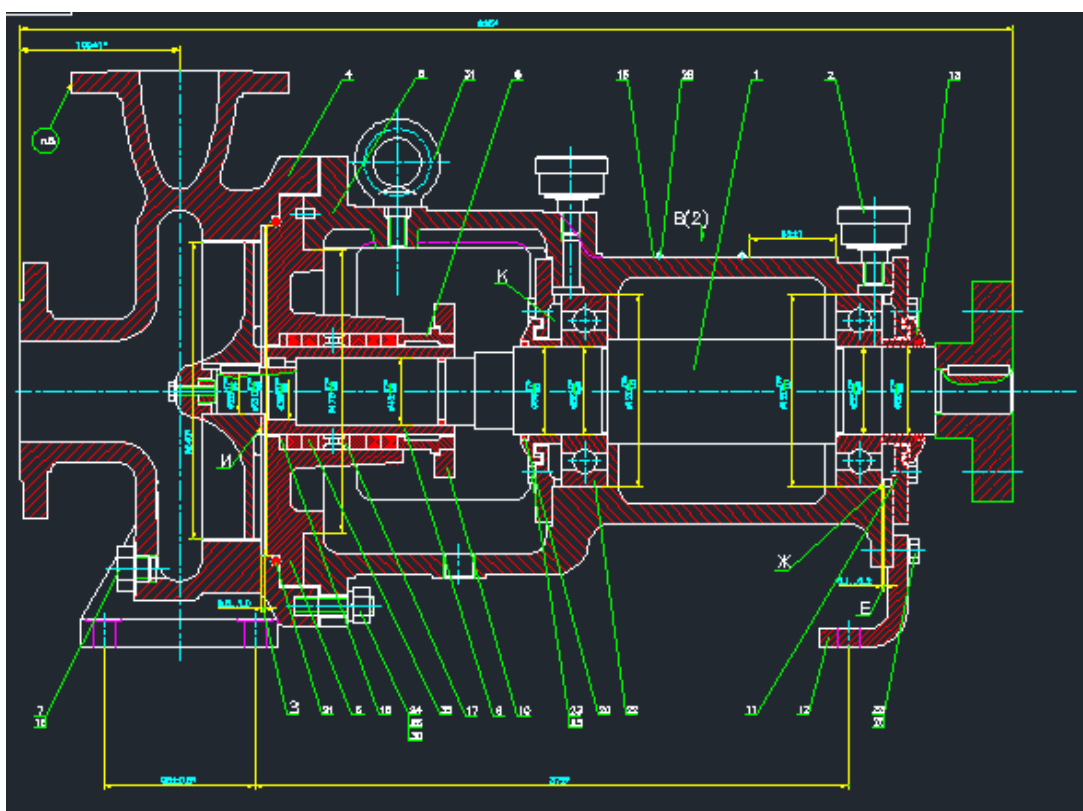


Рисунок 3.1 – Вільновихровий насос ВВН 25-20

Робоче колесо виготовлене зі сталі 20Х13Л і має нахилені лопаті з метою підвищення ККД насоса.

Кінцеве ущільнення насоса сальникового типу з м'якою набивкою. Для запобігання всмоктування повітря у насос в кільце гідрозатвору сальника подається замикаюча рідина від стороннього джерела.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						28

Опорами ротора є підшипники кочення. Мастило підшипників - консистентне.

Привід насоса від синхронного електродвигуна через сполучну пружну втулково-пальцеву муфту.

Напряом обертання ротора - за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку кінця приводного вала.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

## 4 ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ

### 4.1 Розрахунок проточної частини насоса

Для кінцевого визначення розмірів проточної частини і частоти обертання насоса ВВН 25-20 проведемо розрахунки для двох частот обертання:  $n = 1440$  об/хв і  $n = 2880$  об/хв.

Розрахунки ВВН типу "Туро" проводимо за методикою [1].

Геометричні розміри проточної частини насоса показано на рис. 4.1.

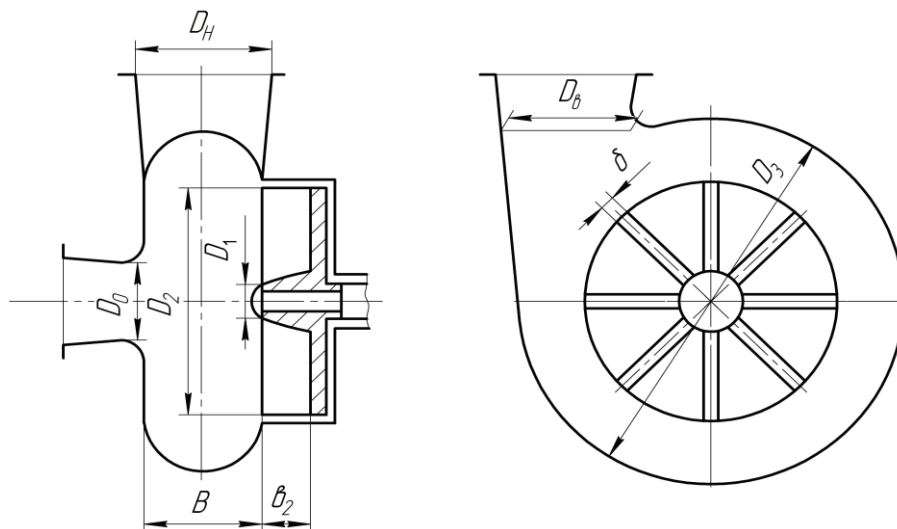


Рисунок 4.1 – Геометричні розміри проточної частини ВВН типу "Туро"

**1 Вихідні дані:** подача  $Q = 25$  м<sup>3</sup>/год; напір  $H = 20$  м; частота обертання  $n = 1440$  об/хв; густина рідини  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>.

1.1 Визначаємо коефіцієнт швидкохідності насоса:

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}; \quad (4.1)$$

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{1440 \cdot \sqrt{25/3600}}{20^{3/4}} = 46,3.$$

1.2 На рис. 4.2 знаходимо ККД і відносну ширину вільної камери при

$$n_s = 46,3: \eta = f(n_s), \bar{B} = f(n_s):$$

$$\eta = 0,41; \bar{B} = 0,09.$$

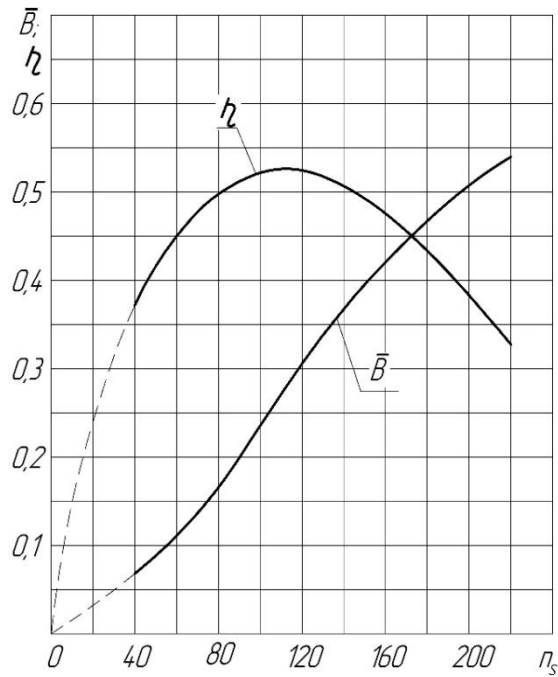


Рисунок 4.2 – Залежність ККД і відносної ширини вільної камери  $\bar{B}$  від  $n_s$  [1]

1.3 Задаємося співвідношеннями основних розмірів робочого колеса:

$$\bar{D}_1 = 0,2, \bar{b}_2 = 0,15; z = 10; \bar{\delta} = 0,02 .$$

1.4 На рис. 4.3 знаходимо:

$$F_1 = 0,0191.$$

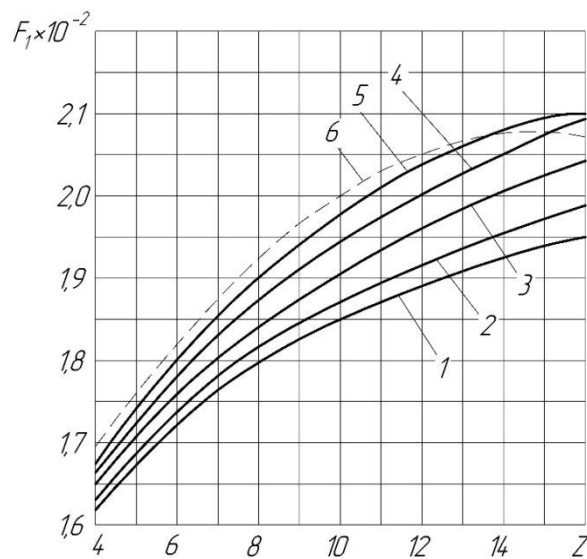


Рисунок 4.3 – Залежність функції  $F_1$  від числа лопатей РК при

$$\bar{D}_1 = 0,2 [1]: \quad 1 - \bar{\delta} = 0,005; \quad 2 - \bar{\delta} = 0,01; \quad 3 - \bar{\delta} = 0,02;$$

$$4 - \bar{\delta} = 0,03; \quad 5 - \bar{\delta} = 0,04; \quad 6 - \bar{\delta} = 0,05$$

1.5 За рис. 4.4 визначаємо:

$$F_2 = f(\bar{B}/\bar{b}_2) ,$$

при  $\bar{B}/\bar{b}_2 = 0,09/0,15 = 0,6$ ;  $F_2 = 2,38$ .

