

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

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Микола СОТНИК
_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістра

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»,

освітньо-професійної програми «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідро пневмоавтоматика»

на тему: **Розроблення високообертового насосного агрегата ЗНА 63-150 для підйому води із свердловин у міських системах водопостачання**

Здобувача групи ГМ.м-21

Полковниченко Вадим Валентинович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Підпис

Вадим ПОЛКОВНИЧЕНКО

Керівник
доцент каф. ПГМ,
канд. техн. наук, доцент

Владислав КОНДУСЬ

Підпис

Суми – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки
Спеціальність 8.131.00.01 - Гідравлічні машини, гідроприводи та
гідропневмоавтоматика

Затверджую
завідувач кафедри

_____ **М.І. Сотник**
"___" _____ **2023 р.**

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Полковниченко Вадим Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема: **Розроблення високообертового насосного агрегата ЗНА 63-150 для підйому води із свердловин у міських системах водопостачання**

затверджена наказом по університету від "___" _____ 2023 р. №___

2. Термін здачі 21 грудня 2023 р.

Вихідні данні : подача – 63 м³/год; напір – 150 м;
синхронна частота обертання $n = 6000$ об/хв;
густина рідини 1050 кг/м³

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): збір, обробка, систематизація і науковий аналіз інформації та спеціальної літератури за темою роботи; чисельне дослідження течії у проточній частині насоса; розробка розрахункової моделі та аналізування результатів чисельного дослідження; експлуатаційні розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність насоса (розрахунок валу на статичну міцність та витривалість; розрахунки на довговічність підшипників); вибір муфти крутного моменту; вибір електродвигуна; виконання завдань по охороні праці.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): монтажне креслення – електронасосний агрегат; складальні креслення – насос; теоретичне креслення – робоче колесо; робоче креслення – робоче колесо, апарат направляючий.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Найменування етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка	
1	Загальна відомості щодо роботи насосних агрегатів у системах водозабезпечення	до 06.11.2023	консультант – керівник роботи	
2	Вибір конструктивної схеми насосного агрегату			
3	Опис конструкції обраного насосного агрегату			
4	Виконання розділу з охорони праці	до 13.11.2023		
5	Виконання економічного розділу			
6	Оформлення звіту з практики			
7	Конструктивні розрахунки проточної частини насоса	до 17.11.2023		
8	Складальне креслення насоса	до 20.11.2023		
9	Розрахунки з вибору електродвигуна	до 22.11.2023		
11	Розрахунки на міцність			
12	Розрахунки з вибору підшипників			
13	Креслення робочого колеса	до 27.11.2023		
14	Креслення корпусу	до 01.12.2023		
15	Створення 3D моделі проточної частини насоса. Виконання числового розрахунку	до 11.12.2023		консультант – Лобуренко М.В.
17	Робоче креслення апарату направляючого	до 15.12.2023		
18	Монтажне креслення насосного агрегату	до 18.12.2023		
19	Оформлення РПЗ та графічних матеріалів	до 21.12.2023		
20	Захист роботи	з 26.12.2023 до 29.12.2023		

Дата видачі завдання "01" листопада 2023 р.

Студент

(підпис)

Полковниченко В.В.

Керівник роботи

(підпис)

Кондусь В. Ю.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 87 сторінок, 35 рисунків, 7 таблиць,
17 літературних джерел.

Тема роботи: «Розроблення високообертового насосного агрегата
ЗНА 63-150 для підйому води із свердловин у міських системах
водопостачання».

Графічні матеріали:

Аркуші А4: Втулка міжступенева статорна, Втулка гідроп'яти статорна.

Аркуші А3: Направляючий апарат СК.

Аркуші А4х3: Робоче колесо СК.

Аркуші А4х4: Робоче колесо Теоретичне креслення.

Аркуші А3х2: Насосний агрегат СК.

Аркуші А2х2: Насос СК.

Відповідно до поставленої теми було:

- проведено аналіз літературних джерел
- проведено проектування проточної частини агрегату, за якими були побудовані креслення та 3D модель агрегату;
- проведені розрахунки на міцність;
- виконані розрахунки для вибору електродвигуна;
- розроблені монтажне креслення агрегату, складальні креслення агрегату та основних елементів його конструкції, робочі креслення деталей агрегату.

У розділі з охорони праці було розглянуто: ураження людини електричним струмом і його наслідки.

У економічному розділі було розглянуто: організація науково-дослідних робіт.

Ключові слова: багатоступеневі насоси, ЗНА, насоси відцентрові, насос, високообертові насоси, високообертові насосні агрегати.

Зміст

Вступ.....	6
1 Загальна відомості щодо роботи насосних агрегатів у системах водозабезпечення	7
2 Конструктивна схема насосного агрегату.....	11
2.1. Вибір конструктивної схеми насосного агрегату	11
2.2. Опис конструкції обраного насосного агрегату	16
3 Гідравлічні розрахунки проточної частини	20
3.1 Розрахунок та проектування робочого колеса (РК).....	20
3.2 Розрахунок та проектування напрямного апарату (НА)	40
4 Розрахунок вибору привода насоса.....	47
4.1 Вибір електродвигуна	47
4.2 Розрахунок пускової моментної характеристики ... Error! Bookmark not defined.	
5 Вибір муфти крутного моменту	49
6 Розрахунок на міцність	51
6.1 Розрахунок на міцність деталі стяжки секцій насоса	51
6.2 Розрахунок зварного шва деталі стяжки секцій насоса.....	52
6.3 Розрахунок шпонкових з'єднань валу насоса	55
6.4 Розрахунок на кручення валу насоса.....	61
7 Чисельне дослідження	67
8 Економічний розділ.....	73
9 Розділ з охорони праці	78
Висновки.....	85
Список використаної літератури	86

ЗНА.00.01.00.00 ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Полковниченко		
Перев.		Кондусь		
Реценз.				
Н. Контр.		Кондусь		
Затверд.				
ЗНА 63-150 Пояснювальна записка			Лім.	Лист
			5	Листів
СумДУ, гр. ГМ.м-21				

Вступ

Тема дипломного проекту полягає в розробці високообертового насосного агрегату ЗНА 63-150, спеціально призначеного для підняття води із свердловин у міських системах водопостачання. Цей насосний агрегат призначений для ефективного підйому питної води із свердловин.

Розробка цього агрегату відбувається в рамках договору № 167/0096, укладеного 01.08.2023 року. Цей договір передбачає "Розробку проектно-конструкторських рішень і компоновочних схем параметричного ряду високообертових енергоефективних свердловинних насосів для потреб підприємств сфери критичної інфраструктури" з участю Національного фонду досліджень України.

Метою дипломного проекту є вдосконалення застарілих насосних агрегатів, які використовуються у міських системах водопостачання. Вдосконалення полягає в підвищенні частоти обертання ротора, внаслідок цього зменшується габаритний розмір та витрати на виробництво насосних агрегатів.

Методи дослідження:

- Аналітичні дослідження. Цей підхід включає у себе аналіз основних питань, проведення розрахунків та вивчення ключових аспектів.

- Математичні методи. Їх використання спрямоване на розв'язання складних рівнянь, що описують гідродинамічні явища. Застосування різноманітних математичних підходів дозволяє виявити закономірності, розробляти моделі та забезпечувати точні розрахунки в системах, де гідродинаміка є ключовим фактором.

- Використання обчислювальної гідродинаміки (CFD) для дослідження процесів та об'єктів. Цей підхід дозволяє візуалізувати та аналізувати гідродинамічні явища в реальному часі, використовуючи чисельні методи для розв'язання рівнянь руху рідини.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Загальні відомості щодо роботи насосних агрегатів у системах водозабезпечення

Водопостачальна система представляє собою комплекс інженерних споруд, які спроектовані для відбору води з джерел, її очищення (при необхідності), зберігання та подачі до місця споживання. Системи водопостачання класифікуються за декількома ознаками.

За призначенням системи водопостачання можна класифікувати наступним чином:

– Господарсько-питні системи водопостачання призначені для забезпечення водою господарських та питних потреб населення, а також працівників промислових підприємств.

– Виробничі системи водопостачання призначені для забезпечення водою потреб виробничих процесів та діяльності промислових об'єктів.

– Протипожежні системи водопостачання призначені для забезпечення водою для гасіння пожеж та здійснення заходів з пожежогасіння.

– Об'єднані системи водопостачання включають в себе господарсько-протипожежні, виробничо-протипожежні або господарсько-виробничо-протипожежні комплекти, які призначені для водозабезпечення для господарських, виробничих та протипожежних потреб.

У містах та населених пунктах найчастіше встановлюють комбіновані системи водопостачання, які об'єднують господарські та питні водопроводи, і в той же час можуть задовольняти потреби промислових підприємств. Зокрема, промислові підприємства можуть мати власні водопровідні системи, які забезпечують їх водою зовнішніх джерел, таких як міські магістральні водопроводи, або з місцевих джерел, включаючи поверхневі та підземні.

При великих потребах у воді промислові підприємства можуть розвивати власні водопровідні системи, які враховують господарські, виробничі та протипожежні потреби. При цьому надається перевага об'єднанню

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

протипожежного водопроводу з господарським, а не виробничим, оскільки виробнича водопровідна мережа не завжди присутня на кожному об'єкті підприємства.

Додатково, для деяких технологічних процесів необхідно подавати воду під певним тиском, який може змінюватися під час гасіння пожежі, що може викликати аварії. Тому пожежні гідранти найчастіше розташовують на господарсько-протипожежних водопроводах. У разі необхідності гідранти можуть бути встановлені і на господарських водопроводах, якщо обсяги води для гасіння пожежі значно менше, ніж для господарсько-питних потреб.

На окремих найбільш пожежонебезпечних об'єктах, таких як підприємства нафтохімічної та нафтопереробної промисловості, склади нафти та нафтопродуктів, лісосільські господарства, сховища зріджених газів та інші, можуть бути впроваджені окремі протипожежні водопроводи.

В залежності від кількості об'єктів обслуговування, водопроводи поділяються на наступні категорії:

– Централізовані водопроводи — це системи, які надають послуги великій кількості об'єктів та мають центральний вузол або декілька центральних вузлів подачі води. Зазвичай їх використовують у містах та великих населених пунктах для забезпечення ефективного та масового водопостачання.

– Місцеві водопроводи – це системи, які обслуговують обмежену кількість об'єктів і користуються місцевими джерелами води, що напряму постачають воду до відповідних об'єктів. Такі водопроводи можуть використовуватися для окремих будинків, комплексів або невеликих груп об'єктів.

– Групові водопроводи — це системи, які об'єднують кілька об'єктів, таких як будинки чи підприємства, і забезпечують спільне водопостачання для цієї групи. Групові водопроводи можуть бути використані у ситуаціях, де об'єкти розташовані близько один до одного та можуть спільно користуватися однією системою водопостачання.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Зонні водопроводи – це системи, призначені для конкретних зон або районів. Забезпечуючи водопостачання для визначеної території, зонні водопроводи можуть включати як централізовані, так і розподілені джерела води.

Залежно від тиску, в системах водопостачання можна визначити категорії, такі як:

- низького тиску,
- високого тиску.

У мережах з низьким тиском важливо мати вільний напір, який дорівнює або перевищує 10 метрів на рівні поверхні землі, особливо у випадку пожежних гідрантів. Для створення необхідного тиску на пожежному стволі з метою забезпечення ефективного гасіння пожежі застосовують портативні пожежні автонасоси.

У системах високого тиску можна надавати воду на місце пожежі безпосередньо через гідранти, при цьому необхідний тиск у системі та біля стволів забезпечується завдяки використанню стаціонарних пожежних насосів, які встановлюються в спеціальних насосних станціях [1].

За видом вододжерела системи водопостачання можуть влаштовуватися:

- з забором води з поверхневих джерел,
- з забором води з підземних джерел,
- зі змішаними джерелами водопостачання.

За способом подачі води водопроводи можуть бути:

- напірні (із подачею води насосами),
- самотічні (при розміщенні вододжерела на висоті, що забезпечує природне водопостачання споживачів).

Створення свердловин для видобутку води включає ряд характеристик, які визначають продуктивність і надійність системи водопостачання. На поданій діаграмі зображено структуру свердловини, де X позначає ключові елементи цього процесу.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Діаметр свердловини – умовний діаметр бурової свердловини, який дорівнює діаметру долота.

Глибина свердловини – відстань між устям та забоєм по осі свердловини.

Статичний рівень води – це відстань від поверхні ґрунту до статичного рівня води у свердловині у спокійному стані без використання.

Динамічний рівень води – це рівень води під час експлуатації свердловини, який залежить від обсягів споживання води та інших факторів .

Взаємозв'язок між витратою води (дебітом) свердловини та її діаметром є опосередкованим. Технічні характеристики занурювального насосного обладнання визначаються відповідно до зазначеної витрати води свердловини [2].

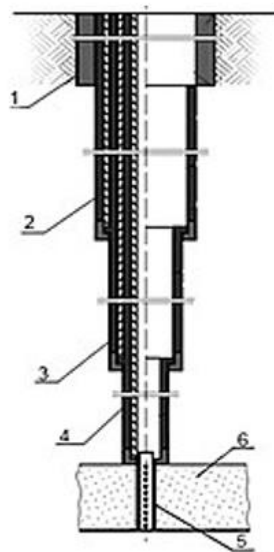


Рисунок 1.1 – Конструкція свердловини: 1 – напрямлення; 2 – кондуктор; 3 – проміжна колона; 4 – експлуатаційна колона; 5 – фільтр; 6 – продуктивний пласт

Характеристики свердловин визначаються з урахуванням якості води, глибини розташування та потенційної витрати води, що визначає діаметри насосів та свердловин.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

2 Конструктивна схема насосного агрегату.

2.1. Вибір конструктивної схеми насосного агрегату

2.1.1. Огляд типових конструктивних схем занурювальних насосних агрегатів.

На малюнку 1.1 представлена конструктивна схема насосного агрегату ЕЦВ 6-10-140 [3].

ЕЦВ складається із герметичного електродвигуна та багатоступеневого насоса. Ступені цього насоса знаходяться на підставці 16 та закріплені за допомогою стяжок 3.

Електродвигун прикріплений до зворотного боку основи насоса. Секція насоса включає в себе такі елементи: обойма 7, де розташовані кільця 8 та відвід лопатковий 6; колеса робочі 9, закріплені на валу за допомогою шпонки 12; втулки 10, що фіксують робочі колеса на валу між собою. Гумотехнічні підшипники використовуються для опори зверху та знизу. Головка та зворотний клапан насоса 1 прикріплені до верхнього підшипника 4, розташованого в корпусі 5. На головці є конічна різьба для підключення насоса та водопідйомної колони. Вода, яка перекачується, використовується для змащення підшипників. Шпонки 17, 13 та муфта 15 з'єднують нижній кінець валу насоса з хвостовиком ротора електродвигуна. Регуляторні шайби 14 встановлюються між хвостовиком та валом для визначення необхідного зазору між робочим колесом та направляючим апаратом.

Ротор насоса електродвигуна є короткозамкненим. У корпусі статора електродвигуна 20 розташовані два підшипникових щита: 19 та 20. Крім того, кільце 25, прикріплене до днища 30, містить компоненти осевого упорного підшипника. У кожному щиті знаходяться два підшипники 21.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

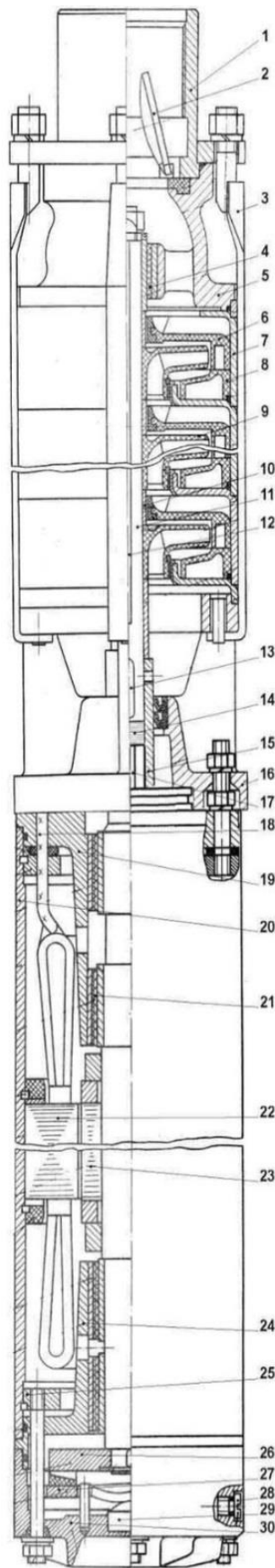


Рисунок 1.1 – Конструкція насосного агрегату ЕЦВ 6-10-140

Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ЗНА.00.01.00.00 ПЗ

Арк.

