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 магістр

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»,

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

на тему: **Розробка відцентрового насоса на параметри Q=375 м3/год, H=135 м**

Здобувача групи ГМм-21 Клеймьонов Георгій Олегович

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

_____ Клеймьонов Георгій Олегович

Керівник

доцент каф. ПГМ,

канд. техн. наук, доцент Олександр Ратушний _____

Суми – 2023

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

Спеціальність131–«Прикладна механіка»

Освітня програма «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Прикладної гідроаеромеханіки

_____Сотник М.І.

“___”_____2023 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної роботи магістра

студент

Клеймьонов Георгій Олегович

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка відцентрового насоса на параметри Q=375 м^3/год, H=135 м»

затверджена наказом по університету від___"____"_____20 _ р. №_____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи – 16.12.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту:

подача насоса Q = 375 м^3/год, напір H = 135 м, частота обертів n = 1450 об/хв., перекачувана рідина – чиста холодна вода.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які належить виконати):

вибір та обґрунтування оптимальної конструктивної схеми насоса, розрахунки з проектування робочого колеса та відвідного апарата, розрахунки гідродинамічних сил в насосі, розрахунки ущільнень, розрахунки на міцність, розрахунки з вибору підшипників, розрахунки з вибору електродвигуна.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

робоче креслення робочого колеса, теоретичне креслення робочого колеса, складальне креслення насоса, креслення ротора, креслення направляючого апарата, креслення насосного агрегата.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Найменування етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика консольних насосів	до 21.10.2023	
2	Вибір конструктивної схеми насоса		
3	Опис конструкції вибраного насоса		
4	Гідравлічні розрахунки		
5	Теоретичне креслення робочого колеса		
6	Виконання розділу «Охорона праці»		Керівник
7	Виконання економічного розділу		Керівник
8	Оформлення звіту з практики		
9	Розрахунки з вибору електродвигуна	до 25.10.2023	
10	Розрахунок кінцевого ущільнення		
11	Розрахунки на міцність		
12	Розрахунки з вибору підшипників		
13	Креслення робочого колеса	до 30.10.2023	
15	Складальне креслення насоса	до 15.11.2023	Керівник
17	Оформлення РПЗ та графічних матеріалів	до 09.12.2023	
18	Представлення роботи керівнику. Внесення поправок.	до 10.12.2023	
19	Перевірка роботи на плагіат.	до 15.12.2023	
20	Час для попереднього захисту. Підготовка доповіді до захисту.	до 15.12.2023	
21	Розміщення роботи в репозитарій. Отримання рецензії.	до 20.12.2023	
22	Захист роботи в ЕК (згідно графіка захисту).	з 25.12.2023 до 28.12.2023	До захисту робота допускається після перевірки на плагіат

Дата видачі завдання - 10.10.2023 р.

Студент _____ Клеймьонов Г.О.

(підпис)

Керівник _____ Ратушний О.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

Анотація

Пояснювальна записка: 78с., 9 рисунків, 6 таблиць, 23 літературних джерела.

Тема дипломного проекту «Розробка відцентрового насоса»

Графічні матеріали: 2 аркушів формату А1, 2 аркуші – А2, 13 аркушів – А4:

Мета проекту – розробка Розробка відцентрового насоса для перкачування чистої холодної води на параметри Q=375 м^3/год, Н=135 м

Відповідно до поставленої мети було:

- обґрунтовано вибір конструктивної схеми насоса;
- виконано опис конструкції;
- виконано гідравлічні розрахунки (розрахунок відцентрового колеса, розрахунок напрямного апарату);
- виконано розрахунки на міцність: валу, шпонкових з'єднань;
- вибрано електричний двигун.

У розділі з економіки розглянуто організацію маркетингової діяльності на підприємстві.

У розділі із охорони праці розглянуто захист людини від механічного травмування.

Ключові слова: НАСОС, КОНСТРУКЦІЯ, РОБОЧЕ КОЛЕСО, АПАРАТ НАПРАВЛЯЮЧИЙ, ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ, МІЦНІСТЬ, РЕШІТКА

Зміст

Вступ……5
1.Вибір та опис вибраної схеми……7
1.1.1 Призначення та область застосування……6
1.1.2 Пристрій та принцип роботи …….. ……..6
1.1.3 Опис конструкції насоса…… ……..7
2. Гідравлічний розрахунок……..9
2.1 Розрахунок та проектування відцентрового робочого колеса…….……9
2.2 Розрахунок напрямногоого апарату……...……37
3. Розрахунок на міцність……40
3.1 Розрахунок сили діючої на ротор насоса……40
3.2 Розрахунок вала на міцність……..43
3.3 Розрахунок шпонкового з єднання……46
3.4 Розрахунок довговічності підшипників……47
4. Розрахунок ущільнення……49
5. Вибір електродвигуна……...53
6.Охорона праці……..54
7. Технологія виробництва……70
Список літератури……79

Вступ

У поточний момент насосне обладнання фактично виконує значущу роль у житті кожної особи, хоча не всі розуміють це. Це справді так. Різноманітні насосні системи можуть бути використані для різних цілей - в опалювальних системах, кондиціонуванні повітря, заборі та підйомі води і так далі. Насосні системи знаходять застосування в різноманітних технологічних процесах. Все насосне обладнання, що пропонується сучасними виробниками, можна розділити на побутове і промислове. Сучасне насосне обладнання сертифікується відповідно до українських та міжнародних стандартів у цій сфері.

До завдань насособудування всіх країн завжди входило створення нових високоефективних насосів з покращеними характеристиками, низькою металоємністю, високою ступенем уніфікації та модернізацією наявних насосів і їх компонентів (робочих коліс, напрямних апаратів). Це вимагає подальшого розвитку дослідницьких, проектно-конструкторських і технологічних робіт у галузі насособудування.