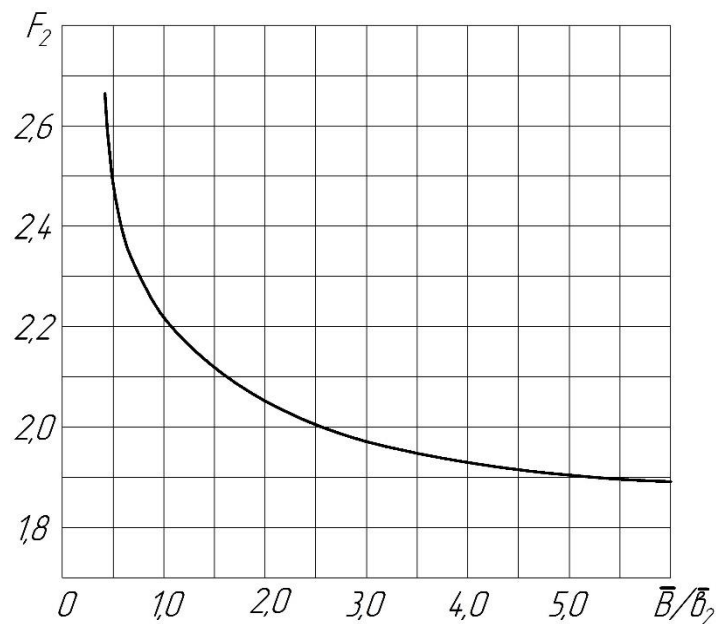


Рисунок 4.4 – Залежність функції  $F_2$  від відношення  $\bar{B}/\bar{b}_2$  [1]

1.6 Розраховуємо діаметр робочого колеса:

$$D_2 = \frac{A}{n} \cdot \sqrt{H} . \quad (4.2)$$

$$A = \left[ \frac{\eta_{мех}}{K \cdot \eta \cdot F_1 \cdot F_2} \right]^{1/2} , \quad (4.3)$$

$\eta_{мех}$  – механічний ККД насоса (для малих і середніх насосів можна прийняти  $\eta_{мех} = 0,95 - 0,97$ );  $K = 7,023 \cdot 10^{-3}$  – постійний коефіцієнт;  $\eta$  – ККД насоса, визначається залежно від  $n_s$ ;  $F_1$  – функція, що враховує вплив відносних розмірів РК, визначається розрахунковим шляхом або з графічної залежності (рис. 4.3) для рекомендованого значення відносного вхідного діаметра РК  $\bar{D}_1 = 0,2$ ;  $F_2$  – функція, що враховує вплив відносних розмірів відводу, визначається за графіком залежно від відношення  $\bar{B}/\bar{b}_2$  (рис. 4.4);  $n$  – частота обертів РК, об/хв.



Приймаємо  $\eta_{\text{мех}} = 0,95$ ;

$$A = \left[ \frac{0,95}{7,023 \cdot 10^{-3} \cdot 0,42 \cdot 0,0191 \cdot 2,38} \right]^{1/2} = 84,17,$$

тоді

$$D_2 = \frac{84,17}{1440} \cdot \sqrt{20} = 0,261 \text{ м} = 261 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $D_2 = 260 \text{ мм.}$

1.7 Обчислюємо абсолютні розміри робочого колеса:

$$D_1 = \bar{D}_1 \cdot D_2; \quad D_1 = 0,2 \cdot 260 = 52 \text{ мм};$$

$$b_2 = \bar{b}_2 \cdot D_2; \quad b_2 = 0,15 \cdot 260 = 39 \text{ мм};$$

Приймаємо  $b_2 = 40 \text{ мм.}$

$$\delta = \bar{\delta} \cdot D_2; \quad \delta = 0,02 \cdot 260 = 5,2 \approx 5 \text{ мм.}$$

1.8 Знаходимо ширину вільної камери:

$$B = 0,09 \cdot 260 = 23,4 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $B = 24 \text{ мм.}$

Перевіряємо ширину вільної камери за формулою В. Соляника [1]:

$$B = \left[ K_B \left( \frac{2\bar{b}_2}{1 + \bar{D}_0} - \bar{\delta} \right) \right] D_2, \quad (4.4)$$

де  $D_2$  – зовнішній діаметр робочого колеса, м;

$\bar{b}_2 = \frac{b_2}{D_2}$  – відносна ширина лопаті РК;

$$\bar{b}_2 = \frac{0,040}{0,260} = 0,15.$$

$\bar{D}_0 = \frac{D_0}{D_2}$  – відносний діаметр входу:

$$\bar{D}_0 = \frac{0,080}{0,260} = 0,308.$$

$\bar{\delta} = \frac{\delta}{D_2}$  – відносна товщина лопаті РК;

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$\bar{\delta} = \frac{0,005}{0,260} = 0,02.$$

$K_B$  – коефіцієнт, що враховує швидкохідність насоса.

Величина  $K_B$  може бути визначена із залежності:

$$K_B = 16,4 \cdot 10^{-3} n_s - 0,422; \quad (4.5)$$

$$K_B = 16,4 \cdot 10^{-3} \cdot 46,3 - 0,422 = 0,337.$$

де  $n_s$  – коефіцієнт швидкохідності.

$$B = \left[ 0,337 \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,15}{1 + 0,308} - 0,02 \right) \right] \cdot 0,260 = 0,018 \text{ м} = 18 \text{ мм}$$

З урахуванням перевірки і аналізу, приймаємо остаточну ширину вільної камери:  $B = 0,020 \text{ м} = 20 \text{ мм}$ .

1.9 Приймаємо кільцевий відвід, основні геометричні розміри якого такі:

$$D_3 = D_2 + B; \quad D_3 = 260 + 20 = 280 \text{ мм}.$$

1.10 Визначаємо діаметр входу в насос.

Вхідний коефіцієнт швидкості:

$$K_{V_0} = (0,2 - 0,25) \cdot (n_s / 100)^{2/3}, \quad (4.6)$$

$$K_{V_0} = (0,2 - 0,25) \cdot (46,3 / 100)^{2/3} = 0,12 - 0,15.$$

Приймаємо  $K_{V_0} = 0,135$ .

Швидкість у вхідному патрубку

$$V_0 = 0,135 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 20} = 2,67 \text{ м/с}.$$

Діаметр входу

$$D_0 = \sqrt{4 \cdot 25 / 3600 \cdot 3,14 \cdot 2,67} = 0,058 \text{ м}.$$

Умова  $D_0 \geq B$  виконується.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						34

Діаметри всмоктувального та напірного патрубків приймаємо у відповідності з ГОСТ 27854 – 88 “ Насоси динамічні. Ряди основних параметрів ”:

$$D_{\text{вх}} = 80 \text{ мм}; D_{\text{н}} = 65 \text{ мм}.$$

Кінцеві діаметри патрубків приймаємо після розробки конструкції насоса.

1.11 Визначаємо потужність насоса на робочому режимі і підбираємо електродвигун:

$$N = \frac{\rho g Q H}{1000 \cdot \eta}; \quad (4.7)$$

$$N = \frac{1100 \cdot 9,81 \cdot 25 \cdot 20}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,41} = 3,66 \text{ кВт}.$$

Потужність електродвигуна:

$$N_{\text{ед}} = \kappa \cdot N, \quad (4.8)$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт запасу, який обирають залежно від потужності.

Приймаємо  $\kappa = 1,25$ .

$$N_{\text{ед}} = 1,25 \cdot 3,66 = 4,58 \text{ кВт}.$$

1.12 Визначаємо діаметр вала. Мінімальний діаметр вала насоса:

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{N}{n} \cdot \frac{48960}{[\tau_{\text{кр}}]}}; \quad (4.9)$$

де  $[\tau_{\text{кр}}]$  – допустиме напруження кручення, Па.

Матеріал вала: сталь 40 X,  $[\tau_{\text{кр}}] = 200 \cdot 10^6$  Па.

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{4,58}{1440} \cdot \frac{48960}{200 \cdot 10^6}} = 0,0092 \text{ м}.$$

Приймаємо  $d_{\text{в}} = 10 \text{ мм}$ .

Остаточний розмір вала приймаємо при конструктивній розробці насоса.

**2 Вихідні дані:** подача  $Q = 25 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 20 \text{ м}$ ; частота обертання  $n = 2880 \text{ об/хв}$ ; густина рідини  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ .

	2.1	Визначаємо коефіцієнт швидкохідності насоса за формулою (4.1):	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись Дата
			35

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{2880 \cdot \sqrt{25/3600}}{20^{3/4}} = 92,6.$$

2.2 На рис. 4.2 знаходимо ККД і відносну ширину вільної камери при  $n_s = 92,6$ :  $\eta = f(n_s)$ ,  $\bar{B} = f(n_s)$ :

$$\eta = 0,52; \bar{B} = 0,21.$$

2.3 Задаємося співвідношеннями основних розмірів робочого колеса:

$$\bar{D}_1 = 0,2, \bar{b}_2 = 0,15; z = 10; \bar{\delta} = 0,02.$$

2.4 На рис. 4.3 знаходимо:

$$F_1 = 0,0191.$$

2.5 За рис. 4.4 визначаємо:

$$F_2 = f(\bar{B}/\bar{b}_2),$$

$$\text{при } \bar{B}/\bar{b}_2 = 0,21/0,15 = 1,4; F_2 = 2,13.$$

2.6 Розраховуємо діаметр робочого колеса за формулами (4.2 і 4.3):

Приймаємо  $\eta_{\text{мех}} = 0,95$ ;

$$A = \left[ \frac{0,95}{7,023 \cdot 10^{-3} \cdot 0,52 \cdot 0,0191 \cdot 2,13} \right]^{1/2} = 79,96,$$

тоді

$$D_2 = \frac{79,96}{2880} \cdot \sqrt{20} = 0,124 \text{ м} = 124 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $D_2 = 125 \text{ мм}$ .

2.7 Обчислюємо абсолютні розміри робочого колеса:

$$D_1 = \bar{D}_1 \cdot D_2; \quad D_1 = 0,2 \cdot 125 = 25 \text{ мм};$$

$$b_2 = \bar{b}_2 \cdot D_2; \quad b_2 = 0,15 \cdot 125 = 18,75 \text{ мм};$$

Приймаємо  $b_2 = 18 \text{ мм}$ .

$$\delta = \bar{\delta} \cdot D_2; \quad \delta = 0,02 \cdot 125 = 2,5 \approx 3 \text{ мм}.$$

2.8 Знаходимо ширину вільної камери:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					36

$$B = 0,21 \cdot 125 = 26,25 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $B = 26 \text{ мм.}$

Перевіряємо ширину вільної камери за формулою (4.4):

Для цього попередньо визначаємо

Відносну ширину лопаті РК :

$$\bar{b}_2 = \frac{0,018}{0,125} = 0,15 ,$$

відносний діаметр входу:

$$\bar{D}_0 = \frac{0,065}{0,125} = 0,52 ,$$

відносну товщину лопаті РК;

$$\bar{\delta} = \frac{0,003}{0,125} = 0,024.$$

$K_B$  – коефіцієнт, що враховує швидкохідність насоса.

Величину  $K_B$  визначаємо за формулою (4.5):

$$K_B = 16,4 \cdot 10^{-3} \cdot 92,6 - 0,422 = 1,1.$$

Після підстановки одержуємо

$$B = \left[ 1,1 \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,15}{1 + 0,52} - 0,024 \right) \right] \cdot 0,125 = 0,024 \text{ м} = 24 \text{ мм.}$$

З урахуванням перевірки і аналізу, приймаємо остаточну ширину вільної камери:  $B = 0,025 \text{ м} = 25 \text{ мм.}$

2.9 Приймаємо спіральний відвід, основні геометричні розміри якого такі:

$$D_3 = D_2 + B; \quad D_3 = 125 + 25 = 150 \text{ мм.}$$

2.10 Визначаємо діаметр входу в насос.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Вхідний коефіцієнт швидкості:

$$K_{v_0} = (0,2 - 0,25) \cdot (n_s / 100)^{2/3}, \quad (4.6)$$

$$K_{v_0} = (0,2 - 0,25) \cdot (92,6 / 100)^{2/3} = 0,19 - 0,24.$$

Приймаємо  $K_{v_0} = 0,22$ .

Швидкість у вхідному патрубку

$$V_0 = 0,22 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 20} = 4,36 \text{ м/с.}$$

Діаметр входу

$$D_0 = \sqrt{4 \cdot 25 / 3600 \cdot 3,14 \cdot 4,36} = 0,045 \text{ м.}$$

Умова  $D_0 \geq B$  виконується.

Діаметри всмоктувального та напірного патрубків приймаємо у відповідності з ГОСТ 27854 – 88 “Насосы динамические. Ряды основных параметров”:

$$D_{\text{вх}} = 65 \text{ мм}; D_{\text{н}} = 50 \text{ мм.}$$

Кінцеві діаметри патрубків приймаємо після розробки конструкції насоса.

2.11 Визначаємо потужність насоса на робочому режимі за формулою (4.7) і підбираємо електродвигун:

$$N = \frac{1100 \cdot 9,81 \cdot 25 \cdot 20}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,52} = 2,88 \text{ кВт.}$$

Визначаємо потужність електродвигуна за формулою (4.8).

Приймаємо  $k = 1,25$ .

$$N_{\text{ед}} = 1,25 \cdot 2,88 = 3,6 \text{ кВт.}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

2.12 Визначаємо діаметр вала. Мінімальний діаметр вала насоса за формулою (4.9):

Матеріал вала: сталь 40 X, допустиме напруження кручення  $[\tau_{кр}] = 200 \cdot 10^6$  Па.

$$d_b = \sqrt[3]{\frac{3,6}{2880} \cdot \frac{48960}{200 \cdot 10^6}} = 0,0067 \text{ м.}$$

Приймаємо  $d_b = 10$  мм.

Остаточно розмір вала приймаємо при конструктивній розробці насоса.

**Висновок.** Аналіз розрахунків показав, що при частоті обертання  $n = 2880$  об/хв насос ВВН 25-20 буде мати менші габаритні розміри і вагу, його ККД на 11 % вищий і складає 52 %. Частоту обертання  $n = 2880$  об/хв приймаємо для подальших розрахунків.

#### 4.2 Розрахунок осьової сили

На ротор ВВН діє результуюча осьова сила, зазвичай спрямована в бік, протилежний напрямку входу рідини в РК. Величина цієї сили дорівнює алгебраїчній сумі осьових сил, що діють на окремі елементи ротора насоса. На рис. 4.5 показана схема дії цих сил. Результуюча осьова сила

$$A = A_n - A_k - A_o \pm A_{ох} \quad (4.10)$$

де  $A_n$ ,  $A_k$ ,  $A_{ох}$  - сили тиску, що діють відповідно з боку пазухи S на зовнішню поверхню диска РК, зі сторони вільної камери на внутрішню поверхню диска РК і на вході в РК;  $A_o$  - сила, що діє на внутрішню поверхню диска РК, обумовлена натіканням потоку рідини і зміною його напрямку (так звана динамічна складова).

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

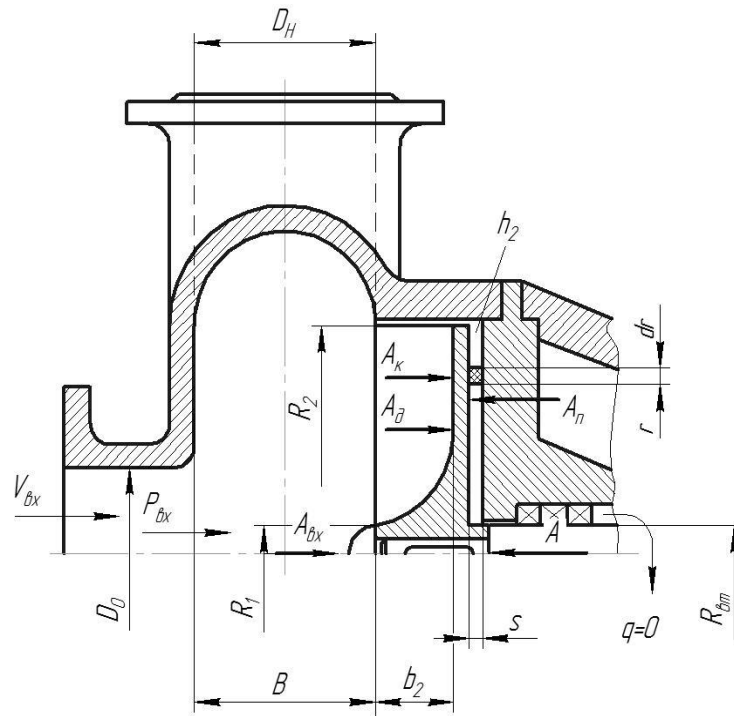


Рисунок 4.5 – Схема дії осьових сил у ВВН

Розрахунок осьової сили проводимо за методичними рекомендаціями [1].

Результуюча осьова сила  $A$  (Н):

$$A = \pi \rho g H \left[ \beta (R_2^2 - R_{0m}^2) - \psi_z (R_2^2 - R_1^2) \right] - \frac{\pi}{4} k^2 \rho R_2^4 \omega^2 (1 - \bar{R}_{0m}^2)^2. \quad (4.11)$$

$$A = 3,14 \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot 20 \left[ 10 (0,0625^2 - 0,0125^2) - \psi_z (R_2^2 - R_1^2) \right] - \frac{\pi}{4} k^2 \rho R_2^4 \omega^2 (1 - \bar{R}_{0m}^2)^2.$$

Параметри насоса на розрахунковому режимі:  $Q = 25 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $H = 20 \text{ м}$ ;

$n = 2880 \text{ об/хв}$ ;  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ .

Геометричні параметри РК:  $R_2 = 62,5 \text{ мм}$ ,  $R_1 = R_{0m} = 12,5 \text{ мм}$ ,

Коефіцієнт швидкості насоса:  $n_s = 92,6$ :

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



Визначаємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{nD_2^2}{\nu} = \frac{2880 \cdot 0,0125^2}{60 \cdot 1,79 \cdot 10^{-6}} = 0,418 \cdot 10^6,$$

де  $\nu = 1,79 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  - кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини при  $0^\circ \text{ С}$ ;  
 $n$  - частота обертання, об/с.

Отримане значення числа Рейнольдса знаходиться в діапазоні  $0,4 \cdot 10^6 \leq Re \leq 1,3 \cdot 10^6$ . Тому для розрахунку коефіцієнтів  $\beta$  и  $\psi_r$  використовуємо рекомендовані формули :

$$\beta = 0,407 + \frac{0,361 \cdot 10^6}{Re} = 0,407 + \frac{0,361 \cdot 10^6}{0,418 \cdot 10^6} = 1,270;$$

$$\psi_r = -0,105 + \frac{0,511 \cdot 10^6}{Re} = -0,105 + \frac{0,511 \cdot 10^6}{0,418 \cdot 10^6} = 1,117.$$

Кутова швидкість обертання РК,  $\text{с}^{-1}$  ;

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2880}{30} = 301,44 \text{ с}^{-1}.$$

Обчислюємо відносний радіус втулки РК

$$\bar{R}_{вт} = \frac{R_{вт}}{R_2} = \frac{0,0125}{0,0625} = 0,2.$$

Приймаємо коефіцієнт  $k = 0,486$ .

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$\begin{aligned}
 A &= \pi \rho g H \left[ \beta (R_2^2 - R_{\text{вм}}^2) - \psi_z (R_2^2 - R_1^2) \right] - \frac{\pi}{4} k^2 \rho R_2^4 \omega^2 (1 - \bar{R}_{\text{вм}}^2)^2 = \\
 &= 3,14 \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot 20 \left[ 1,270 (0,0625^2 - 0,0125^2) - 1,117 (0,0625^2 - 0,0125^2) \right] - \\
 &= \frac{3,14}{4} \cdot 0,486^2 \cdot 1100 \cdot 0,0625^4 \cdot 301,44^2 (1 - 0,2^2)^2 = 128,2 \text{ Н}.
 \end{aligned}$$

Зменшення осьової сили від дії лопатей імелера визначаємо за формулою [Михайлов, Малюшенко]:

$$T_{\text{л}} = 3/8 \cdot \rho \cdot g (\pi D_{2u}^2 / 4 - \pi d_{1u}^2 / 4) ((U_{2u}^2 - U_{1u}^2) / 2g), \quad (4.12)$$

де  $D_{2u}$  - зовнішній діаметр лопатей імелера,  $D_{2u} = 0,125$  м;

$d_{1u}$  - внутрішній діаметр лопатей імелера,  $d_{1u} = 0,060$  м;

$U_{2u}$  - колова швидкість на виході імелера;

$U_{1u}$  - колова швидкість на вході імелера.

$$U_{2u} = \frac{\pi \cdot D_{2u} \cdot n}{60}, \quad (4.13)$$

$$U_{2u} = \frac{3,14 \cdot 0,125 \cdot 2880}{60} = 18,84 \text{ м/с};$$

$$U_{1u} = \frac{\pi \cdot D_{1u} \cdot n}{60}, \quad (4.14)$$

$$U_{1u} = \frac{3,14 \cdot 0,060 \cdot 2880}{60} = 9,04 \text{ м/с}.$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{л}} &= 3/8 \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot (3,14 (0,125^2) / 4 - 3,14 (0,06^2) / 4) \cdot ((18,84^2 - \\
 &9,04^2) / 2 \cdot 9,81) = 532 \text{ Н}.
 \end{aligned}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Осьова сила від дії лопатей імпелера значно перевищує осьове зусилля. Змінимо розміри імпелера. Внутрішній діаметр лопатей імпелера приймаємо  $d_{1u} = 0,100$  м.

Перерахуємо.

$$U_{1u} = \frac{3,14 \cdot 0,100 \cdot 2880}{60} = 15,07 \text{ м/с.}$$

$$T_{л} = 3/8 \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot (3,14 (0,125^2)/4 - 3,14 (0,100^2)/4) \cdot ((18,84^2 - 15,07^2)/2 \cdot 9,81) = 116,4 \text{ Н.}$$

Величина осьового зусилля, яке сприймається підшипниками насоса, буде дорівнювати:

$$T = A - T_{л}; \quad (4.15)$$

$$T = 128,2 - 116,4 = 11,8 \text{ Н.}$$

### 4.3 Розрахунок радіальної сили

Радіальна сила в насосі виникає внаслідок колової нерівномірності параметрів потоку зі всмоктувальної та напірної сторони робочого колеса.

Методика розрахунку радіальної сили в ВВН, що враховує режим роботи і геометрію відводу, відсутня через складність характеру руху рідини і недостатнє дослідження розподілу тиску в проточній частині.

Для наближеного визначення радіальної сили в ВВН зі спіральним відведенням використовуємо формулу, яка застосовується при розрахунку радіальної сили у відцентрових насосах [1]:

$$R = k_R \left[ 1 - \left( \frac{Q}{Q_{опт}} \right)^2 \right] \rho g H D_2 b_{2д}, \quad (4.16)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

де  $R$  – радіальна сила в насосі;  $k_R \approx 0,36$  – безрозмірний коефіцієнт радіальної сили;  $Q$  – поточне значення подачі;  $b_{2Д}$  – ширина РК на виході, яка включає в себе і товщину його дисків.

Максимальне значення радіальна сила досягає при подачі, приблизно рівній 0. З урахуванням цього, формула (4.17) набуває вигляду:

$$R = k_R \rho g H D_2 b_{2Д}. \quad (4.18)$$

З креслення робочого колеса  $b_{2Д} = 0,023$  м.

Визначаємо радіальну силу:

$$R = 0,36 \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot 20 \cdot 0,125 \cdot 0,023 = 224 \text{ Н}.$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

#### 4.4 Розрахунок насоса на кавітацію

Розрахунок насоса на кавітацію проводимо за рекомендаціями [1]. При розрахунку необхідно визначити значення допустимого кавітаційного запасу  $h_{доп}$ .

1 За рис. 4.6 при  $Z = 10$  знаходимо кавітаційний коефіцієнт швидкохідності:

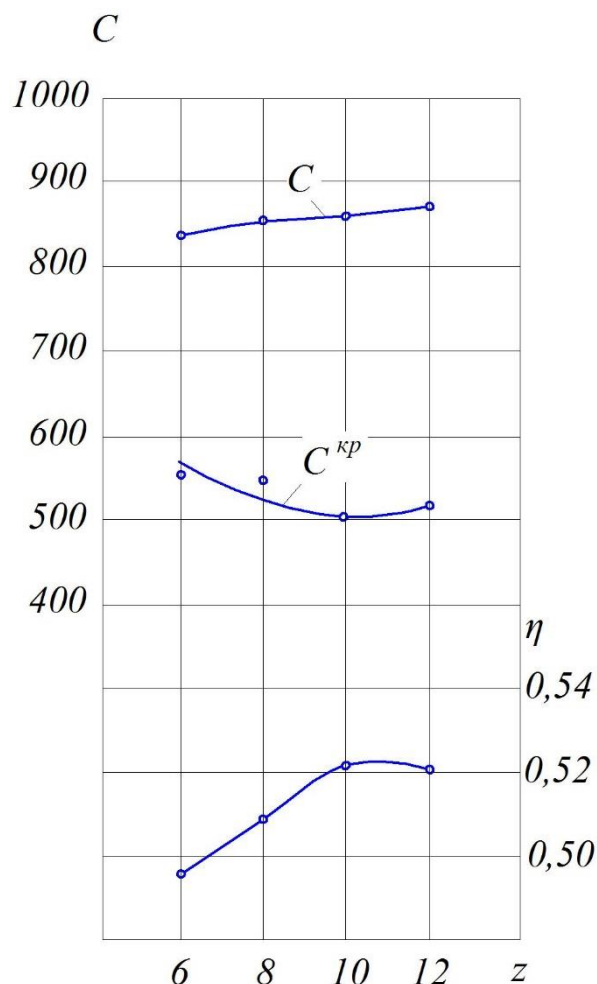


Рисунок 4.6 – Залежність кавітаційних коефіцієнтів швидкохідності ВВН від Z

$$C = 860.$$

2 Для визначення мінімального кавітаційного запасу використовуємо формулу С. С. Руднева

$$\Delta h_{кр} = 10 \cdot \left( \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{C} \right)^{4/3}, \quad (4.18)$$

де  $n$  – частота обертання насоса, об/хв;  $Q$  - подача, м<sup>3</sup>/с;  $C$  - кавітаційний коефіцієнт швидкохідності, що характеризує кавітаційні якості насоса.