12

Пакет з пластин магнітопровода 22, який впресовано в корпус статора, служить основою для укладання обмоток статора. Обмоточний провід з поліетиленовою ізоляцією використовується для перевірки якості обмотки статора. Ізоляція дозволяє електродвигуну працювати, навіть якщо він повністю занурений у воду. Кабель занурювальний 18 використовується для виводу кінців обмоток.

Ротор 23 має «білячу клітку» з мідних або алюмінієвих провідників. Шпонка та стопорне кільце п'яти 26 закріплені на нижньому кінці ротора. Підшипниковий упорний вузол, утворений підп'ятником 27 і п'ятою, використовується для сприйняття осьових гідравлічних сил і ваги ротора електродвигуна насоса. Пробка 28, яка знаходиться в днищі двигуна, використовується для зливу води. Перед установкою насоса в свердловину електродвигуна водою має бути заповнена свердловина. Вода потрібна для змащування підшипників і охолодження статора.

2.1.2. Основні конструктивні особливості, які будуть використовуватись в ЗНА 63-150.

Ступені насоса та їх закріплення:

Ступені насоса будуть закріплені на підставці за допомогою стяжок, аналогічно до попередньо згаданої конструкції (ЕЦВ 6-10-140). Забезпечення надійності кріплення ступенів є важливим елементом для ефективної роботи насосного агрегату.

Відвід рідини та направляючі апарати:

Для ефективного відводу рідини будуть використовуватись направляючі апарати. Ці апарати спрямовують рідину у визначений шлях, що сприяє оптимальному руху рідини через насосний агрегат та забезпечує ефективну роботу.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

З'єднання валу насоса та хвостовика електродвигуна:

Для передачі руху від електродвигуна до насоса буде використовуватись муфта, яка з'єднує вал насоса з хвостовиком електродвигуна. Це з'єднання є ключовим для ефективної та надійної роботи всього агрегату.

Прикріплення електродвигуна:

Електродвигун буде прикріплений до зворотного боку основи насоса. Це положення дозволяє ефективно використовувати простір та забезпечити зручний доступ до електродвигуна для обслуговування та ремонту.

Підшипникові вузли, вузли ущільнення, гідроп'ята:

Один з найбільш складних вузлів у свердловинних насосах для підняття води - це вузол розвантаження осьових зусиль, які можуть досягати значних значень, від декількох тисяч до десятків тисяч Ньютонів, і діють на робочі колеса. Існує кілька методів розвантаження, таких як поступове механічне та гідравлічне розвантаження, проте осьовий підшипник ковзання є найпоширенішим. Його часто розташовують у двигуні, який наповнений чистою рідиною, такою як дистильована вода або розчин гліцерину, для поліпшення умов роботи пари ковзання.

З урахуванням збільшення відносної швидкості ковзання при зростанні частоти обертання, що призводить до збільшення PV-фактора, що характеризує навантаження на осьовий підшипник, використання пари ковзання у високообертovому насосі може бути неефективним, оскільки це суттєво погіршить показники надійності.

Гідроп'ята, яка працює з гарантованим зазором між елементами, відрізняється високою надійністю та довговічністю, а також повністю врівноважує осьові зусилля, уникнувши необхідності використання додаткових підшипників ковзання для сприйняття "залишкових сил". Важливим є можливість жорсткого з'єднання роторів двигуна і насосу в осьовому напрямку для передачі осьових зусиль на гідроп'ятку, що дозволяє виключити осьовий підшипник.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

Отже, для вирішення проблеми розвантаження осьових зусиль у свердловинних насосах для підняття води, гідроп'ята є ефективним рішенням, забезпечуючи високі показники надійності та довговічності.

Використання комбінації опорних підшипникових вузлів із шпаринними ущільненнями проточної частини дозволить усунути потребу у використанні підшипників ковзання та значно знизить вартість конструкції насоса.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		15

2.2. Опис конструкції обраного насосного агрегату

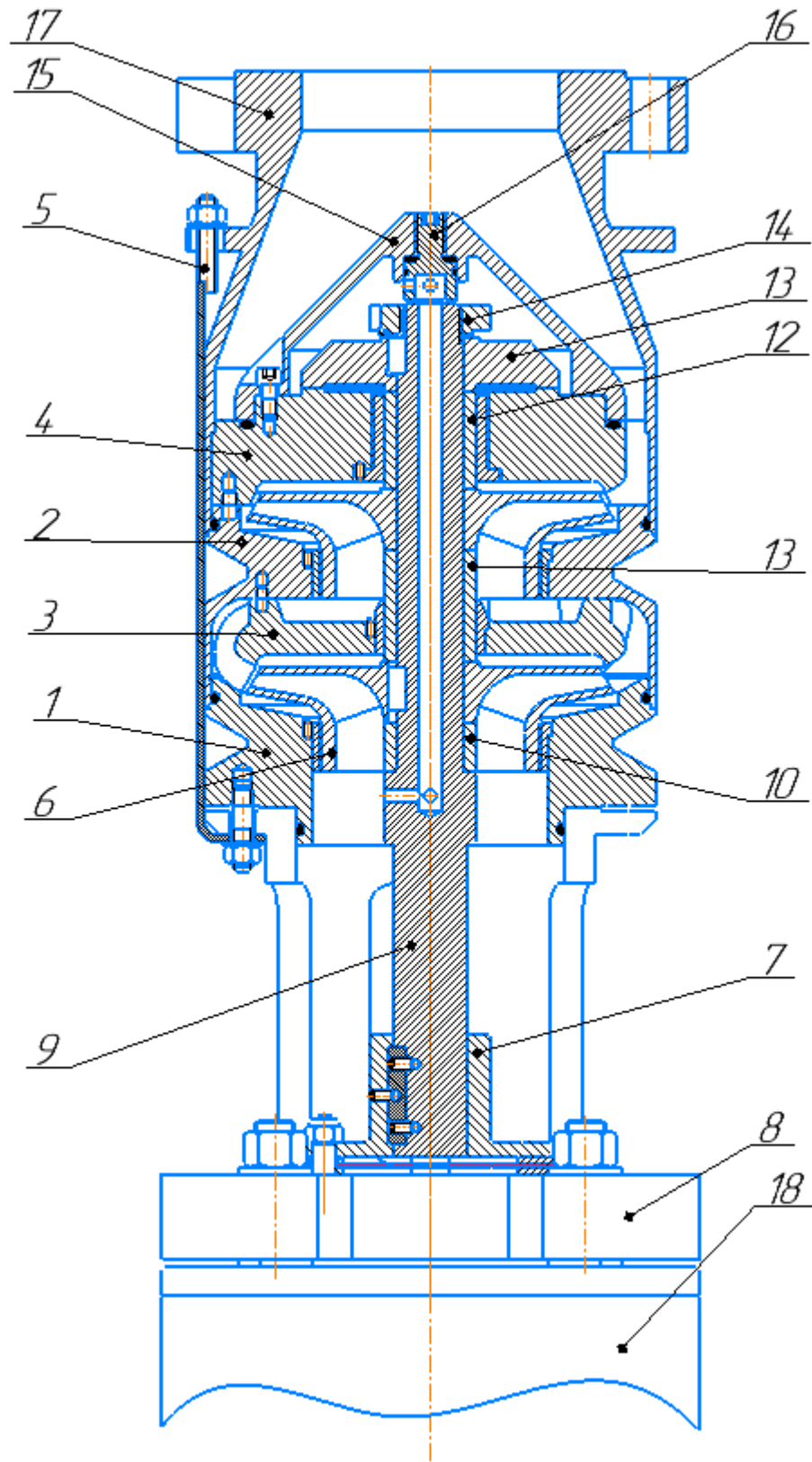


Рис. 2.1 – Конструкція насосного агрегату ЗНА 63-150

Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ЗНА.00.01.00.00 ПЗ

Арк.

16

Таблиця 2.1 – основні деталі насосного агрегату

1	Корпус секції
2	Корпус секції
3	Напрямний апарат
4	Напрямний апарат
5	Стяжка
6	Робоче колесо
7	Муфта
8	Ліхтар
9	Вал
10	Втулка
11	Втулка міжступенева
12	Втулка гідроп'яти
13	Гідроп'ята
14	Гайка
15	Обтікач
16	Упор
17	Напірний патрубок
18	Електродвигун

Центральна частина ротора складається з валу, виготовленого з вуглецевої нержавіючої термообробленої сталі. На цьому валу розташовані робочі колеса, диск гідроп'яти, привідна напівмуфта та інші допоміжні елементи, такі як втулки міжступеневих безконтактних ущільнень, радіальна шпарина гідроп'яти, проміжні втулки та гайка. Елементи ротора, які переносять крутний момент, з'єднані з валом за допомогою шпонок. Усі втулки виготовлені з вуглецевої нержавіючої сталі і піддані об'ємному загартуванню або покриттю поверхневим шаром по зовнішньому діаметру. Те саме стосується торцевої поверхні диска гідроп'яти, яка формує робочий осьовий зазор. Свердління в валу використовуються для

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		17

перенесення рідини з виходу гідроп'яти в вхідну порожнину. Традиційне рішення з перехідною трубою в цьому випадку неприйнятне через обмежені габарити. Прямокутні шпонки передають обертовий момент на колеса. Робочі колеса можуть бути виготовлені з латуні або нержавіючої сталі, і досвід експлуатації підтверджує високу стійкість цих конструкційних матеріалів до ерозійного зносу.

Експериментальний зразок коліс складається з основного диску з фрезерованими лопатями та покривного диску, який зварюється по двох точках на кожен лопать. Ця технологія підвищує гідравлічний ККД насосу та значно знижує шорсткість проточної частини. Оскільки високообертовий насос має малу кількість ступенів, витрати на фрезеровані робочі органи будуть значно нижчими, ніж для підвищення енергоефективності. Втулки передніх ущільнень робочих коліс напресовані, щоб запобігти зносу.

З'єднувальна муфта є пластинчастого типу і ефективно компенсує осьові та кутові зсуви ротора при гранично високій жорсткості у радіальному напрямку, необхідній для забезпечення динамічної сталості ротора. Функції прямокутної шпонки включають передачу крутного моменту та осьову фіксацію напівмуфти, що досягається за допомогою гвинтів, які кріплять шпонку до валу, а напівмуфту до шпонки. Диск п'яти кріпиться на валу за допомогою гайки.

Основу статорної-корпусної групи складають дві секції з направляючими апаратами, які фрезеровані та виготовлені з нержавіючої сталі. Корпусна деталь "ліхтар" з боку двигуна служить основою для електродвигуна та є частиною вхідного сітчастого фільтра насосу. Вікна фільтра також дозволяють монтувати з'єднувальну муфту. З боку напірного трубопроводу є корпусна деталь з напірним фланцем. У цій частині встановлений щит гідроп'яти, до якого приєднані втулки та радіальна шпарина п'яти. Крім того, є конусоподібна кришка "обтікач", яка дозволяє відокремити вихідну порожнину гідроп'яти від напірної магістралі. При проектуванні вісь ротора повинна бути строго перпендикулярною та паралельною радіальній втулці та подушці гідроп'яти. У кришці встановлено транспортний гвинт, який закріплює ротор, що запобігає пошкодженню робочих поверхонь під

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		18

час переміщення насосу. Крім того, в статорній групі встановлені зносостійкі втулки в передніх та міжступневих ущільненнях і шпаринах гідроп'яти. Корпус виготовляється з вуглецевої або нержавіючої сталі.

Корпусні частини насосу з'єднані в одну конструкцію за допомогою чотирьох стяжок із сталевих стрижків з привареними різьбовими накінецьниками.

Електродвигун прикріплений до зворотного боку основи насоса.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

3 Гідравлічні розрахунки проточної частини

Розрахунки та рекомендації для їх проведення, представлені у цьому розділі виконані за загально прийнятими методиками [4, 5, 6, 7, 8].

Вихідні дані для розрахунку:

Подача насоса, м ³ /год	Q = 63
Напір насоса, м	H = 150
Число ступенів	i = 2
Частота обертання РК, об/хв	n = 6000

3.1 Розрахунок та проектування робочого колеса (РК)

Робоче колесо – один із основних елементів відцентрових насосів, потік рідини за рахунок силової взаємодії з лопатями робочого колеса набуває приросту енергії, цей приріст є напором що створює РК.

Коефіцієнт швидкохідності:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{\frac{Q_p}{3600}}}{\left(\frac{H_n}{i}\right)^{3/4}} \quad (3.1)$$

де i – число ступенів

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 6000 \cdot \sqrt{\frac{63}{3600}}}{\left(\frac{150}{2}\right)^{3/4}} = 114$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20

Кавітаційний коефіцієнт швидкохідності:

$$C_{кр} = \frac{5,62 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{\left(\frac{\Delta h_{доп}}{R}\right)^{3/4}} \quad (3.2)$$

де $\Delta h_{доп}$ – допустимий кавітаційний запас, м;

R – коефіцієнт запасу. Приймаємо $R = 1,25$.

$$C_{кр} = \frac{5,62 \cdot 6000 \cdot \sqrt{\frac{63}{3600}}}{\left(\frac{2,5}{1,25}\right)^{3/4}} = 2650$$

Для звичайних насосів $C_{кр}$ знаходиться в межах 800–1200, більше значення вказує на покращені кавітаційні властивості.

Приведений діаметр робочого колеса за формулою Д.Я.Суханова:

$$D_{1пр} = k_{вх} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_p}{3600 \cdot n}} \quad (3.3)$$

де $k_{вх} = 3,25 \div 5,0$ – коефіцієнт вхідної воронки робочого колеса.

Для забезпечення необхідного кавітаційного запасу виконую робоче колесо зі збільшеною воронкою. Приймаємо $k_{вх} = 4,5$.

$$D_{1пр} = 4,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{63}{3600 \cdot 6000}} = 0,064 \text{ м}$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		21

Повний ККД насоса:

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

де η_o - об'ємний ККД;

η_{Γ} - гідравлічний ККД;

η'_m - внутрішній механічний ККД;

η_m - зовнішній механічний ККД.

$$\eta_o = \frac{1}{1 + \left(\frac{A}{\sqrt[3]{n_s^2}} \right)} \quad (3.5)$$

$$A = 9,041 - 0,192 \cdot n_s + 0,001474 \cdot n_s^2 - 3,9 \cdot 10^{-6} \cdot n_s^3 \quad (3.6)$$

$$A = 9,041 - 0,192 \cdot 114 + 0,001474 \cdot 114^2 - 3,9 \cdot 10^{-6} \cdot 114^3 = 0,53$$

$$\eta_o = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,53}{\sqrt[3]{114^2}} \right)} = 0,978$$

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{[\lg(D_{1np} \cdot 10^3) - 0,172]^2} \quad (3.7)$$

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{[\lg(0,064 \cdot 10^3) - 0,172]^2} = 0,843$$

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \left(\frac{B}{n_s^2} \right)} \quad (3.8)$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

$$B = 165,3 + 3,32 \cdot n_s - 0,01206 \cdot n_s^2 \quad (3.9)$$

$$B = 165,3 + 3,32 \cdot 114 - 0,01206 \cdot 114^2 = 387$$

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \left(\frac{387}{114^2}\right)} = 0,971$$

Тоді

$$\eta = 0,978 \cdot 0,843 \cdot 0,971 = 0,8$$

Подача робочого колеса

$$Q_{PK} = \frac{Q}{\eta_o} \quad (3.10)$$

$$Q_{PK} = \frac{63}{0,978} = 64 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

Теоретичний напір робочого колеса:

$$H_T = \frac{H}{\eta_T} \quad (3.11)$$

$$H_T = \frac{75}{0,843} = 89 \text{ м}$$

Потужність, яка споживається насосом:

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{3600 \cdot \eta} \quad (3.12)$$

де $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$ – густина води;

$$N = \frac{1050 \cdot 9,81 \cdot 63 \cdot 150}{3600 \cdot 0,8} = 33782 \text{ Вт}$$

Максимальна потужність на валу насоса:

$$N_{max} = 1,1 \cdot N \quad (3.13)$$

$$N_{max} = 1,1 \cdot 33782 = 37,16 \text{ кВт}$$

M – крутний момент на валу насоса, Н·м.

$$M = \frac{30 \cdot N_{max}}{\pi \cdot n} \quad (3.14)$$

$$M = \frac{30 \cdot 37160}{3,14 \cdot 6000} = 59,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

В першому наближенні діаметр вала з розрахунку на кручення:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{528 \cdot N}{\pi^2 \cdot [\tau] \cdot n}} \quad (3.15)$$

де $[\tau]$ – допустиме напруження на кручення, Па.

Приймаємо $[\tau]=150 \cdot 10^5 \text{ Па}$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

Тоді:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{528 \cdot 33782}{3,14^2 \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 6000}} = 0,0272 \text{ м}$$

Згідно ГОСТ 6636-69 приймаємо розмір вала $d_e = 28 \text{ мм}$

Діаметр втулки орієнтовно вибираю за залежністю:

$$d_{em} = (1,2 \div 1,4) \cdot d_e \quad (3.16)$$

$$d_{em} = (1,2 \div 1,4) \cdot 28 = (34 \div 40) \text{ мм}$$

Приймаємо $d_{em} = 38 \text{ мм}$.

Діаметр вхідної воронки робочого колеса визначаю з виразу:

$$D_{1np} = \sqrt{D_0^2 - d_{em}^2} \quad (3.17)$$

$$D_0 = \sqrt{D_{1np}^2 + d_{em}^2} \quad (3.18)$$

$$D_0 = \sqrt{0,064^2 + 0,038^2} = 0,077 \text{ м}$$

Швидкість на вході у робоче колесо з рівняння нерозривності:

$$V_0 = \frac{4 \cdot Q_{p.k.}}{\pi \cdot D_{1np}^2} \quad (3.19)$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		25

$$V_0 = \frac{4 \cdot 64}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,064^2} = 5,52 \text{ м/с}$$

Це швидкість без урахування стиснення потоку лопатями робочого колеса на вході.

Діаметр, на якому розташована вхідна кромка лопаті:

$$D_1 = 1 \cdot D_0 \quad (3.20)$$

$$D_1 = 1 \cdot 0,077 = 0,077 \text{ м}$$

При вході потоку на лопать меридіанна складова абсолютної швидкості зростає та визначається з виразу:

$$V_{1m} = \psi_1 \cdot V'_{1m} \quad (3.21)$$

де V'_{1m} - меридіональна складова швидкість без урахування стиснення, м/с;

ψ_1 - коефіцієнт стиснення потоку на вході. $\psi_1 = 1,15 \dots 1,3$. Приймаємо $\psi_1 = 1,15$.

$$V'_{1m} = V_0 = 5,52 \text{ м/с}$$

$$V_{1m} = 1,15 \cdot 5,52 = 6,34 \text{ м/с}$$

В загальному випадку кут потоку на вході розраховуємо з трикутника швидкостей за формулою:

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1u}} \quad (3.22)$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де U_1 – переносна швидкість на вході в робоче колесо, м/с;

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \quad (3.23)$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,077 \cdot 6000}{60} = 24,2 \text{ м/с}$$

V_{1U} – колова складова абсолютної швидкості на вході в робоче колесо. Відповідно до конструктивних особливостей насоса $V_{1U} = 0$.

Тоді:

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{6,34}{24,2} = 14,7^\circ$$

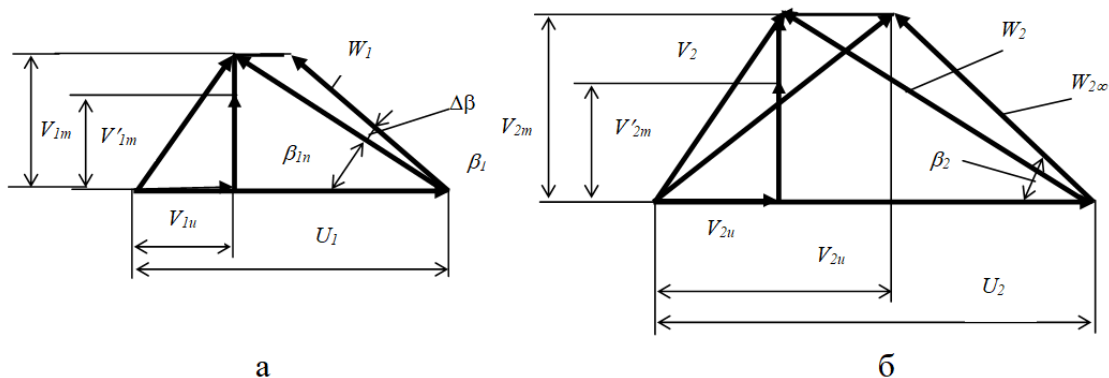


Рисунок 3.1 – Трикутники швидкостей робочого колеса

а – на вході; б – на виході

Кут нахилу лопаті на вході в робоче колесо

$$\beta_1 = \beta_{1n} + \Delta\beta \quad (3.24)$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

Цей кут повинен знаходитись у межах $15...30^\circ$.

Кут атаки $\Delta\beta = 3 \dots 8^\circ$ вводиться з ціллю зменшення гідравлічних втрат в області робочого колеса та покращення його кавітаційних якостей.

Приймаємо $\Delta\beta = 3 \dots 8^\circ$. Тоді $\beta_1 = 14,7^\circ + 8^\circ = 22,7^\circ$

Визначення числа лопатей та їх товщину.

Товщина лопаті робочого колеса на вході приймаємо $S_1 = 2$ мм, на виході $S_2 = 5$ мм; число лопатей $z = 6$.

Уточнення значення ψ'_1 після вибору числа лопатей та їх товщини за формулою:

$$\psi'_1 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot S_1}{\pi \cdot D_1 \cdot \sin \beta_1}} \quad (3.25)$$

$$\psi'_1 = \frac{1}{1 - \frac{6 \cdot 0,002}{3,14 \cdot 0,077 \cdot \sin 22,7^\circ}} = 1,15$$

Повинна бути забезпечена умова:

$$|\psi'_1 - \psi_1| \leq 0,01$$

$$|1,15 - 1,15| = 0 < 0,01 - \text{умова виконується.}$$

Ширина робочого колеса на вході:

$$b_1 = \frac{Q_{p.k.}}{3600 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot V_{1m}} \quad (3.26)$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		28

$$b_1 = \frac{64}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,077 \cdot 6,34} = 0,013 \text{ м}$$

Геометричні параметри виходу з робочого колеса.

Значення зовнішнього діаметру робочого колеса у першому наближенні визначено з основного рівняння роботи лопатевих насосів Ейлера для $V_{1n} = 0$ та $V_{1n} = 0,5U_2$.

$$D'_2 = m_2 \cdot \frac{\sqrt{2g \cdot H}}{n} \quad (3.27)$$

де $m_2 = 19,1$ при $n_s \leq 100$, $m_2 = 19,2 \cdot \left(\frac{n_s}{100}\right)^{\frac{1}{6}}$, при $n_s > 100$.

Так як $n_s = 114$, то

$$D'_2 = 19,2 \cdot \left(\frac{114}{100}\right)^{\frac{1}{6}} \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 63}}{6000} = 0,106 \text{ м}$$

Остаточню D_2 визначаю з урахуванням поправки на кінцеве число лопатей.

Меридіанна складова швидкості без урахування стиснення на виході з РК:

$$V'_{2m} = \frac{V_{1m}}{V_{2m}} \cdot V'_{1m} \quad (3.28)$$

Рекомендоване відношення меридіональних швидкостей $\frac{V_{1m}}{V_{2m}} = (0,5 - 1,0)$. Приймаємо $\frac{V_{1m}}{V_{2m}} = 1$.

$$V'_{2m} = 5,52 \cdot 1 = 5,52 \text{ м/с}$$

Меридіанна складова швидкості без урахування стиснення на виході з РК:

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		29

Коефіцієнт стиснення перерізу потоку лопатями на виході з РК приймаємо $\psi_1 = 1,1$.

$$V_{2m} = \psi_2 \cdot V'_{2m} \quad (3.29)$$

$$V_{2m} = 1,1 \cdot 5,52 = 6,07 \text{ м/с}$$

Кут на виході з РК β_2 :

$$\beta_2 = \arcsin \left[\left(\frac{W_1}{W_2} \right)_{opt} \cdot \frac{\psi_2}{\psi_1} \cdot \frac{V_{2m}}{V_{1m}} \cdot \sin \beta_1 \right] \quad (3.30)$$

Де

$$\left(\frac{W_1}{W_2} \right)_{opt} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot n_s + 2,65 \quad (3.31)$$

$$\left(\frac{W_1}{W_2} \right)_{opt} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot 114^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot 114 + 2,65 = 1,33$$

$$\beta_2 = \arcsin \left[1,32 \cdot \frac{1,1}{1,15} \cdot \frac{5,52}{5,52} \cdot \sin 22,7^\circ \right] = 29,2^\circ$$

Перше уточнення зовнішнього діаметра РК з урахуванням кінцевого числа лопатей.

Цей розрахунок виконують, використовуючи перетворене основне рівняння Ейлера (вирішуючи його відносно швидкості U_2):

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		30

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2tg\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{V_{2m}}{2tg\beta_2}\right)^2 + \frac{g \cdot H}{\eta_r k_z}} \quad (3.32)$$

де $H_{T\infty}$ - теоретичний напір робочого колеса з безкінечним числом тонких лопатей.

$$H_{T\infty} = \frac{H}{\eta_r \cdot k_z} \quad (3.33)$$

де k_z – поправка на кінцеве число лопатей.

За формулою Пфлейдерера:

$$k_z = \frac{1}{1 + E} \quad (3.34)$$

де

$$E = 2 \cdot \frac{\Psi}{z} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2} \quad (3.35)$$

Коефіцієнт ψ визначається в залежності від n_s . При $n_s < 150$ ($n_s = 114$):

$$\psi = (0,55 \div 0,65) + 0,6 \cdot \sin \beta_2 \quad (3.36)$$

$$\psi = 0,6 + 0,6 \cdot \sin 29,2^\circ = 0,893$$

$$E = 2 \cdot \frac{0,893}{6} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0,077}{0,106}\right)^2} = 0,625$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		31

$$k_z = \frac{1}{1 + 0,625} = 0,615;$$

$$H_{T\infty} = \frac{75}{0,843 \cdot 0,615} = 145,18м;$$

$$U_2 = \frac{6,07}{2 \operatorname{tg} 29,2^\circ} + \sqrt{\left(\frac{6,07}{2 \operatorname{tg} 29,2^\circ}\right)^2 + 9,81 \cdot 145,18} = 43,56м/с$$

Діаметр робочого колеса:

$$D_2 = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot n} \quad (3.37)$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 43,56}{3,14 \cdot 6000} = 0,138м$$

Уточнений коефіцієнт стиснення:

$$\psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot S}{2\pi \cdot D_2 \cdot \sin \beta_2}} \quad (3.38)$$

$$\psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{6 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 0,138 \cdot \sin 29,2^\circ}} = 1,165$$

Повинна бути забезпечена умова:

$$|\psi'_2 - \psi_2| \leq 0,01;$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$1,165 - 1,1 = 0,065 < 0,01$ – умова не виконується.

Друге уточнення зовнішнього діаметра РК з урахуванням кінцевого числа лопатей.

$$V_{2m} = 1,165 \cdot 5,52 = 6,42 \text{ м/с}$$

$$\beta_2 = \arcsin \left[1,32 \cdot \frac{1,165}{1,15} \cdot \frac{5,52}{5,52} \cdot \sin 22,7^\circ \right] = 31,1^\circ$$

$$\psi = 0,6 + 0,6 \cdot \sin 31,1^\circ = 0,91$$

$$E = 2 \cdot \frac{0,91}{6} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0,077}{0,106}\right)^2} = 0,637$$

$$k_z = \frac{1}{1 + 0,637} = 0,611;$$

$$H_{T\infty} = \frac{75}{0,843 \cdot 0,611} = 145,6 \text{ м};$$

$$U_2 = \frac{6,42}{2 \operatorname{tg} 31,1^\circ} + \sqrt{\left(\frac{6,42}{2 \operatorname{tg} 31,1^\circ}\right)^2 + 9,81 \cdot 145,6} = 43,485 \text{ м/с}$$

Діаметр робочого колеса:

$$D_2 = \frac{60 \cdot 43,485}{3,14 \cdot 6000} = 0,139 \text{ м}$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		33

Уточнений коефіцієнт стиснення:

$$\psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{6 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 0,139 \cdot \sin 31,1^\circ}} = 1,154$$

Повинна бути забезпечена умова:

$$|\psi'_2 - \psi_2| \leq 0,01;$$

$1,154 - 1,165 = 0,011 < 0,01$ – умова не виконується.

Третє уточнення зовнішнього діаметра РК з урахуванням кінцевого числа лопатей.

$$V_{2m} = 1,154 \cdot 5,52 = 6,37 \text{ м/с}$$

$$\beta_2 = \arcsin \left[1,32 \cdot \frac{1,154}{1,15} \cdot \frac{5,52}{5,52} \cdot \sin 22,7^\circ \right] = 30,8^\circ$$

$$\psi = 0,6 + 0,6 \cdot \sin 30,8^\circ = 0,907$$

$$E = 2 \cdot \frac{0,907}{6} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0,077}{0,106} \right)^2} = 0,635$$

$$k_z = \frac{1}{1 + 0,635} = 0,611;$$

$$H_{T\infty} = \frac{75}{0,843 \cdot 0,611} = 145,6 \text{ м};$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		34

$$U_2 = \frac{6,37}{2 \operatorname{tg} 30,8^\circ} + \sqrt{\left(\frac{6,37}{2 \operatorname{tg} 30,8^\circ}\right)^2 + 9,81 \cdot 145,6} = 43,49 \text{ м/с}$$

Діаметр робочого колеса:

$$D_2 = \frac{60 \cdot 43,49}{3,14 \cdot 6000} = 0,140 \text{ м}$$

Уточнений коефіцієнт стиснення:

$$\psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{6 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 0,139 \cdot \sin 30,8^\circ}} = 1,155$$

Повинна бути забезпечена умова:

$$|\psi'_2 - \psi_2| \leq 0,01;$$

$1,155 - 1,154 = 0,001 < 0,01$ – умова виконується.

Ширина робочого колеса на виході:

$$b_2 = \frac{Q_{p.k.}}{\pi \cdot D_2 \cdot V_{2m}} \quad (3.39)$$

$$b_2 = \frac{64}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,14 \cdot 6,37} = 0,0065 \text{ м}$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		35

3.1.1 Проектування меридіонального перерізу

Проектування каналу меридіонального перерізі ведеться таким чином, щоб отримати плавну зміну меридіональної складової швидкості від входу до виходу РК. Будуємо меридіональний переріз за допомогою метода послідовних наближень. Намічаємо контури крайніх ліній течії, відповідно до проведених розрахунків. Рекомендується при цьому орієнтуватись на існуючі робочі колеса подібних n_s . Меридіональний переріз повинен мати плавні контури.

Меридіанний переріз відцентрового робочого колеса з основними геометричними параметрами зображено на рис. 3.1.

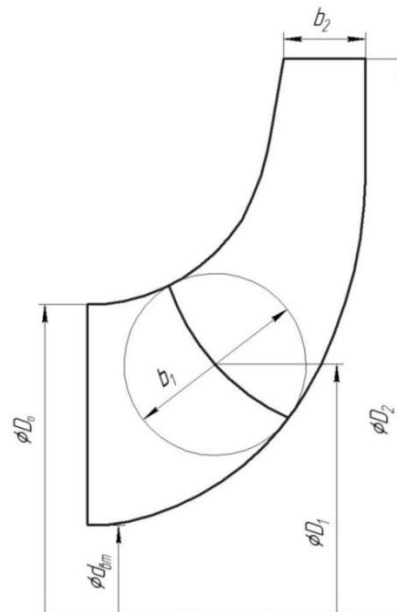


Рисунок 3.2 – Меридіональний переріз

Наносимо середню лінію каналу, що є геометричним місце центрів вписаних кіл. Вписуємо кола, та будуємо графік зміни площ вздовж середньої лінії.

Площа нормальних перерізів за формулами:

$$F_i = 2\pi r_i b_i \quad (3.36)$$

де r_i – відстань від осі РК до центра вписаного кола;

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		36

b_i – діаметр вписаного кола.

Таблиця 3.1 – Розрахунок площі проміжних нормальних перерізів

№ точки	$F_i, \text{мм}^2$	$r_i, \text{мм}$	$b_i, \text{мм}$
1	3520	28,8	19,5
2	3630	29	19,9
3	3760	30	20
4	3850	33,1	18,5
5	3590	38,6	14,8
6	3130	44,5	11,2
7	2960	55,2	8,5
8	2880	61,2	7,49
9	2650	69,2	6,09
10	2310	77	4,77

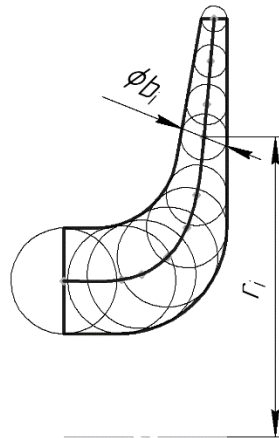


Рисунок 3.3 – Проектування меридіонального перерізу

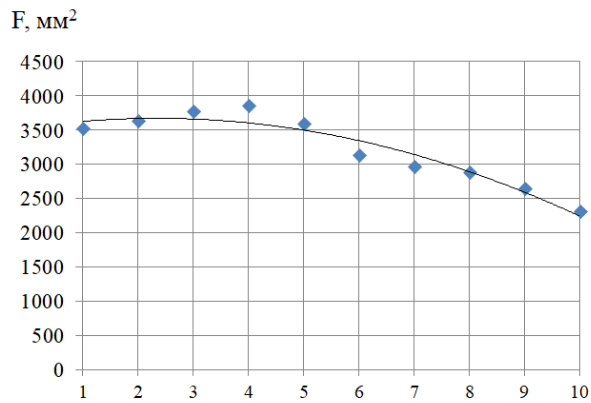


Рисунок 3.4 – Графік зміни площі меридіанного перерізу робочого колеса

Площа меридіонального перерізу змінюється плавно, тому вважаємо що відповідно до проведених вище розрахунків, побудовану форму перерізу є задовільною.