3 Розраховуємо критичний кавітаційний запас:

$$\Delta h_{кр} = 10 \cdot \left( \frac{2880 \cdot \sqrt{20} / 3600}{860} \right)^{4/3} = 1,57 \text{ м}$$

4 Визначаємо допустимий кавітаційний запас за формулою:

$$\Delta h_{доп} = (1,1 - 1,3) \Delta h_{кр} . \quad (4.19)$$

$$\Delta h_{доп} = 1,3 \cdot 1,57 = 2,04 \text{ м}.$$

						Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ

### 5.1 Конструювання вала

Конструювання вала починаємо з визначення його діаметрів (рис. 5.1).

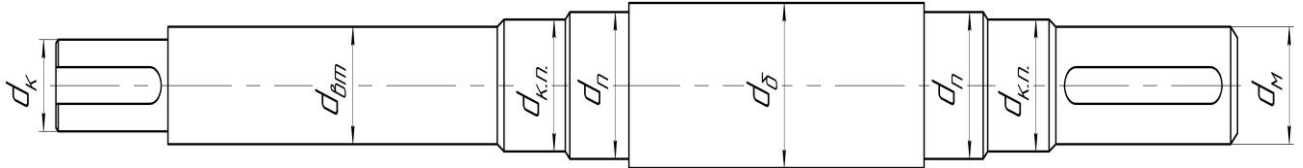


Рисунок 5.1 – Розміри діаметрів вала насоса

Діаметр вала під робочим колесом (м) визначаємо з розрахунку на кручення за формулою

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot [\tau]}}, \quad (5.1)$$

де  $[\tau] = (10 \div 30) \cdot 10^6$  - дотичне напруження при крученні, Па.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 20,2}{3,14 \cdot 30 \cdot 10^6}} = 0,01508 \text{ м}$$

Кінцеві розміри вала приймаємо після його конструктивної розробки.

Приймаємо  $d_k = 19$  мм.

Діаметр вала під захисну втулку, мм:

$$d_{em} = d_k + 10, \quad (5.2)$$

$$d_{em} = 19 + 10 = 29 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $d_{em} = 42 \text{ мм}$ .

Діаметр вала під напівмуфту, мм:

$$d_m = 0,8 \div 1,2 d_{oe}, \quad (5.3)$$

де  $d_{oe}$  - вихідний кінець вала обраного двигуна, мм.

$$d_m = 1,1 \cdot 28 = 30,8 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $d_m = 32 \text{ мм}$ .

Всі інші розміри визначаємо з конструкції вала.

Діаметр посадочної поверхні підшипника, мм:

$$d_n = 55 \text{ мм}.$$

Діаметр буртика для упору підшипника, мм:

$$d_o = 64 \text{ мм}.$$

						Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## 5.2 Розрахунок кінцевого ущільнення вала

### 5.2.1 Вибір типу ущільнення

У конструкції насоса як кінцеве ущільнення вала застосовано ущільнення сальникового типу (рис. 5.2).

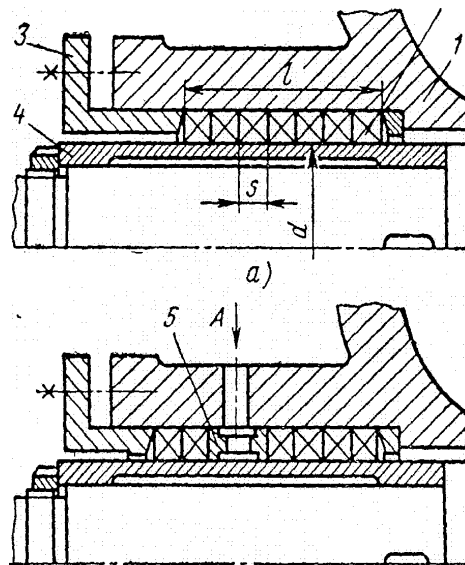


Рисунок 5.2 – Конструкція сальникового ущільнення

Ущільнення сальникового типу набули широкого застосування в насосах завдяки простоті їх конструкції. Як набивку найчастіше використовують паронітові шнури, скручені у кільця.

Сальникові ущільнення використовуються для тисків, що не перевищують 1,0 МПа. Для нормальної роботи сальникового ущільнення необхідно забезпечити змащування поверхонь, що труться та відведення тепла, що виділяється при терті. Тому затяжка набивного ущільнення повинна бути такою, щоб через нього було забезпечено протікання рідини у кількості 10 - 15 л/год. Затягування ущільнення до повного припинення протікань не допускається, тому що при цьому відбувається вигорання мастила в ущільненні та пошкодження поверхонь, що контактують з набивкою.

Товщина кільця набивки сальника, мм:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$S = \sqrt{d}, \quad (5.4)$$

де  $d$  – діаметр вала в місці набивання сальника, мм:

$$d = d_{em} + 10. \quad (5.5)$$

$$d = 42 + 10 = 52 \text{ мм}$$

$$S = \sqrt{52} = 7,21 \text{ мм}$$

Приймаємо  $S = 10 \text{ мм}$

Довжина сальникового ущільнення, мм:

$$L = i \cdot s, \quad (5.6)$$

де  $i$  – кількість кілець набивки, шт. ( $i = 5$ ).

$$L = 5 \cdot 10 = 50 \text{ мм}$$

Відповідно до ГОСТ 5152-84 вибираємо сальникову набивку з одношаровим оплетінням марки АПІ 10х10.

						Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 5.2.2 Розрахунок споживаної потужності в ущільненні

Визначимо втрати потужності в сальнику

$$N_C = 3,22 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot r^2 \cdot s \cdot \sigma_0 \left( 1 - e^{-2af \frac{1}{s}} \right), \quad (5.7)$$

де  $r$  – радіус захисної втулки, см ( $r = 5,0$  см);

$n$  – частота обертів вала, об/хв;

$\sigma_0$  – контактне напруження між набивкой та валом, кг/см<sup>2</sup>;

$l$  - довжина пакета сальникової набивки ( $l = 5,0$  см);

$a = 0,5$  – коефіцієнт;

$f$  - коефіцієнт тертя ( $f = 0,01 - 0,1$ ).

Контактне напруження

$$\sigma_0 = P_0 \cdot e^{2af \frac{1}{s}}, \quad (5.8)$$

де  $l$  - довжина пакета ( $l = 5,0$  см);

$f = 0,05$  - коефіцієнт тертя;

$s$  – товщина кільця сальникової набивки, см ( $s = 1$  см);

$P_0$  – тиск на вході в насос ( $P_0 = 2$  кг/см<sup>2</sup>).

$$\sigma_0 = 2 \cdot e^{2 \cdot 0,5 \cdot 0,05 \cdot (5/1)} = 2,57 \text{ кг/см}^2.$$

$$N_C = 3,22 \cdot 10^{-5} \cdot 2880 \cdot 2,1^2 \cdot 1 \cdot 2,57 \cdot (1 - e^{-2 \cdot 0,5 \cdot 0,05 \cdot (5/1)}) = 0,232 \text{ кВт}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

## 5.3 Розрахунок вала

Основними задачами розрахунку валів є забезпечення об'ємної міцності, обмеження величини деформації згинання та кручення в найбільш небезпечному перерізі. Оскільки розрахунок та конструювання є процесами взаємзв'язаними, тому визначення необхідних розмірів виконується в три етапи. На першому – попередньому розрахунку – визначаються реакції, що діють в опорах вала. На другому етапі – наближеному – уточнюють основні розміри вала. На третьому - перевірному – визначають коефіцієнти запасу міцності, звіряють їх з допустимими та за необхідності вносяться корективи з метою приведення фактичних запасів міцності до допустимих.

### 5.3.1 Розрахунок реакцій в опорах

При роботі насоса в робочому колесі виникає неврівноважена радіальна сила  $R_1 = R$  (див. рис. 5.3), що сприймається підшипниками насоса, в результаті чого в опорах виникають реакції ( $R_2, R_3$ ).

Реакції в опорах можна знайти використовуючи рівняння моментів відносно т. В і т. С.

Рівняння моментів відносно т. С:

$$\Sigma M_C = R_1(l_1 + l_2) - R_2 l_2 = 0. \quad (5.9)$$

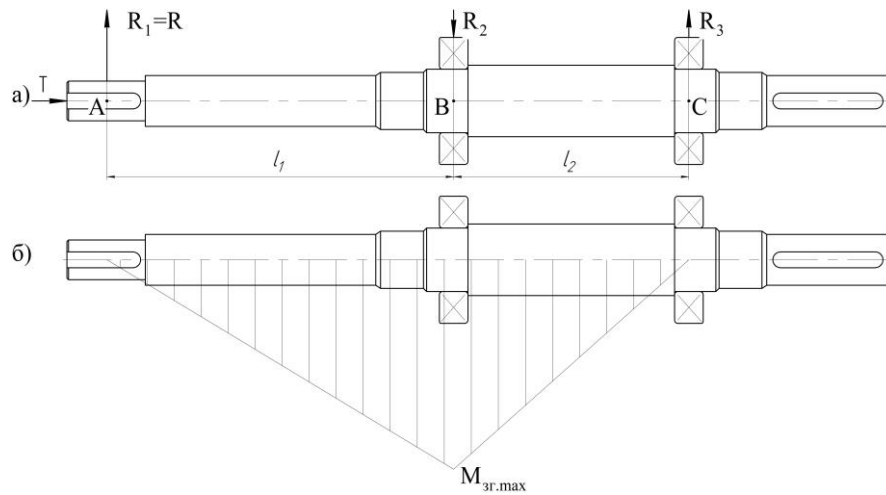


Рисунок 5.3 - Вал насоса:

а) схема навантаження; б) епюра згинальних моментів

Для розрахунків  $l_1$  взяти відстань від вісі підшипника (т. В) до середини втулки під РК (приблизно по кресленню насоса).