3.1.2 Профілювання лопаті

Профілювання лопаті виконується так, щоб була досягнута умови безвідривного обтікання лопаті потоком рідини, для зменшення гідравлічних втрат. В нашому випадку лопать має звичайну циліндричну форму, рішення щодо лопаті було прийнято з таких міркувань як зменшення інвестиційних витрат в процесі проектування та виготовлення, зменшення гідравлічних втрат на тертя по довжині між лопатевого каналу, та загального зменшення вартості життєвого циклу. позначене спрямовано на зменшення загальної вартості життєвого циклу.

Спочатку задаємося кутом охоплення лопаті θ , приймають в залежності від n_s . Для $n_s = 100 - 300$, кут охоплення лопаті $\theta = 80 - 110^\circ$. Приймаємо $\theta = 90^\circ$.

Відповідно до проведених розрахунків будемо лопать в плані (рис. 3.5), спочатку її робочу сторону, а потім тильну. Нарощення товщини лопаті відбувається плавно від входу, де вона складає 2 мм, до виходу 5мм.

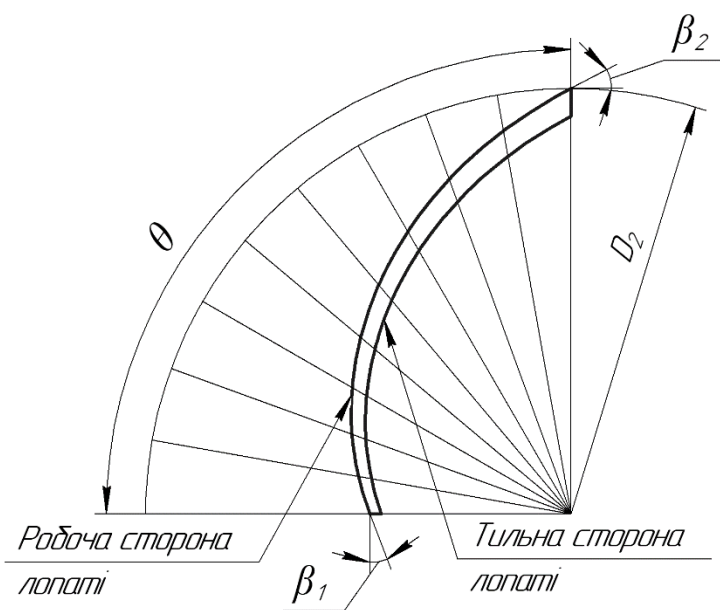


Рисунок 3.5 – Лопать в плані

Результатом розрахунків та проектування є робочі креслення та 3д модель робочого колеса.

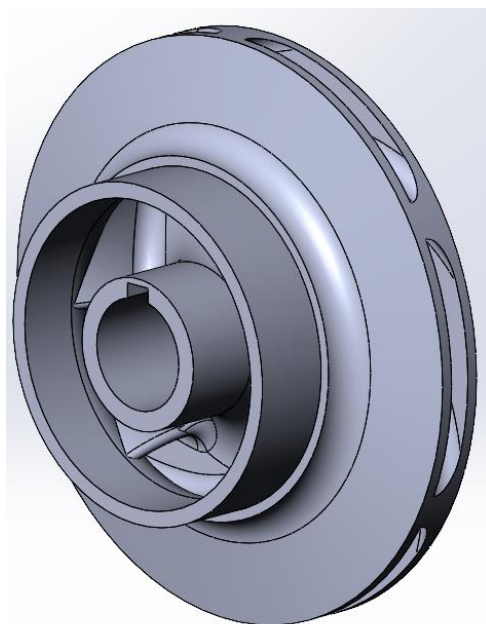


Рисунок 3.6 – 3Д модель робочого колеса

Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ЗНА.00.01.00.00 ПЗ

Арк.

39

3.2 Розрахунок та проектування напрямного апарату (НА)

Напрямні апарати застосовуються в насосах для відводу рідини від РК попередньої ступені й підведення її до РК наступної ступені, тобто виконує функції підводу та відводу.

Напрямний апарат складається з 4-х ділянок:

- спіральна ділянка;
- дифузорний канал;
- перевідний канал;
- зворотний канал.

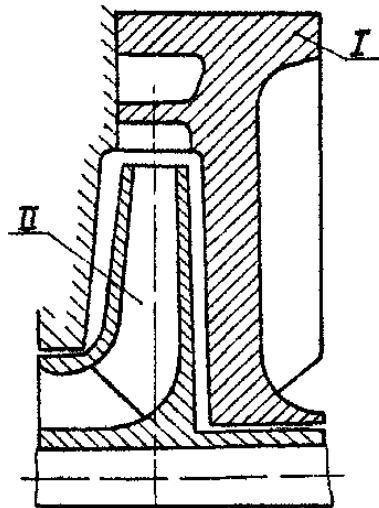


Рисунок 3.7 – Схема ступені з НА

Діаметр D_3 (рис. 3.8) вибирають із умови забезпечення оптимального зазору між робочим колесом та напрямним апаратом щоб досягти мінімальних втрат в зазорі:

$$D_3 = (1,05 \dots 1,1) \cdot D_2 \quad (3.37)$$

$$D_3 = (1,05 \dots 1,1) \cdot 140 = 147 \dots 154 \text{ мм}$$

Приймаємо $D_3 = 150 \text{ мм}$.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		40

Визначення ширини НА у меридіанному перетині:

$$b_3 = 1,1 \cdot b_2 + 1,5 \quad (3.38)$$

$$b_3 = 1,1 \cdot 6 + 1,5 = 8 \text{ мм}$$

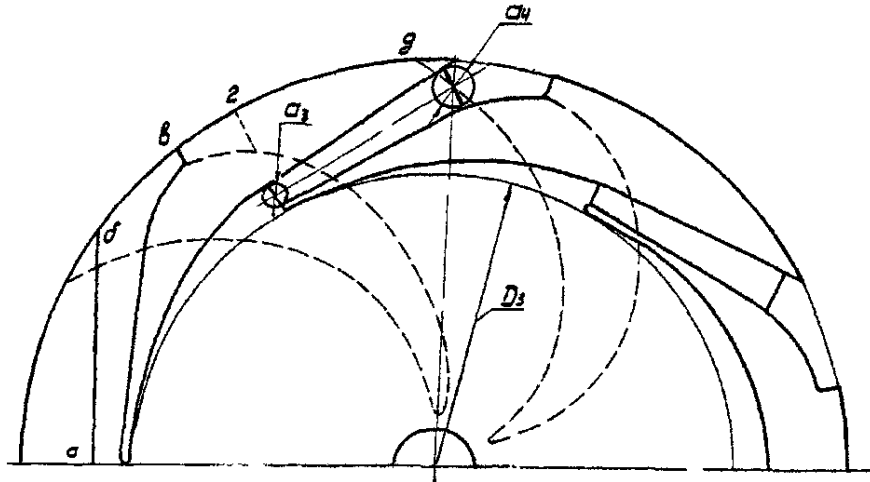


Рисунок 3.8 – План НА

Число лопаток НА $Z_{НА}$ вибирають залежно від числа лопатей РК $Z_{РК}$ з умови відсутності нерівноважених сил P та нерівноважених пульсацій тиску.

$Z_{Р.К.}$	3	4	5	6	7	8	9	10
$Z_{Н.А}$								
3	$p_0p_0p_0$	PPp_0	PPp_0	$p_0p_0p_0$	PPp_0	PPp_0	$p_0p_0p_0$	PPp_0
4	$P0p_0$	$p_0p_0p_0$	$P0P$	$0p_00$	$P0P$	$p_0p_0p_0$	$P0P$	$0p_00$
5	$0PP$	$P00$	$p_0p_0p_0$	$P00$	$0PP$	$0PP$	$P00$	$p_0p_0p_0$
6	$0p_00$	$00p_0$	$P00$	$p_0p_0p_0$	$P00$	$00p_0$	$0p_00$	$00p_0$
7	$0P0$	$0P0$	$00P$	$P00$	$p_0p_0p_0$	$P00$	$00P$	$0P0$
8	$00P$	$0p_00$	$00P$	000	$P00$	$p_0p_0p_0$	$P00$	000
9	$00p_0$	$0P0$	$0P0$	$00p_0$	000	$P00$	$p_0p_0p_0$	$P00$
10	$00P$	000	$0p_00$	000	$00P$	000	$P00$	$p_0p_0p_0$
11	000	$00P$	$0P0$	$0P0$	$0P0$	000	000	$P00$
12	000	$00p_0$	000	$0p_00$	000	$00p_0$	000	000
13	000	$00P$	000	$0P0$	$0P0$	000	$00P$	000
Гармоніки	123	123	123	123	123	123	123	123

Рисунок 3.9 – Таблиця відношення числа лопатей РК до числа лопаток НА
 Приймаємо $z_{\text{на}} = 8$.

Кут установки лопаті НА

Цей кут визначають за кутом потоку на виході з РК α_2 , з урахуванням виправлення на стиснення потоку лопатками ψ_3 і поправочного коефіцієнта μ , що враховує нерівномірність розподілу швидкостей по кроку лопатей РК й зворотних струмів у РК.

$$\operatorname{tg} \alpha_{3л} = \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha_{3п}' \quad (3.39)$$

де $\mu = 0,7 \dots 0,8$ поправочний коефіцієнт;

$$\alpha_{3п}' = \operatorname{arctg} \frac{V_{3м}'}{V_{3у}} = \operatorname{arctg} \frac{V_{3м}}{\psi_3 \cdot V_{3у}} \quad (3.40)$$

$$\psi_3 = 1 - \frac{\delta}{t \cdot \sin \alpha_{3л}} \quad (3.41)$$

$$t = \frac{\pi \cdot D_3}{z_{\text{на}}} \quad (3.42)$$

$$V_{3у} = V_{2у} \cdot \frac{D_2}{D_3} \quad (3.43)$$

$$V_{3м} = \frac{Q}{\pi \cdot D_3 \cdot b_3} \quad (3.44)$$

де δ - нормальна товщина лопатки НА, на вході, $\delta = 2$ мм;

$\alpha_{3л}$ - кут установки лопатки НА, $\alpha_{3л} = 5 \dots 8^\circ$. Приймаємо 5° .

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		42

$$V_{zu} = 12,5 \cdot \frac{140}{150} = 11,6 \text{ м/с}$$

$$V_{zm} = \frac{63}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,15 \cdot 0,008} = 5 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{3,14 \cdot 0,15}{8} = 0,0588 \text{ м}$$

$$\psi_3 = 1 - \frac{0,002}{0,0588 \cdot \sin 5^\circ} = 0,61$$

$$\alpha_{3п}' = \arctg \frac{5}{0,61 \cdot 11,6} = 35,25^\circ$$

$$tg \alpha_{3л} = 0,8 \cdot tg 35,25^\circ = 28,2^\circ$$

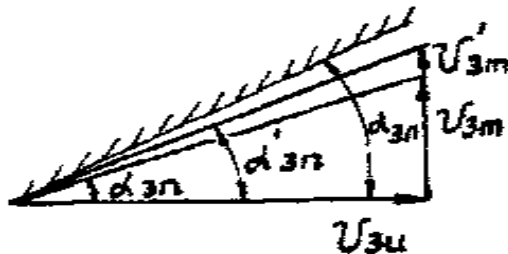


Рисунок 3.10 – Трикутник швидкостей потоку на вході в НА

Спіральну ділянку лопаток напрямному апарату виконують по логарифмічній спіралі. Для спрощення виготовлення спіральну ділянку заміняють дугою постійного радіуса.

$$\varphi_{oc} = 6^\circ; \varphi_{рад} = 9^\circ$$

Довжина дифузорного каналу:

$$l_{диф} = 3 \dots 5 \cdot a_3 \quad (3.47)$$

$$l_{диф} = 4,05 \cdot 0,0055 = 0,0222 \text{ м}$$

Висота вихідного (дифузорного) перерізу:

$$a_4 = a_3 + l_{диф} \cdot \sin \varphi_{рад} \quad (3.58)$$

$$a_4 = 0,0055 + 0,0222 \cdot \sin 9^\circ = 0,0089 \text{ м}$$

Ширина вихідного (дифузорного) перерізу:

$$b_4 = b_3 + l_{диф} \cdot \sin \varphi_{oc} \quad (3.49)$$

$$b_4 = 0,008 + 0,0222 \cdot \sin 6^\circ = 0,0104$$

Конструктивні особливості переводного та підвідного каналів були взяті з напрямного апарата насоса типу ЦНС 180-1900.

Результатом розрахунків та проектування є робочі креслення та 3д модель напрямного апарата.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

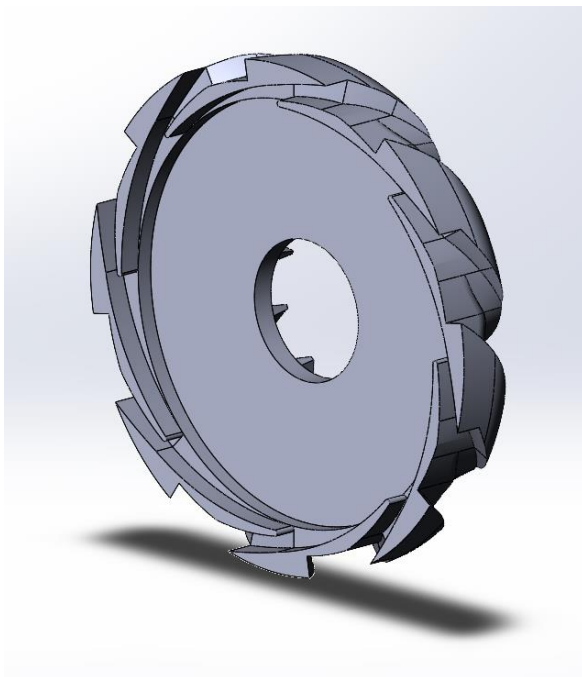


Рисунок 3.13 – 3Д модель напрямного апарата

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		46

4 Розрахунок вибору привода насоса

4.1 Вибір електродвигуна

Потужність насоса при роботі на номінальному режимі визначається за формулою:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta}$$

$$N = \frac{1050 \cdot 9,81 \cdot \frac{63}{3600} \cdot 150}{0,8} = 33799 \text{ Вт}$$

Як привід насоса вибирають електродвигун за таким параметром:

$$N_{max} = k \cdot N$$

де $k = 1,1 \dots 1,3$ – коефіцієнт запасу.

$$N_{max} = 1,1 \cdot 33799 = 37178 \text{ Вт}$$

Ураховуючи відсутність електродвигуна з необхідними параметрами та необхідність його проектування й виготовлення в майбутньому, було вирішено обрати наявний та доступний двигун ПЭДВ 45-219.

Табл. 4.1 – основні технічні характеристики електродвигуна ПЭДВ 45-219.

Номінальна Потужність кВт	Номінальний ток, А	Частота обертання, об/хв	К.К.Д
45	98 ± 5	2919	84

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		47

4.2 Частотний перетворювач

Для досягнення необхідної швидкості обертання ротора насоса застосовано частотний перетворювач моделі який дозволяє перетворювати частоту мережевої напруги, що має подаватися на клеми електродвигуна, з 0 Гц до 400 Гц.

Зазначена схема також дає можливість плавного пуску електродвигуна практично без підвищених струмів при «розгоні» ротора.



Рис 4.1 – Частотний перетворювач моделі FR500A

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

5 Вибір муфти крутного моменту

Для передачі обертового моменту від привода до насоса використовується однорядна пружна пластинчата муфта із єдиним комплектом пружних елементів. Ця муфта забезпечує ефективну компенсацію осьових та кутових відхилень ротора при високій жорсткості в радіальному напрямку, необхідній для забезпечення динамічної стійкості ротора. Прямокутна шпонка використовується для передачі обертового моменту та осьової фіксації напівмуфти за допомогою гвинтів, які кріплять шпонку до валу і напівмуфту до шпонки.

Муфти пружні пластинчасті (МУП) використовуються в машинах і агрегатах з високою відповідальністю в нафтогазовій та енергетичній галузях. Основні переваги цих муфт включають суттєве зниження навантажень на опори з'єднаних між собою машин (насос та привід), що призводить до збільшення надійності та терміну служби агрегату. Це досягається за рахунок зменшення навантажень на підшипникові вузли [9].

Муфта складається з двох напівмуфт, проставки та пакетів пружних елементів. Проставка кріпиться до напівмуфт за допомогою гвинтів з обох боків. Два пакети, з'єднані проставкою, можуть компенсувати осьові, кутові та радіальні зміщення. Пружний елемент є жорстким у радіальному напрямку та при обертанні, не може компенсувати крутильних коливань валів. Усі деталі муфти з'єднані між собою жорстко, тому муфта компенсує всі види зміщень з'єднаних між собою валів за рахунок пружних деформацій пакетів [9].

Таким чином, для з'єднання валів насоса та двигуна обрано цей тип муфти з метою нейтралізації впливу різних сил, зокрема осьових, на ротори обох з'єднаних між собою машин з метою зменшення впливу на їх опори.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

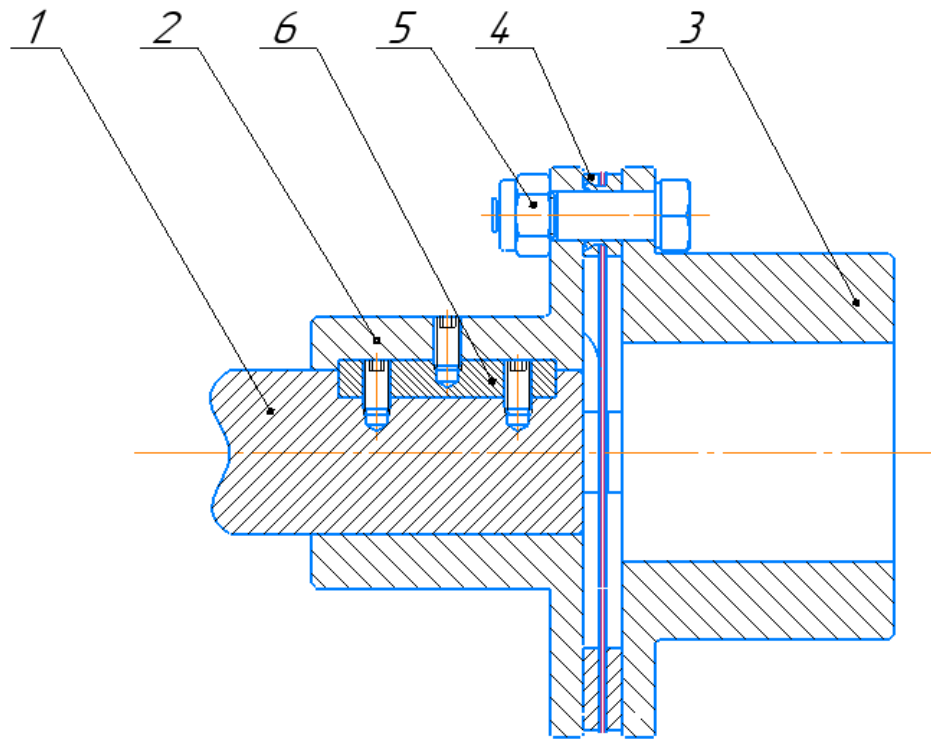


Рис 5.1 – муфта крутного моменту типу МУП: 1 – вал насоса; 2 – напівмуфта на валу насоса, 3 – напівмуфта на двигуні, 4 – проставка, 5 – гвинти, 6 – шпонка.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		50

6 Розрахунок на міцність

6.1 Розрахунок на міцність деталі стяжки секцій насоса

Вихідні дані

Розрахункові та робочі умови однакові.

Розрахунковий (робочий) зовнішній тиск – $P_3 = 1$ МПа.

Максимальний внутрішній тиск в насосі – $P_B = 1,5$ МПа

Розрахункова та робоча температура – $t = 20^\circ\text{C}$.

Матеріал деталі стяжки – сталь 10.

Зовнішнє осьове зусилля, що діє на деталь стяжки – $F = 600$ Н.

Зовнішній згинальний момент, що діє на стяжку – $M = 0$.

Конструктивне виконання деталей стяжки секцій насоса у загальному виконанні насоса див. рис. 2.1, поз. 5.

Конструктивні параметри елементів деталі стяжки	Розміри, мм
Товщина деталі стяжки, $h_{ст}$	3
Ширина деталі стяжки, $b_{ст}$	20
Кількість деталей стяжки, n	4

Допустима напружина для матеріалу деталі стяжки при температурі $t = 20^\circ\text{C}$ – $[\sigma] = 130$ МПа [10, додаток Б, табл. Б.1].

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

Розрахунок на міцність деталі стяжки

Внутрішнє осьове зусилля всередині насосу

$$F_B = \frac{\pi}{4} \cdot (0,09^2 - 0,04^2) \cdot (1,5 - 1,0) \cdot 10^6 = 2551,25 \text{ Н}$$

Осьове зусилля, що діє на стяжні болти деталі стяжки:

$$F_{\Sigma} = F_H + F_B = 600 + 2551,25 = 3151,25 \text{ Н}$$

Виходячи з конструктивного виконання і умов роботи деталі стяжки, рівнодіюча надлишкового зовнішнього тиску не враховується: $Q_d \approx 0 \text{ Н}$.

Навантаження від дії осрової сили при затягуванні болтів деталі стяжки (1.25):

$$P_{b1} = 1,1 \cdot 3151,25 = 3466,4 \text{ Н}$$

Площа поперечного перерізу деталі стяжки – $f_{ст} = 60 \text{ мм}^2$.

Навантаження деталі стяжки в робочих умовах (1.28):

$$\sigma = \frac{P_b}{n \cdot f_{ст}} = \frac{3466,4}{4 \cdot 60} = 14 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} < [\sigma] = 130 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Умова виконується

6.2 Розрахунок зварного шва деталі стяжки секцій насоса

Розподіл напружень у кутових зварних швах, згідно з результатами спеціальних теоретичних та експериментальних досліджень, визнається вкрай

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		52

складним і значно залежить від характеру технологічного процесу зварювання. Практичні розрахунки мають умовний характер і базуються на таких передумовах:

Вздовж довжини шва, незалежно від його положення відносно лінії зовнішньої сили, напруги розподіляються рівномірно.

Руйнування шва може відбуватися від зрізу по площині, яка проходить через бісектрису прямого кута трикутного перерізу шва. Іншими словами, розрахункова товщина шва $h = 0,7 \cdot k$, де k - катет шва. Зазвичай, звичайний переріз шва є рівнобедреним прямокутним трикутником. Катет шва k зазвичай призначається рівним (іноді трошки меншим) товщині елемента, який з'єднується. При цьому шви товщиною $k < 3$ мм застосовуються для ненавантажених з'єднань або при зварюванні елементів малої товщини.

При прийнятих передумовах умова міцності для всіх розглянутих типів швів записується однаково [11]:

$$\tau = \frac{F}{0,7kl} \leq [\tau_3] \quad (2.1)$$

де τ – розрахункова (умовна) напруга за небезпечним (бісекторним) перерізом;

l –периметр шва, м;

F – навантаження від дії осьової сили, Н;

$[\tau_3]$ –допустима напруга на зріз для зварного шва, МПа.

Величина $[\tau_3]$ залежить від марки електродів та способу зварювання; наприклад, при зварюванні на автоматах або напівавтоматах під шаром флюсу, а також вручну електродами вищої якості приймають $[\tau_3] = 0,65[\sigma_p]$, де $[\sigma_p]$ – допустима напруга на розтяг для основного металу конструкції.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

Вихідні дані:

Конструктивне виконання деталей стяжки секцій насоса у загальному виконанні насоса див. рис. 2.1, поз. 5.

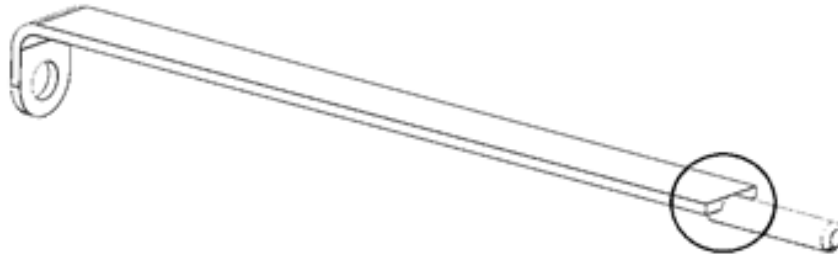


Рисунок 6.1 – Конструктивне виконання елемента зварного з'єднання

Кількість деталей стяжки – 4 шт;

Навантаження від дії осьової сили при затягуванні приварних болтів деталі стяжки – $F = 3466,4$ Н;

Сила, яка діє на одну стяжку становить – $F = 3466,4 / 4 = 866,6$ Н.

Зварювання деталей виконано по всьому периметру між приварними деталями $l \approx 25$ мм = 0,025 м.

Катет шва приймається – $k = 0,002$ мм.

Матеріал деталі стяжки, до якої приварюється шпилька – Сталь 10.

Допустима напруга на розтяг для металу конструкції $[\sigma_p] = 250$ МПа

Розрахунок

Розрахункова (умовна) напруга за небезпечним (бісекторним) перерізом (2.1):

$$\tau = \frac{866,6}{0,7 \cdot 0,002 \cdot 0,025} = 24760000 \text{ Па} = 24,76 \text{ МПа}$$

Допустима напруга на зріз для зварного шва:

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54

$$[\tau_3] = 250 \cdot 0,65 = 162,5 \text{ МПа}$$

$$24,76 \text{ МПа} \leq 162,5 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується

6.3 Розрахунок шпонкових з'єднань валу насоса

При проведенні практичних розрахунків для перевірки міцності деталей, призначених для з'єднання окремих конструкцій та підбору їх перерізу, враховується здатність витримувати зріз та зминання. При цьому важливо, щоб робочі напруги в зоні зрізу та зминання не перевищували допустимих значень.

Деформація зминання, розглядувана як варіант деформації стиску, відбувається на обмеженій площі елемента конструкції.

У практичних розрахунках напруги зминання розглядають як звичайні стискуючі напруги, а допустимі значення на зминання визначаються на підставі спеціальних експериментальних даних. При з'єднанні елементів із різних матеріалів напруги на зминання перевіряються для "м'якіших" матеріалів за загальною формулою, яка є розрахунковим рівнянням для зминання [12]:

$$\sigma_{зм} = \frac{F}{A_{зм}} \leq [\sigma_{зм}] \quad (2.2)$$

де F – зусилля зминання;

$A_{зм}$ – геометричний розмір перерізу, на який діє зусилля зминання;

$[\sigma_{зм}]$ – допустима напруга на зминання, МПа.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Припускаючи, що напруги змінання розподіляються рівномірно по площині, що зминається, то допустима напруга на змінання та на зріз для сталей може визначатись, як:

допустима напруга на змінання:

$$[\sigma_{зм}] = 0,8 \cdot \sigma_T, \text{ МПа} \quad (2.3)$$

допустима напруга при зріз:

$$[\sigma_{зр}] = 0,6 \cdot \sigma_T, \text{ МПа} \quad (2.4)$$

де σ_T – границя напруги на текучість для сталі, МПа.

Такі великі допустимі напруги на змінання для сталі пояснюються тим, що навантажена ділянка знаходиться в об'ємному напруженому стані, оточена ненапруженим матеріалом. У цьому контексті ознаки руйнування не виявляються. Зазначено, що високі напруги змінання виникають неподалік поверхні стикання, але швидко зменшуються з віддаленням від точки прикладання навантаження.

Подальші розрахунки наводяться для конструктивної реалізації шпонкового з'єднання робочих коліс та гідроп'яти з валом насоса.

У випадку призматичної шпонки за варіантом 1 (з призматичною формою і закругленими обома торцями) розрахункова напруга на змінання шпонкового з'єднання обчислюється за наступною формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot 1000}{d \cdot (h - t_1) \cdot (L - b)}, \text{ МПа}, \quad (2.5)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент на валу насоса Н · м;

d – діаметр валу під колесом, мм;

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

t_1 – глибина паза валу, мм;

h – висота шпонки, мм;

b – Ширина шпонки, мм;

L – довжина шпонки, мм.

Для призматичної шпонки з варіантом виконання 1 (призматична з закругленими обома торцями) розрахункова величина напруги на зріз шпонкового з'єднання використовується формула:

$$\sigma_{зр} = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot 1000}{d \cdot b \cdot (L - b)}, \text{ МПа} \quad (2.6)$$

Для призматичної шпонки з варіантом виконання 3 (призматична з закругленим торцем тільки з одного боку):

– розрахункова величина напруги на зминання шпонкового з'єднання використовується формула:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot 1000}{d \cdot (h - t_1) \cdot \left(L - \frac{b}{2}\right)}, \text{ МПа}, \quad (2.7)$$

– розрахункова величина напруги на зріз шпонкового з'єднання використовується формула:

$$\sigma_{зр} = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot 1000}{d \cdot b \cdot \left(L - \frac{b}{2}\right)}, \text{ МПа}. \quad (2.8)$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57

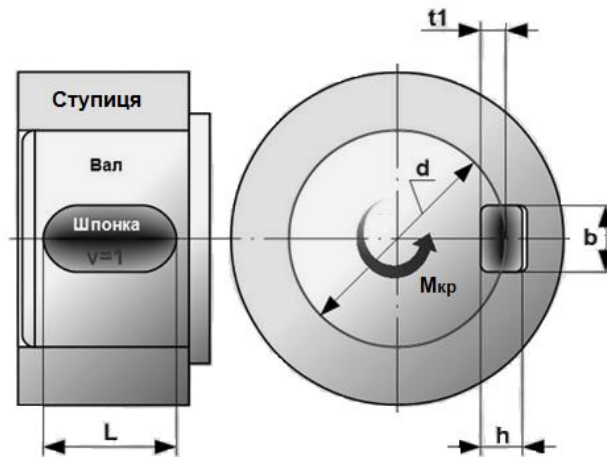


Рисунок 6.2 – Розрахункова схема шпонкового з'єднання

6.3.1 Розрахунок шпонок для з'єднання робочого колеса і валу насоса

Вихідні данні для розрахунку:

Крутний момент – $M_{кр} = 59,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Діаметр валу під колесом – $d = 28 \text{ мм}$.

Глибина паза валу – $t_1 = 4 \text{ мм}$.

Висота шпонки – $h = 7 \text{ мм}$.

Ширина шпонки – $b = 7 \text{ мм}$.

Довжина шпонки – $L = 18 \text{ мм}$.

Варіант виконання шпонки – 1 (закруглена з двох кінців).

Матеріал шпонки – сталь 45.

Границя текучості – $\sigma_T = 450 \text{ МПа}$.

Розрахункова величина напруги на зминання шпонкового з'єднання (2.5):

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 59,75 \cdot 1000}{28 \cdot (7 - 4) \cdot (18 - 7)} = 129 \text{ МПа}$$

Допустима напруга на зминання (2.3):

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

$$[\sigma_{зМ}] = 0,8 \cdot \sigma_T = 0,8 \cdot 450 = 360 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{зМ} = 129 \text{ МПа} < [\sigma_{зМ}] = 360 \text{ МПа}$$

Умова виконується

Розрахункова величина напруги на зріз шпонкового з'єднання (2.6):

$$\sigma_{зр} = \frac{2 \cdot 59,75 \cdot 1000}{28 \cdot 7 \cdot (18 - 7)} = 55,4 \text{ МПа}$$

Допустима напруга при зрізі (2.4):

$$[\sigma_{зр}] = 0,6 \cdot \sigma_T = 0,6 \cdot 450 = 270 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{зр} = 55,4 \text{ МПа} < [\sigma_{зр}] = 270 \text{ МПа}$$

Умова виконується

6.3.2 Розрахунок шпонки для з'єднання гідроп'яти і валу насоса

Вихідні данні для розрахунку:

Крутний момент – $M_{кр} = 59,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Діаметр валу під колесом – $d = 24 \text{ мм}$.

Глибина паза валу – $t_1 = 4 \text{ мм}$.

Висота шпонки – $h = 7 \text{ мм}$.

Ширина шпонки – $b = 7 \text{ мм}$.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59

Довжина шпонки – $L = 18$ мм.

Варіант виконання шпонки – 3 (закруглена з двох кінців).

Матеріал шпонки – сталь 45.

Границя текучості – $\sigma_T = 450$ МПа.

Для шпонки з варіантом виконання 3 розрахункова величина напруги на зминання шпонкового з'єднання (2.7):

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 59,75 \cdot 1000}{24 \cdot (7 - 2) \cdot \left(15 - \frac{7}{2}\right)} = 86,6 \text{ МПа}$$

Допустима напруга на зминання (2.3):

$$[\sigma_{зм}] = 0,8 \cdot \sigma_T = 0,8 \cdot 450 = 360 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{зм} = 86,6 \text{ МПа} < [\sigma_{зм}] = 360 \text{ МПа}$$

Умова виконується

Для шпонки з варіантом виконання 3 розрахункова величина напруги на зріз шпонкового з'єднання (2.8):

$$\sigma_{зр} = \frac{2 \cdot 59,75 \cdot 1000}{24 \cdot 7 \cdot \left(15 - \frac{7}{2}\right)} = 61,9 \text{ МПа}$$

Допустима напруга при зрізі (2.4):

$$[\sigma_{зр}] = 0,6 \cdot \sigma_T = 0,6 \cdot 450 = 270 \text{ МПа.}$$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

$$\sigma_{зр} = 61,9 \text{ МПа} < [\sigma_{зр}] = 270 \text{ МПа}$$

Умова виконується

6.4 Розрахунок на кручення валу насоса

Створення отворів у стінці порожнистої труби валу може викликати неприпустиме зниження міцності, жорсткості та вібростійкості валу. Це пояснюється тим, що отвори будь-якої форми призводять до зменшення площі поперечного перерізу валу, і навантаження розподіляється між перемичками між цими отворами. Така розподілення може не забезпечити необхідну міцність в площині перерізу, що проходить через центри цих отворів. Тому для забезпечення механічної міцності порожнього валу в області отворів потрібно виконати розрахунки на міцність та вібростійкість [13].