З наведеного рівняння можна знайти величину  $R_2$ , Н:

$$R_2 = \frac{0,125(l_1 + l_2)}{l_2} \quad (5.10)$$

$$R_2 = \frac{1042(220 + 175)}{175} = 2352 \text{ Н} .$$

Рівняння моментів відносно т. В:

$$\Sigma M_B = R_1 l_1 - R_3 l_2 = 0 . \quad (5.11)$$

З наведеного рівняння можна знайти величину  $R_3$ , Н:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$R_3 = \frac{R_1 l_1}{l_2}. \quad (5.12)$$

$$R_3 = \frac{1042 \cdot 220}{175} = 1310 H.$$

### 5.3.2 Розрахунок вала

Еквівалентний момент в найбільш небезпечному перерізі, Н·м:

$$M_E = \sqrt{M_{зг.маx}^2 + 0,75M_{маx}^2}, \quad (5.13)$$

де  $M_{зг.маx}$  - максимальний згинальний момент, Н·м.

Максимальний згинальний момент:

$$M_{зг.маx} = R_1 l_1.$$

$$M_{зг.маx} = 1042 \cdot 0,22 = 229,24 H \cdot m$$

$$M_E = \sqrt{229,24^2 + 0,75 \cdot 20,2^2} = 230 H \cdot m$$

Діаметр вала в найбільш небезпечному перерізі, мм:

$$d_n \geq 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_E}{0,1 \cdot [\sigma]}}, \quad (5.14)$$

де  $[\sigma] = 40$  МПа.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$d_n \geq 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{230}{0,1 \cdot [40000000]}} = 55_{\text{мм}}.$$

Розрахований діаметр округлюється в більшу сторону до значення, кратного 5.

## 5.4 Розрахунок шпонкового з'єднання

### 5.4.1 Розрахунок на міцність шпонкового з'єднання вала з колесом

Вихідні дані для розрахунку:

- матеріал вала - Сталь 45

- матеріал шпонки – Сталь 45ХН

Розміри шпонки під робочим колесом вибирають зі стандартного ряду залежно від діаметра вала, мм:  $b \times h \times l$ .

Під час розрахунку шпонкового з'єднання вала з колесом визначається напруження на зминання, МПа:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{\max}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} \cdot 10^3, \quad (5.15)$$

де  $t_1$  – глибина паза вала (вибирається за довідковою літературою), мм;

$h$  – висота шпонки, мм;

$d = d_k$  – діаметр вала, мм;

$M_{\max}$  підставляється в Н·м;

$l_p$  – робоча довжина шпонки, мм:

$$l_p = l - b,$$

де  $l$  - довжина шпонки, мм;

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

$b$  - ширина шпонки, мм.

$$l_p = 53 - 8 = 45 \text{ мм} .$$

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 20,2}{28 \cdot 45 \cdot (3,3 - 1)} \cdot 10^3 = 13,94 \text{ МПа} .$$

Допустиме напруження на зминання:

$$[\sigma]_{зм} = 0,56 \cdot \sigma_{0,2} , \quad (5.16)$$

де  $\sigma_{0,2} = 343$  МПа - межа текучості матеріалу шпонки.

$$[\sigma]_{зм} = 0,56 \cdot 343 = 192,08 \text{ МПа} .$$

При розрахунку на зминання повинна виконуватися умова

$$\sigma_{зм} \leq [\sigma]_{зм} . \quad (5.17)$$

$$13,94 \leq 192,08 .$$

Перевірка шпонки на зріз, МПа:

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot M_{\max}}{d \cdot l \cdot b} \cdot 10^3 . \quad (5.18)$$

Значення  $d$ ,  $l$ ,  $b$  підставляються в мм.

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 20,2}{28 \cdot 53 \cdot 8} \cdot 10^3 = 3,4 \text{ МПа} .$$

						Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



При розрахунку шпонки на зріз повинна виконуватися умова

$$\tau_{зр} \leq [\tau]_{зр}. \quad (5.19)$$

Допустиме напруження на зріз шпонок  $[\tau]_{зр} = 70 \dots 100$  МПа

$$3,4 \leq 70$$

Умова міцності виконується.

### 5.5 Вибір підшипників та розрахунок на довговічність

За розрахованим у п 5.3.2 діаметром  $d_n$  у довідковій літературі вибирають тип та марку підшипників, їх динамічну  $C$  (Н) та статичну вантажопідйомність  $C_0$  (Н).

В опорах А і В установлені однакові шарикопідшипники. По діаметру вала  $d$  (мм) вибираємо підшипник кульковий радіальний однорядний середньої серії 311 ГОСТ 8338-75.

Статична вантажопідйомність:  $C_0 = 41790$  Н.

Динамічна вантажопідйомність:  $C = 54936$  Н.

Розрахунок проводиться для більш навантаженої опори – т. В (див. рис. 5.3). Перед розрахунком необхідно визначитися з ресурсом роботи підшипника  $L_h$ . Середній ресурс підшипника дорівнює  $L_h = 20000$  годин).

Еквівалентне динамічне навантаження визначається за формулою

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					57

$$P = (X \cdot F_r \cdot V + Y \cdot F_a) \cdot K_\delta \cdot K_T, \quad (5.20)$$

де  $F_r = R$ ,  $F_a = T$  – радіальне та осьове навантаження, Н;

$V = 1$  - коефіцієнт обертання;

$K_\delta = 1$  – коефіцієнт швидкохідності для спокійного навантаження;

$K_T$  – температурний коефіцієнт:  $K_T = 1$  при температурі підшипника  $t \leq 100^\circ C$ ,  $K_T = 1,4$  при  $t \approx 250^\circ C$ ;

$X$ ,  $Y$  – коефіцієнти радіального та осьового навантаження відповідно.

Вони вибираються з довідкової літератури залежно від співвідношення  $\frac{F_a}{V \cdot F_r}$ .

$$P = (0,6 \cdot 224 \cdot 1 + 0,5 \cdot 11,8) \cdot 1 \cdot 1 = 140,3 \text{ Н}$$

Розрахунковий ресурс підшипника, год:

- для кулькових підшипників:

$$L_{hp} = \left( \frac{C}{P} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}. \quad (5.21)$$

$$L_{hp} = \left( \frac{54936}{140,3} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 2880} = 24,9 \cdot 10^8 \text{ год.}$$

Умова довговічності підшипників:

$$L_{hp} \geq L_h = 20000. \quad (5.22)$$

Умова довговічності підшипників виконується.

## 6 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### Розрахунок природної та штучної вентиляції. Призначення і класифікація вентиляції

Для забезпечення сприятливих (комфортних) умов праці, ефективним методом є вентиляція, яка має наступну класифікацію і буває:

За способом переміщення повітря: природна; штучна.

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

За місцем дії:

- загально обмінна;
- місцева;
- комбінована.

За призначенням:

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

#### Характеристика вентиляції

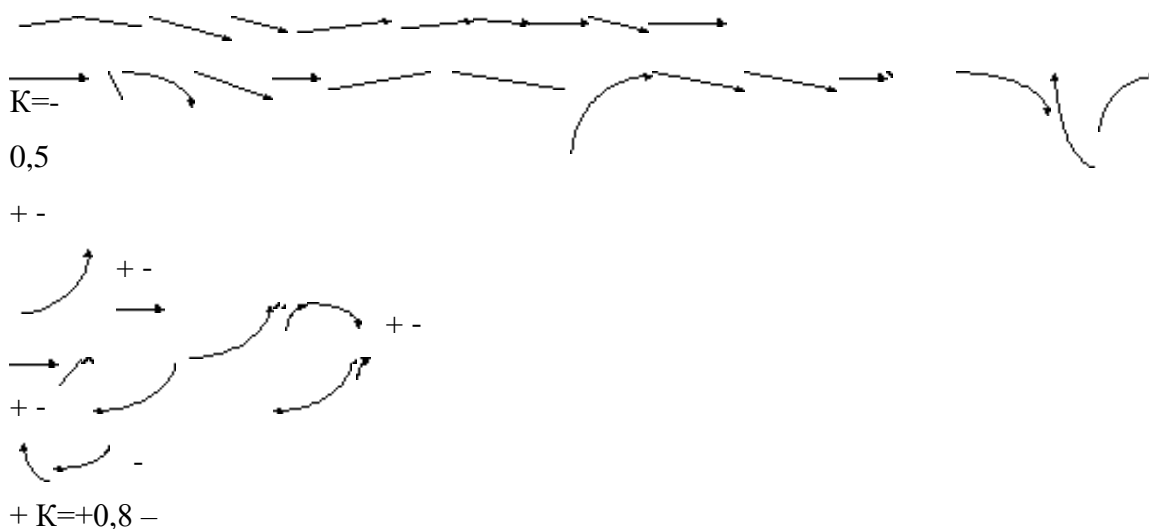


Рисунок 6.1 – Принципова схема дії природної вентиляції.