Відомо, що напруга кручення в перерізі суцільного валу, який перпендикулярний його осі, має максимальне значення на зовнішній поверхні валу, і це значення зменшується до $\tau = 0$ на осі валу, змінюючись за прямолінійним законом. Таким чином, для суцільного валу максимальна напруга кручення визначається як [12].

$$\tau_{max} = \frac{M_{кр} \cdot d}{2I_p} = \frac{M_{кр}}{W_p} \quad (2.9)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент на валу, Н · м;

I_p – полярний момент інерції перерізу валу, мм⁴;

d – діаметр валу, мм;

W_p – полярний момент опору перерізу валу, мм³.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

На вали круглого перерізу, які використовуються для передачі обертального руху від одного агрегату до іншого, працює крутний момент. Для визначення міцності таких валів використовується метод розрахунку за допустимими напругами, який є приблизним підходом до оцінки міцності вала, оскільки основний аспект його розрахунку зосереджений на жорсткості.

Формула розрахунку на міцність має вигляд [12]:

$$\tau_{max} = \frac{M_{кр}}{W_p} \leq [\tau] \quad \text{або} \quad \frac{\tau_{max}}{[\tau]} \leq 1 \quad (2.10)$$

Допустиму напругу на кручення приймається, як [13]:

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma] \quad (2.11)$$

де $[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для конструкційного матеріалу, з якого виготовлений порожнистий вал, МПа.

У даному випадку вал є полим, і, крім того, згідно з конструкцією насосу, в області розташування вхідного отвору першого робочого колеса він має відкриті отвори. Для визначення полярного моменту інерції такого послабленого перерізу відносно його центру (осі валу) застосовувалася розрахункова схема, яка представлена на рис. 2.3, з чотирма відкритими отворами.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

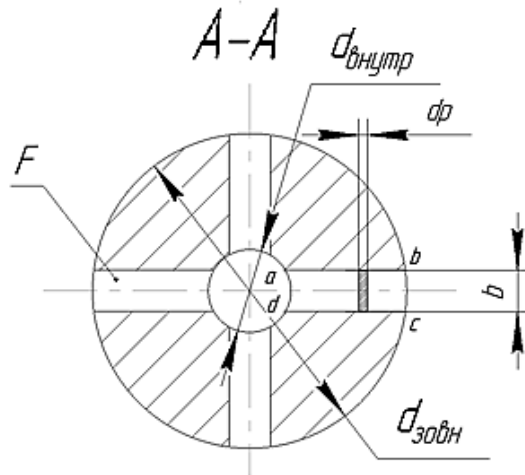


Рисунок 6.3 – Розрахункова схема перерізу полого валу в розрізі А-А

Прийнявши у припустимому наближенні, що переріз прорізів (отворів) в підлозі валу має форму прямокутника $abcd$, виділимо в ньому нескінченно малу смужку шириною $d\rho$, тоді полярний момент вказаного прямокутника [13]:

$$I_{P(abcd)} = b \cdot \frac{r_{\text{зовн}}^3 - r_{\text{внутр}}^3}{3} = b \cdot \frac{d_{\text{зовн}}^3 - d_{\text{внутр}}^3}{24} \quad (2.12)$$

де b – параметр, який конструктивно дорівнює діаметру радіального отвору $d_{\text{р.о.}}$.

Полярний момент інерції кільця в перерізі порожнього валу без прорізів [12]

$$I_p = \frac{\pi \cdot (d_{\text{зовн}}^4 - d_{\text{внутр}}^4)}{32} \quad (2.13)$$

Розрахункове значення полярного моменту інерції $I_{p(\text{розр})}$ (заштрихована частина перерізу на рис.2.3) визначається, як:

$$I_{p(\text{розр})} = I_p - n \cdot I_{P(abcd)} \quad (2.14)$$

де n – кількість отворів.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для валу, в перерізі де встановлюються робочі колеса та гідроп'ята Б-Б (розрахункова схема перерізу, наведена на рис. 2.4), вал без отворів.

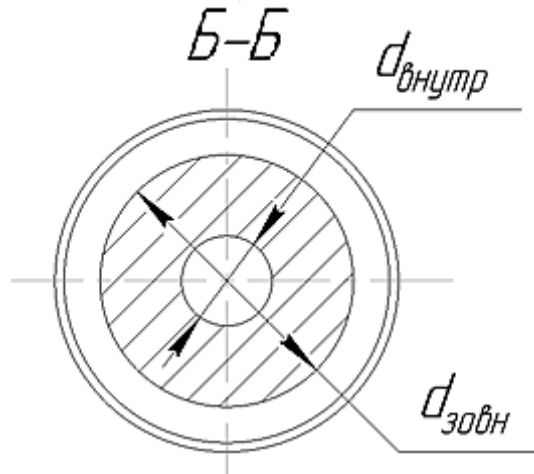


Рисунок 6.4 – Розрахункова схема перерізу полого валу в розрізі Б-Б

Вихідні дані до розрахунків

Крутний момент – $M_{кр} = 59,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Зовнішній діаметр валу у перерізі А-А – $d_{зовн} = 38 \text{ мм}$.

Внутрішній діаметр валу у перерізі А-А – $d_{внутр} = 10 \text{ мм}$.

Діаметр радіальних отворів у перерізі валу А-А – $d_{р.о.} = 10 \text{ мм}$.

Кількість радіальних отворів – $n = 4 \text{ шт}$.

Зовнішній діаметр валу у перерізі Б-Б – $d_{зовн} = 28 \text{ мм}$.

Внутрішній діаметр валу у перерізі Б-Б – $d_{внутр} = 10 \text{ мм}$.

Матеріал валу – сталь 12Х18Н10Т.

Допустима напруга на розтяг для конструкційного матеріалу, з якого виготовлений порожнистий вал – $[\sigma] = 500 \text{ МПа}$.

Допустима напруга на кручення для конструкційного матеріалу, з якого виготовлений порожнистий вал (2.11) – $[\tau] = 0,6 \cdot 500 \text{ МПа} = 300 \text{ МПа}$

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

6.4.1 Результати розрахунків для перерізу А-А

Полярний момент прямокутника у перерізі радіального отвору (2.12):

$$I_{P(abcd)} = 5 \cdot \frac{38^3 - 10^3}{24} = 11223 \text{ мм}^4$$

Полярний момент інерції кільця в перерізі порожнього валу без урахування прорізів (2.13):

$$I_p = \frac{3,14 \cdot (38^4 - 10^4)}{32} = 203623 \text{ мм}^4$$

Розрахункове значення полярного моменту інерції (2.14):

$$I_{p(\text{розр})} = 203623 - 4 \cdot 11223 = 158729 \text{ мм}^4$$

Максимальна напруга на кручення на перерізі А-А (2.9):

$$\tau_{max} = \frac{M_{кр} \cdot d_{зовн}}{2I_{p(\text{розр})}} = \frac{59,75 \cdot 1000 \cdot 38}{2 \cdot 158729} = 7,15 \text{ МПа}$$

Міцність порожнього валу у перерізі А-А перевіряється за умовою (2.10):

$$\frac{7,15}{300} = 0,0238 \leq 1$$

Умова виконується

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

6.4.2 Результати розрахунків для перерізу Б-Б

Полярний момент інерції кільця в перерізі порожнього валу Б-Б (2.13):

$$I_p = \frac{\pi \cdot (d_{\text{зовн}}^4 - d_{\text{внутр}}^4)}{32} = \frac{3,14 \cdot (28^4 - 10^4)}{32} = 59332 \text{ мм}^4$$

Максимальна напруга на кручення на перерізі Б-Б (2.9):

$$\tau_{\text{max}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot d_{\text{зовн}}}{2I_p(\text{розр})} = \frac{59,75 \cdot 1000 \cdot 28}{2 \cdot 59332} = 14,1 \text{ МПа}$$

Міцність порожнього валу у перерізі Б-Б перевіряється за умовою (2.10):

$$\frac{14,1}{300} = 0,0469 \leq 1$$

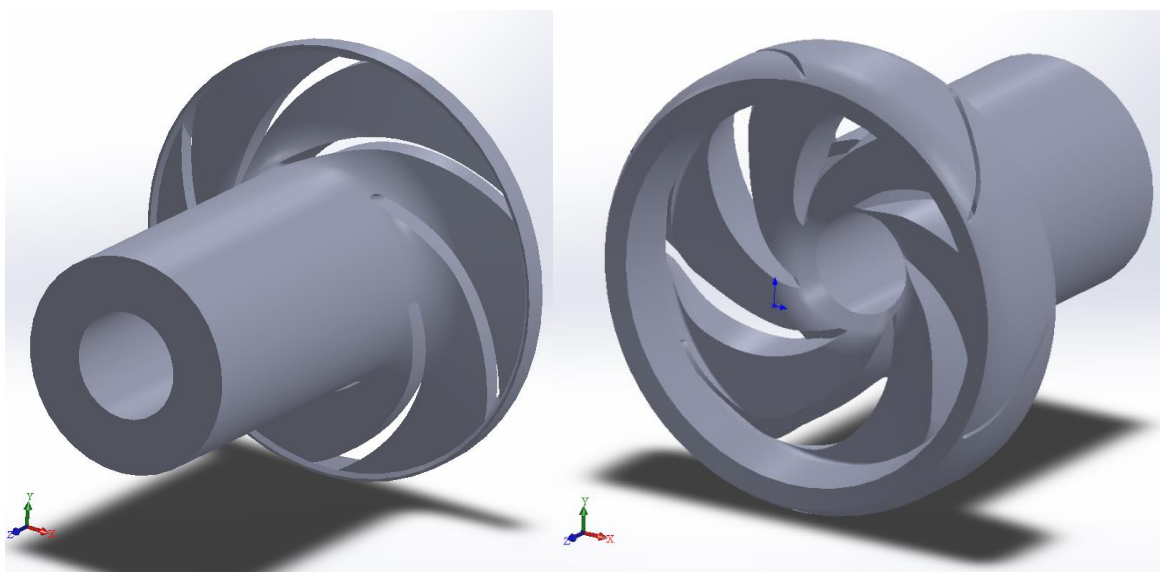
Умова виконується

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

7 Чисельне дослідження та аналіз результатів

7.1 Опис кроків формування розрахункової моделі

Згідно з створеною конструктивною схемою насоса ЗН 63-150 у середовищі Solidworks проведено розробку тривимірних моделей компонентів його проточної частини (див. Рис. 7.1).



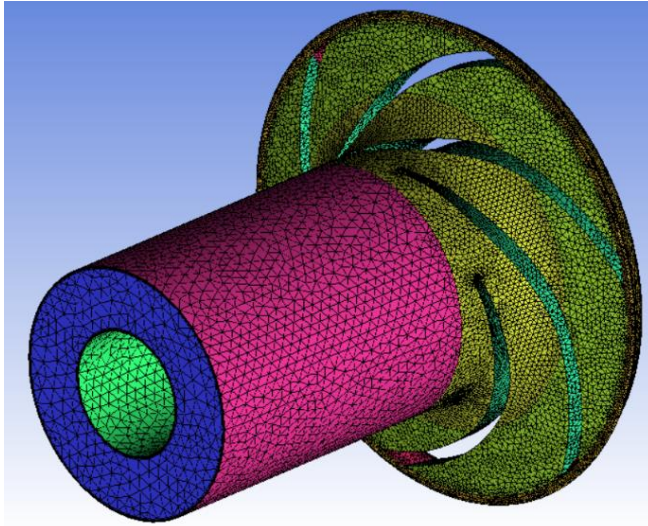
а

б

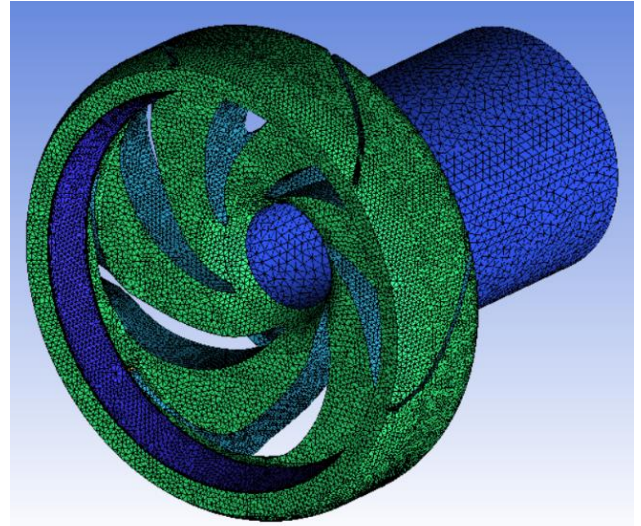
Рисунок 7.1 – Побудова 3D-моделей елементів проточної частини розглянутого насоса ЗН 63-150: а – робоче колесо і підвідний пристрій, б – відвідний пристрій

Для чисельного аналізу за допомогою генератора сіток ICEM CFD були створені неструктуровані сітки (див. Рис. 7.2), які відтворюють середовище в проточній частині насоса. Для опису пограничного шару навколо твердих стінок було використано вісім шарів призматичних комірок. Здійснено попереднє дослідження незалежності сітки.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67



а



б

Рисунок 7.2 – Побудова розрахункових сіток елементів проточної частини розглянутого насоса ЗН 63-150: а – робоче колесо і підвідний пристрій, б – відвідний пристрій

Параметри розрахункової сітки (див. рис. 7.2):

- для робочого колеса 799665 комірок;
- для корпусу 168462 комірок;

Після створення сітки вихідні параметри встановлюються у препроцесорі. В якості граничних умов на вході до обчислювальної області використовується масова витрата, а на виході - статичний тиск. Для всіх твердих об'єктів встановлена умова, за якою швидкість на їх поверхні рівна нулю. Шорсткість стін прийнята відповідно до технічних креслень елементів проточної частини насоса.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		68

В розрахунковій моделі задані параметри входу, виходу, шорсткості стінок, інтерфейсів та ін. (рис. 7.3).

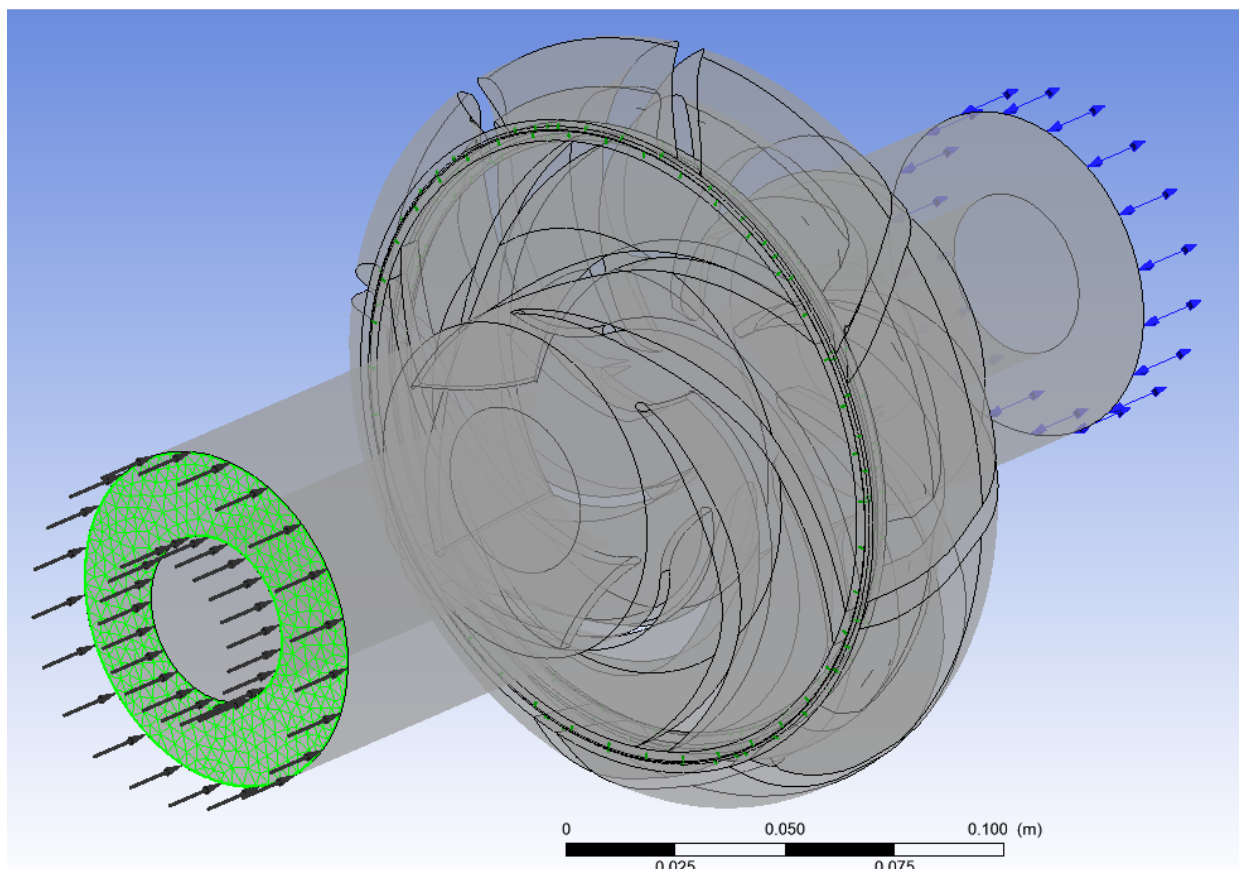
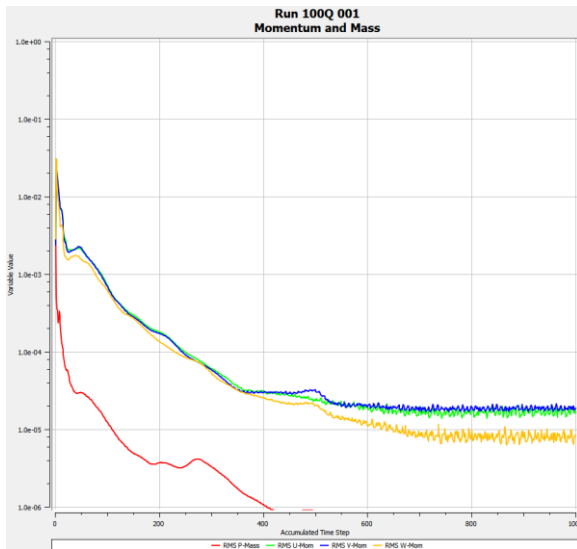
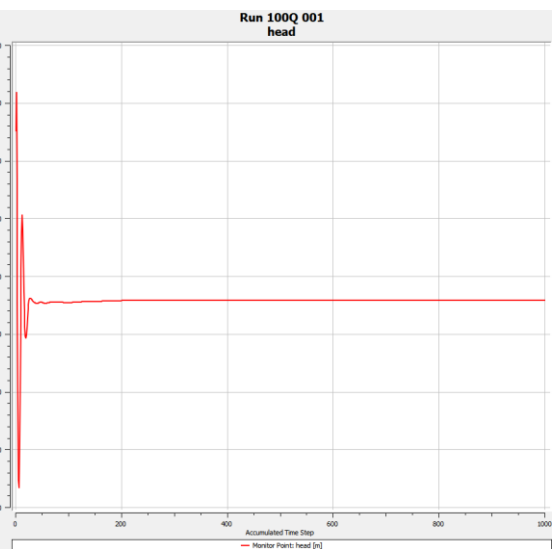


Рисунок 7.3 – Розрахункова модель для виконання числового дослідження при розробці насоса ЗН 63-150

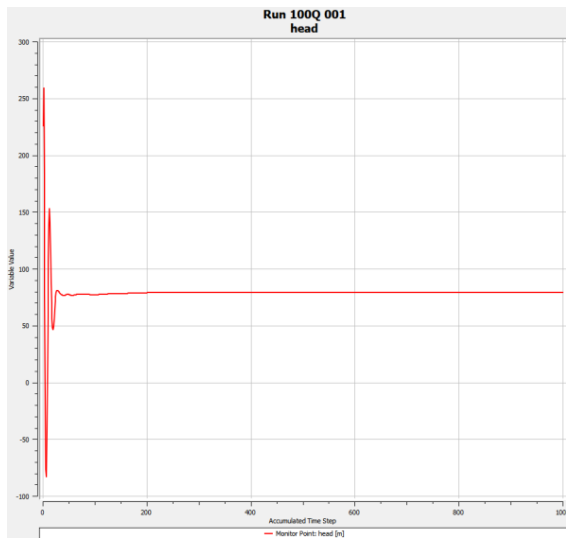
Після цього були проведені послідовні чисельні дослідження для досягнення збіжності параметрів за масою та моментами (див. Рис. 7.4 а), за напором [52] (Рис. 7.4 б), за коефіцієнтом корисної дії (К.К.Д.) (див. Рис. 7.4 в) та за ефективною та споживаною потужністю (див. Рис. 7.4 г).



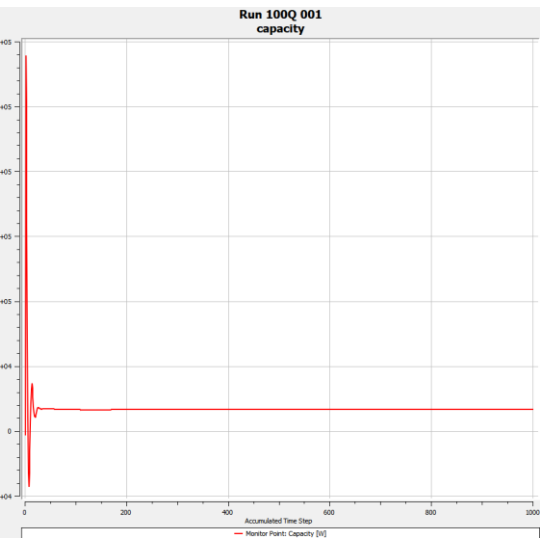
а



б



в



г

Рисунок 7.4 – Методика проведення дослідження з визначенням збіжності параметрів: а – за масою та моментами; б – за напором; в – за К.К.Д.; г – за споживаною і корисною потужністю

Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

7.2 Аналіз результатів

У результаті аналізу якісної картини розподілу відносної швидкості (рис. 7.5) було виявлено, що проектування направляючого апарату і робочого колеса було правильним. В міжлопатевих каналах направляючого апарату відсутні зони суттєво зниженої відносної швидкості (показано синім кольором) і зони підвищеної відносної швидкості (показано червоним кольором).

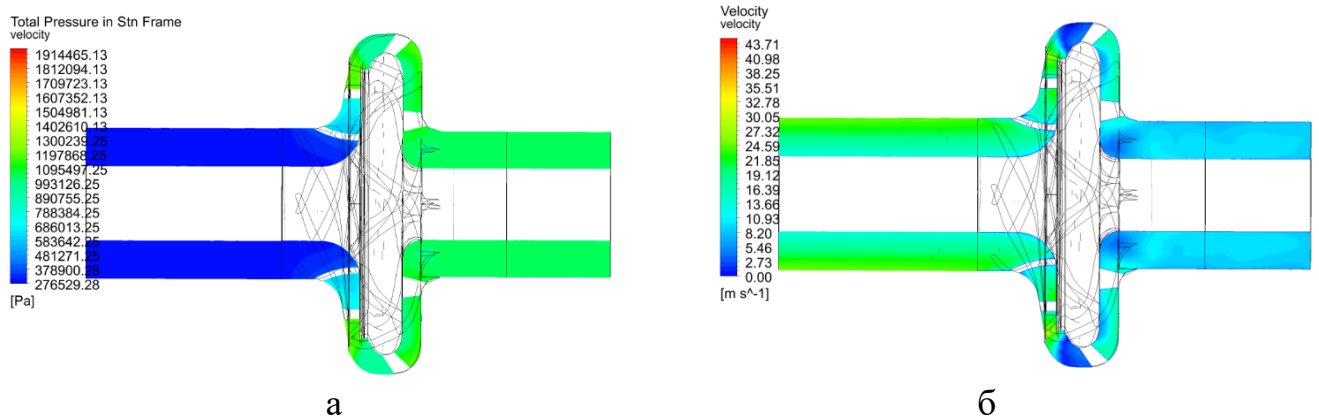


Рисунок 7.5 – Якісна картина розподілу в проточній частині спроектованого ступеня (модель 05): а – тиску; б – відносної швидкості

Робоча точка – 63 м³/год.

Напір – 75,2 м.

К.К.Д. – 72,2%.

Таблиця 7.1 – Характеристика розробленого ступеня насоса ЗН 63-150

Частка від значення робочої точки	Подача, Q	Напір, Н	Енергоефективність (К.К.Д.), η
	м ³ /год	м	-
0,05	3,15	85,4	0,123
0,1	6,3	87,7	0,217
0,2	12,6	90,7	0,334
0,4	25,2	94,6	0,495
0,6	37,8	89,3	0,608
0,8	50,4	83,4	0,675
1	63	75,2	0,722
1,2	75,6	63,4	0,731
1,4	88,2	53	0,705
1,6	100,8	40	0,609

Напірна характеристика ступеня (рис. 7.6) показує западання від 0 м³/год до 25 м³/год. Це не впливає на працездатність насоса, оскільки стандарти дозволяють насосу працювати в діапазоні роботи від 0,8 до 1,2 $Q_{\text{опт}}$ [14].

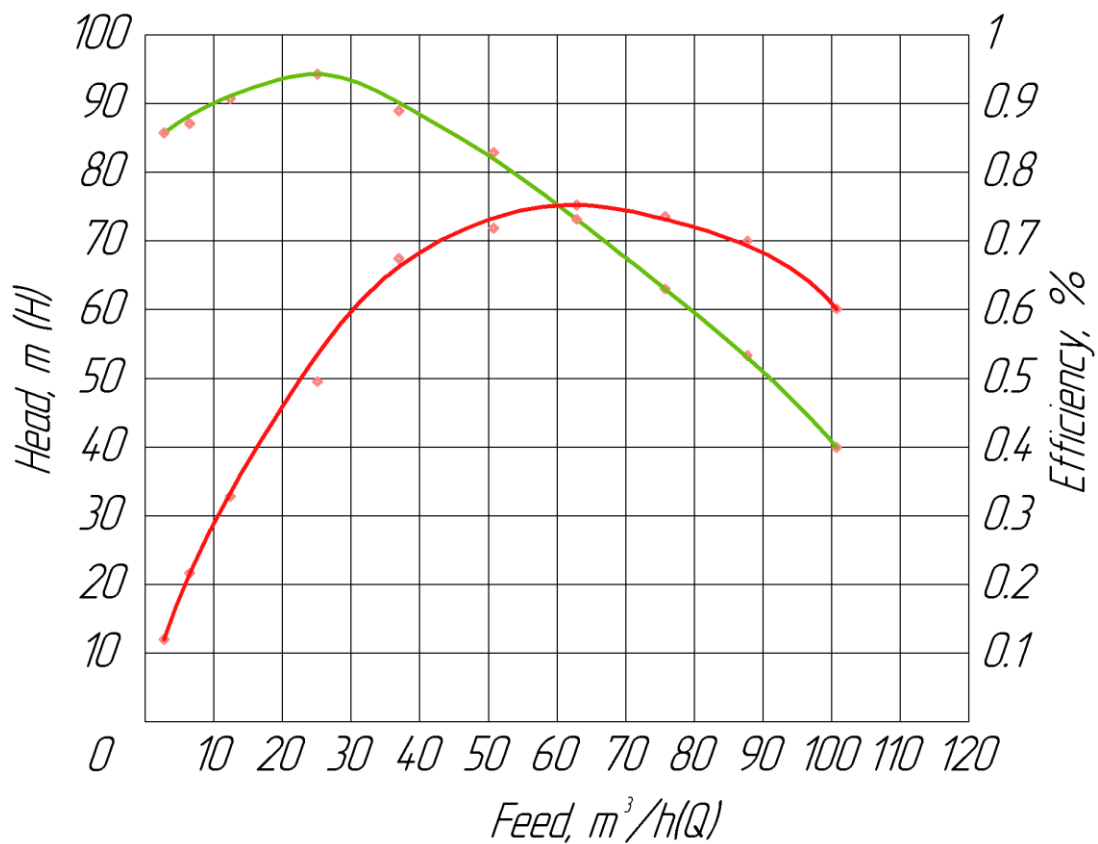


Рисунок 7.6 – Характеристика розробленого ступеня насоса ЗН 63-150

8 Економічний розділ

Тема: Організація науково-дослідних робіт

Наукові дослідження можуть бути фундаментальними, пошуковими або прикладними за змістом отриманих результатів.

Фундаментальні дослідження поділяються на експериментальні та теоретичні. Основою фундаментальних досліджень є відкриття нових явищ, закономірностей і принципів, які можна використовувати для створення нових технологій, виробництва, організації виробництва та споживання, серед іншого. Фундаментальні дослідження зазвичай служать основою для пошукових і прикладних досліджень, які стосуються розробки нових матеріалів, інструментів і методів виробництва. Теорії, гіпотези тощо є типами інформації.

Пошукові наукові дослідження спрямовані на вивчення більш конкретних тем, таких як можливості розробки нових матеріалів, методів і технологій, підвищення продуктивності праці та якості продукції, яку виробляють. Пошукові дослідження генерують науково-технічну інформацію, яка часто має матеріально-технічне втілення.

Згідно з позитивними результатами досліджень є надзвичайно конкретними та надаються у формі звітів, технічної документації, макетів і експериментальних зразків.

Прикладні наукові дослідження безпосередньо спрямовані на створення нових або покращення існуючих товарів, а також на розробку процесів виробництва цих товарів, засобів механізації та автоматизації виробництва, систем і методів контролю якості продукції. Використання результатів прикладних досліджень у формі звітів, технічної документації, макетів, дослідних зразків тощо є основою для подальших досліджень з метою впровадження наукових ідей у практику. Дослідно-конструкторські роботи — це прикладні дослідження в галузі матеріального виробництва, які включають розробку технічного та робочого

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		73

проектування, виготовлення та випробування дослідних зразків. У процесі цих робіт можливості прикладних досліджень використовуються для вирішення технічних завдань.

Навчальні заклади Академії наук і науково-дослідні лабораторії вищих навчальних закладів, як правило, займаються фундаментальними та пошуковими роботами. Науково-дослідні інститути галузі, конструкторські бюро та підрозділи підприємств виконують пошукові та прикладні роботи. Конструкторські бюро та наукові лабораторії підприємств відіграють важливу роль у проведенні наукових досліджень. Вони зазвичай розробляють конструкторські проекти та іноді самостійно розробляють проекти для серійного виробництва.

Цикл НДР, який проводять підприємства та інші організації, складається зі стадій, а також можливих стадій.

Стадія є логічно обґрунтованим розділом НДР, який має самостійне значення та потребує планування та фінансування.

На першій стадії, розробці технічного завдання, підбирається та вивчається література, патентна інформація та інші матеріали, пов'язані з темою. Отримані дані обговорюються, а потім складається аналітичний огляд і висуваються гіпотези. За результатами аналізу визначаються напрями роботи та методи виконання вимог, які мають відповідати продукту. Звітна науково-технічна документація складається за етапами, визначаються необхідні виконавці, технічне завдання готується та видається.

На другій стадії, проведення теоретичних і експериментальних досліджень розробляється теоретична розробка теми. У цьому етапі перевіряються наукові та технічні ідеї, розробляються методи дослідження, вибираються схеми, обираються методи розрахунків і досліджень, визначається необхідність проведення експериментальних робіт і розробляються методи їх проведення.

На другому етапі планування та виготовлення макетів і експериментального зразка здійснюються після того, як визначено, що експериментальні роботи повинні бути проведені.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						74
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

На третьому етапі проводяться експерименти на зразку на стендах і в поле відповідно до розроблених програм і методів. Результати випробувань аналізуються, щоб визначити, наскільки дані експериментального зразка відповідають розрахунковим і теоретичним результатам. Якщо відхилення виникають, перевіряється експериментальний зразок і проводяться додаткові випробування; крім того, якщо це необхідно, змінюються розрахунки, схеми та технічна документація.

На третій стадії, оформлення результатів НДР, складається звітна документація, яка містить інформацію про новизну та доцільність використання результатів НДР, а також економічну ефективність. Якщо результати є позитивними, розробляються науково-технічна документація та проект технічного завдання дослідно-конструкторських робіт. Комплект науково-технічної документації подається замовникові для прийняття. Незалежно від завершення складання всієї технічної документації, якщо певні технічні рішення є новими, вони можуть отримати патентну службу. Перед поданням НДР комісії керівник теми складає повідомлення про його готовність до прийняття.

На етапі прийняття теми проводиться обговорення, затвердження та підписання результатів науково-технічного звіту (НДР).