Природна вентиляція здійснюється силами, які створюються напором повітря, і природними (гравітаційними) силами. На рис. 6.1 наведена схема дії природної вентиляції повітряним тиском. Вітер, омиваючи споруду, з боку свого направлення руху створює залишковий тиск, а з протилежного боку виникає певне розрядження. Під дією напору повітря крізь вікна проникає в приміщення, а під дією розрядження забруднене повітря також крізь вікна і щілини виходить зовні.

Природна вентиляція під дією теплового напору може бути неорганізованою і організованою. Неорганізований повітрообмін здійснюється при проступанні і виході

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					59

повітря через випадкові і нерегульовані отвори. Організований аерацією здійснюється крізь спеціально обладнанні у зовнішніх стінах споруд, пройми із спеціальними створами для регулювання площі вентиляційного отвору.

Природна вентиляція під дією теплового напору здійснюється природними (гравітаційними) силами, які викликаються силами земного тяжіння. Повітря приміщення, більш тепле, ніж зовнішнє, підіймається уверх, створюючи розрядження в нижній зоні, а верхній підвищений тиск, за рахунок якого він виходить через пройми у даху чи стінах, зовні. У нижню зону потрапляє свіже зовнішнє повітря. Тиск повітря, який виникає в результаті перепаду температур, називають тепловим, або гравітаційним.

#### *Розрахунок вентиляції*

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

$$F_{np} = \frac{I_{np}}{3600 \mu \sqrt{2gh_n (\gamma_z - \gamma_v) \gamma_v}}; \quad (6.1)$$

$$F_v = \frac{I_v}{3600 \mu \sqrt{2gh_v (\gamma_z - \gamma_v) \gamma_v}}; \quad (6.2)$$

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

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

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

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

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

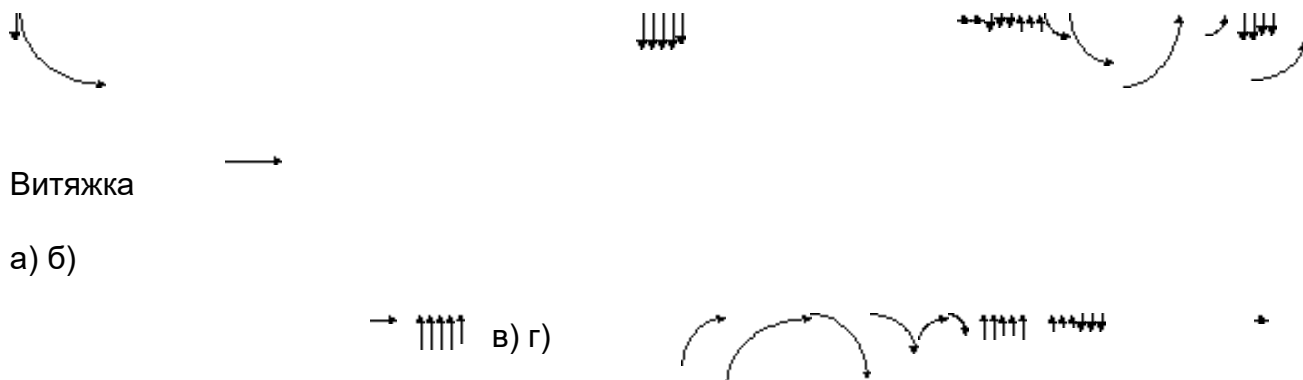
Перевагою природної вентиляції є її дешевизна та простота експлуатації. Основний її недолік в тому, що повітря надходить в приміщення без попереднього очищення, а видалене відпрацьоване повітря також не очищується і забруднює довкілля.

						<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		60

### *Штучна вентиляція*

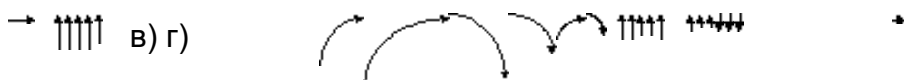
Розрізняють чотири основні схеми організації повітрообміну при загально-обмінній вентиляції:

Приплив Приплив Витяжка



Витяжка

а) б)



*Рисунок 6.2 – Штучна вентиляція*

Схеми зверху вниз (а) та зверху вверх (б) доцільно застосовувати у випадку, коли припливне повітря в холодний період року має нижчу температуру приміщення.

Припливне повітря перш як досягти робочої зони нагрівається за рахунок повітря приміщення.

Інші дві схеми рекомендується використовувати тоді, коли припливне повітря в холодний період року підігрівається і його температура вища внутрішнього повітря.

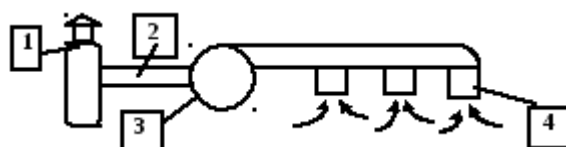
### *Приливна вентиляція*



*Рисунок 6.3 – Схема приливної вентиляції*

1- повітрязабірний пристрій з фільтром для очищення повітря і повітрянагрівачем (калорифером); 2 – повітропровід; 3 – вентилятор; 4- припливні патрубки з насадками.

### *Витяжна і приливо-витяжна вентиляції*



*Рисунок 6.4 – Схема витяжної вентиляції*

1- очисний пристрій, 2 – витяжний повітропровід; 3 – вентилятор; 4 – витяжні патрубки з насадками.

Місцева приливна вентиляція, при якій здійснюються концентроване подання припливного повітря заданих параметрів виконуються у вигляді повітряних душів, повітряних та повітряно-теплових завіс.

Повітряно-теплові завіси призначення для запобігання надходження в приміщення значних мас холодного зовнішнього повітря при необхідності частого відкриття дверей чи воріт.

Місцева витяжна вентиляція здійснюється за допомогою місцевих витяжних зонтів.

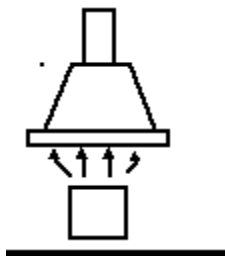


Рисунок 6.5 – Витяжний зонт

Основними факторами при виборі типу місцевих виділень є характеристика шкідливих виділень (температура, густина парів, токсичність), положення робітника при виконанні роботи, особливості технологічного процесу та обладнання.

#### Методи розрахунку систем штучної вентиляції

Основне завдання: - визначити кількість повітря, що необхідно подати і вилучити з приміщення. При розрахунку вентиляції в цехах де виділяються шкідливі речовини, використовуємо формулу :

$$L = \frac{U}{k_1 - k_2} \text{ (м}^3\text{/ГОД)} \quad (6.3)$$

$U$  – кількість шкідливих виділень в цеху, мг/год;

$K_1$  – гранично - допустима концентрація шкідливих виділень в повітрі цеху, мг/м<sup>3</sup> ;

$K_2$  – концентрація шкідливих виділень в приливному повітрі.

Для цехів з виділенням надлишкового тепла

$$L = \frac{Q}{C\gamma(t_b - t_n)} \quad (6.4)$$

$Q_{\text{над}}$  – надлишкове тепло в цеху, КДж/год;

$C$  – питома теплоємність повітря;

$\gamma$  - густина припливного повітря;

$t_b$  – температура повітря, що виходить з цеху;

$t_n$  – температура приливного повітря.

Для приміщень де не утворюються шкідливі виділення та надлишкове тепло і немає необхідності у створенні метеорологічного комфорту

$$L = l \times n \quad (6.5)$$

$l$  – мінімальне подання повітря на одного працюючого відповідно до санітарних норм, 20-30 м<sup>3</sup>/год.

$n$  – кількість працівників у приміщенні.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

## 7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

### Виробничий процес, його різновиди і структура

**Виробничий процес** — це сукупність взаємозалежних основних, допоміжних і обслуговувальних процесів праці і знарядь праці з метою створення споживчих цінностей — корисних предметів праці, необхідних для виробничого або особистого споживання. У процесі виробництва працівники впливають на предмети праці за допомогою знарядь праці і створюють нові готові продукти, наприклад верстати, автомобілі, товари народного споживання та ін. Предмети і знаряддя праці, будучи речовинними елементами виробництва, на підприємстві взаємопов'язані: конкретні предмети можуть бути оброблені тільки визначеними знаряддями праці; уже самі по собі вони мають системні властивості. Однак жива праця повинна охопити ці предмети і тим самим розпочати процес перетворення їх у продукт. Таким чином, виробничий процес — це, насамперед, трудовий процес, оскільки ресурси, що використовуються людиною на його вході, як інформація, так і матеріальні засоби виробництва, є продуктом попередніх процесів праці. Розрізняють основні, допоміжні й обслуговувальні виробничі процеси



Рис. 4.1. Структура виробничого процесу

Рисунок 7.1 – Структура виробничого процесу

**Основні виробничі процеси** — це та частина процесів, у ході яких відбувається безпосередня зміна форм, розмірів, властивостей, внутрішньої структури предметів праці і перетворення їх на готову продукцію. Наприклад, на підприємстві сільгоспмашинобудування — це процеси виготовлення деталей і складання з них підвузлів, вузлів і виробу в цілому. До допоміжних виробничих процесів належать такі процеси, результати яких використовуються або безпосередньо в основних процесах, або для забезпечення їх ефективного здійснення. Прикладами таких процесів є виготовлення інструментів, пристроїв, засобів механізації й автоматизації власного виробництва, запасних частин для ремонту устаткування, виробництво на підприємстві всіх видів енергії.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

**Обслуговувальні виробничі процеси** — це процеси праці з надання послуг, необхідних для здійснення основних і допоміжних виробничих процесів. Наприклад, транспортування матеріальних цінностей, складські операції всіх видів, технічний контроль якості продукції та ін.

Основні, допоміжні й обслуговувальні виробничі процеси мають різні тенденції розвитку й удосконалення. Так, багато допоміжних виробничих процесів можуть бути передані спеціалізованим заводам, що в більшості випадків забезпечує більш ефективне їх виконання. З підвищенням рівня механізації й автоматизації основних і допоміжних процесів обслуговувальні процеси поступово стають невід'ємною частиною основного виробництва, відіграють організуючу роль в автоматизованих і, особливо, в гнучких автоматизованих виробництвах.

Основні, а деколи і допоміжні, виробничі процеси здійснюються у різних стадіях (або фазах). Стадія — це відособлена частина виробничого процесу, на якій предмет праці переходить в інший якісний стан. Наприклад, матеріал переходить у заготівлю, заготівля — у деталь та ін. Основні виробничі процеси відбуваються у таких стадіях: заготівельній, обробній, складальній і регулювально-налагоджувальній.

Заготівельна стадія призначена для виробництва заготовок деталей і характеризується досить різноманітними методами виробництва. Наприклад, розкрій або різання заготовок деталей з листового матеріалу, виготовлення заготовок методами лиття, штампування, кування та ін. Основна тенденція розвитку технологічних процесів на цій стадії полягає в наближенні заготовок до форм і розмірів готових деталей. Знаряддями праці на цій стадії є відрізні верстати, пресово-штампувальне устаткування, гільйотинні ножиці та ін.

Обробна стадія — друга у структурі виробничого процесу — включає механічну і термічну обробку. Предметом праці є заготовки деталей. Знаряддями праці на цій стадії в основному є різні металорізальні верстати, печі для термічної обробки, апарати для хімічної обробки. На цій стадії деталям надаються розміри, що відповідають заданому класові точності.

Складальна (складально монтажна) стадія — це стадія виробничого процесу, в результаті якої виходять складальні одиниці (дрібні складальні одиниці, підвузли, вузли, блоки) або готові вироби. Предметом праці на цій стадії є деталі і вузли власного виготовлення, а також отримані зі сторони (комплектуючі вироби). Розрізняють дві основні організаційні форми складання: стаціонарну і рухливу. За стаціонарного складання виріб

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						64



виготовляється на одному робочому місці (деталі подаються). За рухливого складання виріб створюється в процесі його переміщення від одного робочого місця до іншого. Знаряддя праці на цій стадії не такі різноманітні, як на обробній. Основними з них є різноманітні верстати, стенди, що транспортують і направляють пристрої (конвеєри, електрокари, роботи та ін.). Складальні процеси, як правило, характеризуються значним обсягом робіт, виконуваних вручну, тому механізація та їх автоматизація — головне завдання вдосконалення технологічного процесу.

Регульовально-налагоджувальна стадія—заклучна в структурі виробничого процесу, що проводиться з метою отримання необхідних технічних параметрів готового виробу. Предметом праці є готові вироби або їх окремі складальні одиниці, знаряддя праці, універсальна контрольно-вимірювальна апаратура і спеціальні стенди для іспитів.

Складеними елементами стадій основного і допоміжного процесів є технологічні операції. Поділ виробничого процесу на операції, а потім на прийоми і рухи необхідний для розробки технічно обґрунтованих норм часу виконання операцій.

Операція — це частина виробничого процесу, що, як правило, виконується на одному робочому місці без переналагодження одним або декількома працівниками (бригадою). Залежно від ступеня технічного оснащення виробничого процесу розрізняють операції: ручні, машиноручні, машинні, автоматичні й апаратні. Як основні, так і допоміжні, а іноді й обслуговувальні виробничі процеси складаються з основних і допоміжних елементів-операцій. До основних належать операції, безпосередньо пов'язані зі зміною розмірів, форм, властивостей, внутрішньої структури предмета праці або перетворенням однієї речовини на іншу, а також зі зміною місце розташування предметів праці відносно один одного. Допоміжними є операції, виконання яких сприяє протіканню основних процесів, наприклад переміщення предметів праці, контроль якості, зняття й установка, збереження та ін.

Організаційно основні і допоміжні виробничі процеси (їх операції) умовно поділяються на прості і складні. Простими є процеси, в яких предмети праці піддаються послідовному рядові пов'язаних між собою операцій, у результаті чого виходять частково готові продукти праці (заготівки, деталі, тобто нероз'ємні частини виробу). Складними називаються процеси, в результаті яких виходять готові продукти праці шляхом поєднання частин продукту, тобто складні вироби (верстати, машини, прилади та ін.).

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					65

Рух предметів праці у виробничому процесі здійснюється так, що результат праці одного робочого місця стає вихідним предметом для іншого, тобто кожен попередній у часі й у просторі дає роботу наступному, — це забезпечується організацією виробництва.

Від правильної та раціональної організації виробничих процесів (особливо основних) залежать результати виробничо-господарської діяльності підприємства, економічні показники його роботи, собівартість продукції, прибуток і рентабельність виробництва, величина незавершеного виробництва і розмір оборотних коштів.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						66

## ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розроблений вільновихровий насос для перекачування забруднених рідин на параметри: подача  $Q = 25 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 20 \text{ м}$ .

Проведено аналіз конструкцій насосів для перекачування забруднених рідин.

Наведені особливості конструкції вільновихрового насоса типу Turo і його опис.

Виконані гідравлічні розрахунки проточної частини насоса і гідравлічних сил.

Обрані кінцеве ущільнення і тип двигуна.

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

У розділі охорони праці наведена методика розрахунку природної та штучної вентиляції. Призначення і класифікація вентиляції.

В економічному розділі описано виробничий процес, його різновиди і структура.

Графічні матеріали: 4 аркуші формату А1.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Герман В. Ф. Свободновихревые насосы : учеб. пособие / В. Ф. Герман, И. А. Ковалев, А. И. Котенко ; под общ. ред. А. Г. Гусака. – 2-е изд., доп. и перераб. – Сумы : Сумский государственный университет, 2013. – 159 с.
2. Насосы для загрязненных жидкостей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.plasma.com.ua/pump/product3.html>.
3. Поверхневі фекальні насоси [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ziko.com.ua/organization-solution-promyslovi-fekalni-nasosy>.
4. Стічно-масні насоси типу СМ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://electrosvit.com/index.php?page=shop.browse&category\\_id=316&option=com\\_virtuemart&Itemid=4&lang=uk](https://electrosvit.com/index.php?page=shop.browse&category_id=316&option=com_virtuemart&Itemid=4&lang=uk).
5. Паперово-масні насоси БМ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.plasma.com.ua/pump/product311.html>.
6. Занурена дренажна водовідливна помпа **Ebara** серії **DVS** [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.ebara.com.ua/submerged-pumps/nasos\\_ebara\\_dvs.html](http://www.ebara.com.ua/submerged-pumps/nasos_ebara_dvs.html).
7. Общая характеристика объемных насосов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/14493/1289/lecture/24372>.
8. Насосы одновинтовые Н1В [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.esbk.ru/products\\_info/nasos/207\\_nasos\\_odnov\\_1V/207\\_nasos\\_odnov\\_1V.html](http://www.esbk.ru/products_info/nasos/207_nasos_odnov_1V/207_nasos_odnov_1V.html).
9. Мембранные насосы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dalgakiran.ua/products/membrannye-nasosy>.
10. Насосы с колесом типа VORTEX серии ТСТ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.megatechnika.ru/taxonomy/term/34/>.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

11. Свободновихревые насосы типа СВН [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://nempump.com/produksiya/svobodno-vihrevye-nasosy/gorizontalnye/svn/>.

12. Вихревые насосы серии Т [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www.flowex.com.ua/index.php/vikhrevye-nasosy-serii-t/>.

13. Вихрові насоси Turo ТА [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://blms.ru/vikhrevyye-nasosy-turo-ta>.

14. Насосы Turo Vortecs Т [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www.eggerpumps.com/en-us/Pumps-Valves/Turo-Vortex-Pumps-T>.

15. [Электронный ресурс]. – Розрахунок природної та штучної вентиляції

Призначення і класифікація вентиляції Режим доступу:

<https://studfile.net/preview/5607283/page:7/>.

16. Економіка. Виробничий процес. Організаційні типи виробництва

[Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[https://pidruchniki.com/12461220/ekonomika/virobnichiy\\_protse\\_organizatsiy\\_ni\\_ti\\_pi\\_virobnitstva](https://pidruchniki.com/12461220/ekonomika/virobnichiy_protse_organizatsiy_ni_ti_pi_virobnitstva).

17. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко. – М.: Машиностроение, 1977. – 288с.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69