Розробник передає замовникові прийнятий комісією експериментальний зразок нового продукту; протоколи приймальних випробувань і акти приймання дослідного зразка; розрахунки економічної ефективності використання результатів розробки; і необхідну технологічну та конструкторську документацію для виготовлення експериментального зразка, якщо отримані позитивні результати та підписаний акт приймання. Розробник бере участь у проектуванні та розробці нового продукту, а також несе відповідальність разом із замовником за досягнення показників, які він гарантував.

Проведення комплексної НДР відповідно до цільової програми дозволяє не тільки вирішити науково-технічну проблему, але й створити достатній заділ для більш оперативної та якісного проведення дослідно-конструкторських робіт,

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						75
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

конструкторської та технологічної підготовки виробництва, а також значно скоротити обсяг допрацювань і строки створення й освоєння нової техніки.

Без попередньої науково-дослідної роботи дослідно-конструкторські роботи (ДКР) проводяться в порядку реалізації результатів науково-дослідної роботи (НДР) або безпосередньо за технічним завданням на ДКР. Вони виконуються в декілька етапів.

Першою частиною процесу є техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) доцільності розробки нового продукту та переходу до серійного виробництва. На даний момент розробляються варіанти вирішення завдань, конструкторські та технологічні рішення. Складається перелік завдань, які повинні бути виконані, уточнюється загальний обсяг робіт, витрати та терміни виконання. Крім того, співвиконавці визначаються. Наводяться дані, що характеризують експлуатаційну надійність виробу, ступінь його уніфікації та стандартизації, а також відповідність його технічному рівню сучасним досягненням науки та техніки в країні та за кордоном. Оцінюється орієнтована вартість дослідного та серійного зразків, а також орієнтований строк початку постачання замовників. Визначається склад технічної підготовки та призначені відповідальні особи для виконання конкретних завдань.

На другому етапі дані ТЕО уточнюються, а найкращий варіант побудови виробу та його компонентів вибирається з урахуванням вартості, ефективності та масштабів виробництва. Розробляються структурні, функціональні, принципові схеми, визначаються загальні конструкторські та технологічні рішення, досліджуються енергоживлення, захищеність від зовнішніх впливів, ремонтпридатність тощо. Розробляються та складаються заявки на розробку та освоєння нових матеріалів і комплектуючих виробів, вимірюються найбільш складні та відповідальні функціональні частини виробу тощо.

На третьому етапі проводяться теоретичні та експериментальні перевірки схемних, конструкторських і технологічних рішень; уточнюються принципові схеми; перевіряються нові матеріали та напівфабрикати, що складають вироби; і

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		76

виготовляються макети, які проходять механічні та кліматичні випробування. На цьому етапі проводяться оцінки надійності, функціональності, електричних і температурних режимів, ремонтпридатності та зручності в експлуатації. Оцінюються відповідність застосовуваних компонентів вимогам, ступінь уніфікації та ефективність технічного контролю якості. Виготовляється робоча документація для дослідного зразка.

На четвертому етапі макетується та конструюється складна функціональна частина виробу, а також складається перелік елементів, що підлягають вихідному контролю та елементів, що підлягають додатковій перевірці. Відділ технічної документації розмножується та передається у виробництво після завершення виготовлення дослідного зразка. Дослідний зразок виготовляється за допомогою недорогих технологій. Розробник проводить попередні заводські випробування за програмою та методикою замовника. Після цього випускники проходять державні випробування, і всі ці процеси оформляються актом. Запропоновані науково-технічні розробки та пропозиції щодо їх використання повинні відповідати таким вимогам:

- 1) новизна та перспективність запропонованих науково-технічних рішень;
- 2) економічна ефективність нового виробу або технологічного процесу за умови його застосування у виробництві;
- 3) конкурентоспроможність і патенти;
- 4) надійність і довговічність виробу, стійкість технологічних процесів;
- 5) відповідність стандартам техніки безпеки, естетики та ефективності праці.

Науково-технічна розробка вважається закінченою, коли продукт проходить випробування, приймається комісією та рекомендується до виробництва.

Замовник приймає рішення про терміни та обсяги освоєння промислового виробничого виробу на основі всіх завершених і рекомендованих розробок. Акт приймання дослідного зразка є основою.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		77

9 Розділ з охорони праці

Тема: **Ураження людини електричним струмом і його наслідки.**

Вплив електричного струму на організм людини супроводжується термічним, електролітичним, біологічним та механічним впливом. Термічна дія струму проявляється у виникненні електричних опіків, нагріванні тканин і органів. Електролітична дія призводить до розкладу рідин в організмі, включаючи кров. Біологічний вплив струму викликає подразнення тканин та скорочення м'язів, тоді як механічна дія може призводити до розшарування тканин та інших травм.

Електричні травми характеризуються місцевими пошкодженнями тканин і органів людини в результаті впливу електричного струму та електричної дуги. Це може включати опіки, електричні знаки, металізацію шкіри, електрофтальмію та механічні ушкодження.

При проходженні струму більше 1 А виникають струмові опіки. Контактні електроопіки виникають при дотику людини до струмоведучої частини, а дугові опіки – внаслідок дії електричної дуги. Електричні знаки, які є мітками струму, можуть включати плями на шкірі, подряпини, рани та інші ознаки.

Електрофтальмія виникає внаслідок запалення зовнішніх оболонок очей внаслідок електричної дуги. Механічні пошкодження виникають через біологічний вплив струму, призводячи до зупинки дихання, розриву тканин, вивихів, переломів та інших ушкоджень.

Електричні удари викликають збудження клітин та судомне скорочення м'язів. Їх різновиди визначаються відсутністю свідомості, порушенням серцебиття та дихання. Смерть від електричних ударів може наступити через фібриляцію серця, параліч дихання та електричний шок.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		78

Розрізняють 4 ступені електричного удару (див табл. 9.1).

Таблиця 9.1 – Ступені електричного удару.

1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	4 ступінь
Судомні скорочення м'язів без втрати свідомості та без порушення серцебиття і дихання.	Судомні скорочення м'язів з втратою свідомості та без порушення серцебиття і дихання.	Судомні скорочення м'язів з втратою свідомості та без порушення серцебиття або дихання / серцебиття і дихання.	Клінічна смерть.

Чинники, що впливають на наслідки ураження електричним струмом

Чинники, які впливають на наслідки впливу електричного струму на організм людини, включають опір тіла, який залежить від стану шкіри, характеристик електричного кола, фізіологічних параметрів та умов навколишнього середовища. Пошкодження рогового шару шкіри, вологість, забруднення та потовиділення сприяють зменшенню електричного опору тіла. Більша площа контакту з електродами також зменшує опір.

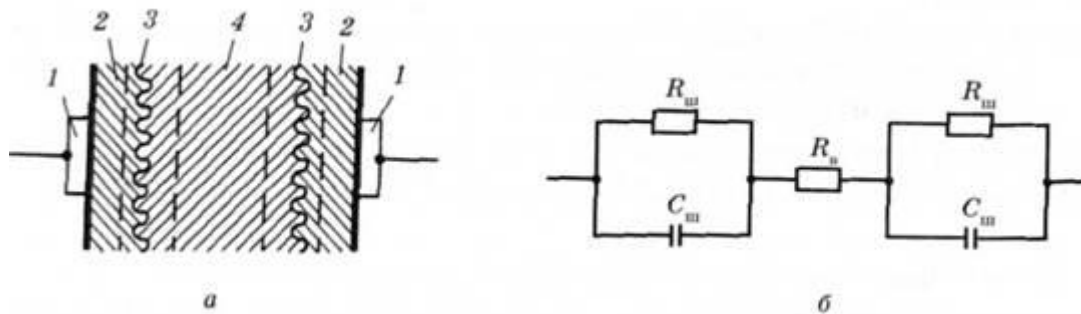


Рис 9.1 – Умовні схеми опору тіла людини:

а – загальна схема: 1 – електроди, 2 – зовнішній шар, 3 – внутрішній шар, 4 – внутрішні тканини тіла, б – електрична схема, $R_{ш}$ – активний опір шкіри, C – ємнісний опір шкіри, $C_{ш}$ – опір внутрішніх тканин тіла.

Шкіра обличчя, шиї, зап'ястків і під пахвами має найменший опір через тонший верхній шар. Жінки, діти та літні люди зазвичай мають нижчий електричний опір через тоншу шкіру. Збільшення струму і напруги зменшують опір, а тіло людини є більш чутливим до струму змінної частоти. Звукові та світлові подразники також впливають на електричний опір.

Температура навколишнього середовища, теплове опромінення та зміни парціального тиску також можуть змінювати опір. Наявність струмопровідної підлоги та металевих предметів поблизу електрообладнання може збільшити ризик ураження. Вологість, струмопровідний пил, пари і гази також створюють загрозу.

У будь-якому випадку, результат ураження електричним струмом залежить від величини струму, тривалості, шляху, частоти та роду струму, а також індивідуальних властивостей людини.

Напруга кроку та дотику

Замикання на землю виникає, коли частини електроустановки, що перебувають під напругою, випадково з'єднуються зі землею через пошкодження або пробій ізоляції, наприклад, при падінні повітряної лінії електропередачі.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		80

Зона розтікання струму - це область на землі, де електричні потенціали, спричинені струмом внаслідок замикання на землю, можуть бути вважати нульовими. Зазвичай ця зона обмежена об'ємом півсфери з радіусом приблизно 20 метрів.

Особа, що стоїть на землі або на струмопровідній підлозі в зоні розтікання струму і торкається при цьому заземлених струмоведучих частин, стає під впливом напруги дотику. Якщо ноги людини стоять на точках ґрунту з різними потенціалами в зоні розтікання струму, вона також може знаходитися під напругою.

Для визначення засобів та заходів захисту людини від ураження електричним струмом необхідно мати дані про допустимі значення напруги дотику та струмів, що проходять через тіло людини.

Напруга дотику – напруга між двома точками електричного кола, до яких одночасно доторкається людина.

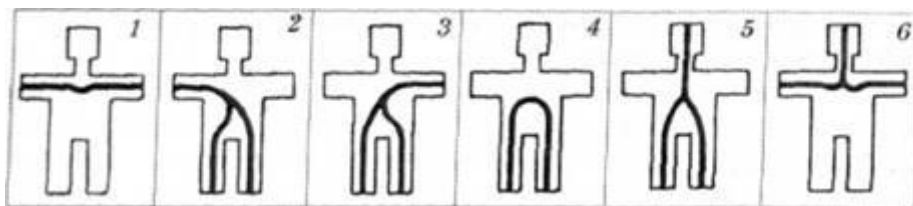


Рис 9.2 – Найбільш поширені шляхи проходження струму через тіло людини: 1 – рука-рука, 2 – права рука-ноги, 3 – ліва рука-ноги, 4 – нога-нога, 5 – голова-ноги, 6 – голова-руки.

Напруга кроку – це напруга між 2 точками електричного кола, що знаходяться на відстані кроку одна від одної (0,8 м) і на яких одночасно стоїть людина.

Безпечна експлуатація електроустановок: електрозахисті засоби і заходи

Щоб захистити людину від можливого ураження електричним струмом, використовують різні заходи безпеки. Основні серед них – це використання

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		81

електроізоляції, робота з малими напругами, електричне блокування, розділення мережі, обмеження доступу до струмопровідних частин обладнання, використання попереджувальних засобів та електрозахисних засобів.

Електроізоляція означає використання діелектричного матеріалу або конструкції для покриття частин, що проводять струм, або для відокремлення провідних частин. Це створює бар'єр для струму через великий опір. Часто застосовується подвійна ізоляція.

Малі напруги використовують для живлення переносного електроінструменту та освітлення, що вважається безпечним для людини. У особливо небезпечних умовах напруга може бути ще нижчою.

Забезпечення недоступності до струмопровідних частин обладнання досягається розміщенням обладнання на висоті та огороженням.

Електричне блокування використовується для упорядкування процесу ввімкнення (вимкнення) механізмів у різних електричних пристроях.

Розділення мережі здійснюється за допомогою відокремлювальних трансформаторів, які відсутністю електричного зв'язку між обмотками ізолюють електроприймачі від загальної мережі.

Попереджувальна сигналізація активується при включенні апаратів або при наявності (відсутності) напруги на певній ділянці мережі. Попереджувальні плакати наголошують на небезпеці доторкання до струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

До електрозахисних засобів відносять ізолюючі предмети, які знижують ризик ураження, і запобіжні засоби, такі як страхувальні канати та ізолювальні драбини.

Для захисту від раптового виникнення напруги на металевих частинах електроустановки застосовують захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів та захисне вимкнення. Захисне заземлення передбачає спеціальне з'єднання з землею металевих частин обладнання, які не проводять струм, для зниження напруги дотику. Занулення використовується в трифазних

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		82

чотиридротових мережах для усунення небезпеки ураження струмом при дотику до металевих частин, що можуть опинитися під напругою. Вирівнювання потенціалів полягає в збільшенні потенціалу опорної поверхні до рівня потенціалу струмоведучої частини. Захисне вимкнення передбачає автоматичне вимкнення електроустановки у випадку небезпеки ураження струмом.

Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом

Перша допомога при ураженні електричним струмом включає два основних етапи: звільнення потерпілого від дії електричного струму та надання першої долікарської допомоги.

Найбезпечнішим способом звільнення потерпілого від дії електричного струму є вимкнення електроустановки за допомогою рубильника, вимикача тощо. Якщо це неможливо, слід використовувати суху палицю, дошку чи інший не провідник для відокремлення потерпілого від струмовідних частин. При цьому важливо стати на не провідний підстилку, щоб уникнути контакту зі землею. Перерубання проводів можна виконати сокирою з дерев'яною рукояткою або ізольованим інструментом, забезпечивши переріз проводів пофазно.

Звільнення потерпілого від дії електричного струму можна провести, відтягуючи його за одяг, уникаючи доторкання до металевих предметів та відкритих частин тіла. Якщо струм проходить через потерпілого до землі, ефективним заходом є відокремлення його від землі за допомогою сухої дошки або відтягування ніг від землі.

При роботі зі струмом понад 1000 В важливо використовувати діелектричні рукавички, ізолюючу штангу, кліщі та боти.

Якщо потерпілий свідомий, його слід покласти, забезпечити приплив свіжого повітря, розстебнути одяг та дати гарячий напій.

Якщо потерпілий непритомний, але має пульс та дихання, можна використовувати нашатирний спирт чи холодну воду для його оживлення.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		83

У випадку відсутності ознак життя та клінічної смерті слід розпочати серцево-легеневу реанімацію, здійснюючи штучне дихання та непрямий масаж серця. Ефективність реанімаційних заходів може бути визначена звуженням зіниць, розовішення шкіри та наявністю пульсу на сонній артерії під час масажних поштовхів та ознаками поверхневого дихання.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		84

Висновки

В ході виконання магістерської роботи "Розроблення високообертового насосного агрегата ЗНА 63-150 для підйому води із свердловин у міських системах водопостачання" було проведено:

- Аналіз інформації та спеціальної літератури
- Експлуатаційні розрахунки
- Розробка графічних матеріалів
- Розрахунок параметрів течії за допомогою програмного забезпечення

ANSYS.

Аналіз інформації та спеціальної літератури дозволив врахувати всі важливі аспекти проекту, а чисельне дослідження течії у проточній частині насоса дало можливість оптимізувати його конструкцію для досягнення оптимальних характеристик подачі та напору. Розроблена розрахункова модель та аналіз результатів чисельного дослідження свідчать про високий рівень роботи насосного агрегата ЗНА 63-150 при встановлених параметрах.

Експлуатаційні розрахунки, включаючи розрахунок валу на кручення, розрахунок на зріз та зминання шпонок та розрахунок на міцність стяжних деталей підтверджують не лише працездатність, а й високу надійність насоса в умовах міських систем водопостачання. Вибір муфти крутного моменту та електродвигуна відповідає вимогам функціональності та забезпечує ефективну роботу агрегата.

Представлені графічні матеріали, зокрема монтажне, складальні, теоретичне та робоче креслення, визначають структуру та деталі насосного агрегата, що є необхідним елементом для реалізації проекту. Вони відображають відповідність розробленої конструкції вихідним параметрам та технічним вимогам.

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		85

13. В. Я. Стороженко, В. І. Барвін, В. І. Шабрацький К вопросу механического расчета полых валов самовсасывающих мешалок / Вісник СумДУ. Серія “Технічні науки”, №2. – Суми : Вид-во СумДУ. – 2012.- стор.96-100.

14. ISO 13709:2009 Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries. Available online: <https://www.iso.org/standard/41612.html> (Accessed on 20 September 2023).

15. Гриньова В.М., Організація виробництва: Підручник / В.М. Гриньова, М.М. Салун. – К.: Знання, 2009. – 582 с. ISBN: 978-966-346-508-1.

16. https://zp.edu.ua/sites/default/files/konf/tema_6_oop_skuybidaproyekt.pdf

17. <https://westudents.com.ua/glavy/3523-343-chinniki-scho-vplivayut-na-nasldki-urajennya-elektrichnim-strumom.html>

					ЗНА.00.01.00.00 ПЗ	Арк.
						87
Змін.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		