Однією з особливостей сучасних моделей насосного обладнання є їхньою енергоефективністю, яка досягається за рахунок систем автоматики, що обладнують насоси. Ввімкання та вимикання насосного обладнання здійснюється автоматично в залежності від потреб системи. У промисловості можуть бути використані багатоступінчасті насоси відцентрового типу.

У зв'язку з історичним контекстом в Україні сконцентровані найбільші академічні, наукові та виробничі ресурси, які спеціалізуються на розробці та виробництві насосного та компресорного обладнання для теплової та атомної енергетики, нафтогазового комплексу, водопостачання та інших сфер.

1. Вибір та опис вибраної конструкції

1.1.1 Призначення та область застосування

У промислових системах, призначених для переміщення рідини, широко використовуються багатоступінчасті відцентрові насоси. Робочі колеса цих насосів монтується на одному загальному валу та розташовані в одному корпусі, розділеному на секції. Загальний тиск такого відцентрового насоса дорівнює сумі напорів, створених кожним робочим колесом.

Відцентрові горизонтальні багатоступінчасті насоси типу ЦНС призначені для перекачування чистої води з температурою не більше 1050 С і розміром твердих часток не більше 0,1 мм, при тому що частка механічних домішок не перевищує 0,1% від загальної маси рідини. Такі насоси можуть бути нормальними або високооборотними, і взаємодія між секціями забезпечується спеціальними прокладками.

Конструкція секційного корпусу дозволяє змінювати кількість секцій і, відповідно, робочих коліс. Багатоступінчасті відцентрові насоси ЦНС виготовляються з різним числом секцій (робочих коліс) від 2 до 15. Деякі модифікації мають два робочих колеса лівого та правого обертання. Ці насоси ЦНС часто використовуються в гірничорудній промисловості для відведення води з шахт і гірничорудних робіт.

Багатоступінчастий горизонтальний відцентровий насос ЦНС 375-135 призначений для перекачування холодної води з температурою 20° С та допустимим розміром механічних домішок не більше 0,2 мм. Ці насоси використовуються у водопровідних системах об'єктів цивільного та промислового призначення, для підвищення тиску в магістралях холодної води та закачування води в нафтоносні горизонти.

1.1.2. Устрій і принцип роботи.

Електронасосний агрегат складається з компонентів, таких як насос та електродвигун, з'єднані через сполучні муфти. Насос використовує відцентровий, горизонтальний, багатоступінчастий та секційний дизайн і оснащений робочими колесами однобічного входу. Розташування робочих коліс на валу фіксується за допомогою шпонки. Кожна секція обладнана направляючими апаратами.

Ротор насоса включає в себе вал, робочі колеса, втулки, диск розвантажувального механізму та торцеве ущільнення патронного типу. З'єднання між валом насоса та валом електродвигуна здійснюється за допомогою пружних муфт, які закриті кожухами.

Напрямок обертання ротора проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку двигуна. Цей електронасосний агрегат призначений для збільшення енергії рідини та працює на основі силової взаємодії лопатей робочого колеса з потоком рідини. Корисна потужність насосного агрегату витрачається на цей процес.

1.1.3. Опис конструкції насоса.

Насос складається з двох основних компонентів: корпусу та ротора. Ротор насоса представляє собою вал, на якому розміщені робочі колеса. Корпус колеса розділений на окремі секції, що дозволяє регулювати напір, встановлюючи необхідну кількість робочих коліс.

Основними деталями насоса є вхідна та напірна кришки і набір секцій, які вирівнюються між собою на циліндричних заточках і затягуються шпильками. Герметичність з'єднань секцій, вхідної та напірної кришок забезпечується металевим контактом прилеглих площ і встановленими ущільнювальними гумовими кільцями.

У секціях і напірній кришці розташовані направляючі апарати. В місцях ущільнення робочих коліс в кришці вхідній, секціях і напрямних апаратах встановлені змінні ущільнюючі кільця. Вхідний патрубок спрямований вбік, напірні патрубки насоса спрямовані вгору, з'єднання з трубопроводами – фланцеве.

Ротор насоса складається з вала, робочих коліс і диска розвантажувального механізму. При роботі насоса на робочі колеса діє осьове зусилля, спрямоване в бік всмоктування. Це осьове зусилля компенсується і урівноважується диском розвантажувального механізму, який відводить рідину з камери розвантажувального пристрою в напрямок вхідної кришки. Для контролю осьових переміщень ротора та зносу розвантажувального пристрою на задньому підшипнику передбачений покажчик осьового зсуву.

Радіальні зусилля, які діють на ротор, поглинаються підшипниками. Для центрування ротора відносно статора передбачені регулювальні гвинти, які дозволяють переміщати корпус підшипників разом з ротором. Після центрування ротора відносно статора корпуси підшипників фіксуються штифтами.

Кінцеві ущільнення вала насоса - торцеві, одинарні.

Привід насоса - електродвигун. Насос з'єднується із приводним електродвигуном за допомогою пружних муфт.

Матеріали основних деталей насоса зазначені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Матеріали основних деталей насоса.

Найменування деталі	Матеріал
Секція	Сталь 20Х13Л ГОСТ 977-88
Направляючий апарат	Сталь 12Х18НМ3ТЛ ГОСТ 977-88
Вал	Сталь 30Х13 ГОСТ 5632-72
Робоче колесо	Сталь 20Х13Л ГОСТ 977-88

2.Гідравлічний розрахунок

2.1 Розрахунок та проектування відцентрового робочого колеса

Розрахунок виконуємо згідно з рекомендаціями [10]

1. Визначення основних геометричних параметрів.

Меридіанний переріз робочого колеса (р. к.) з основними геометричними параметрами наведено на рис 2.1.

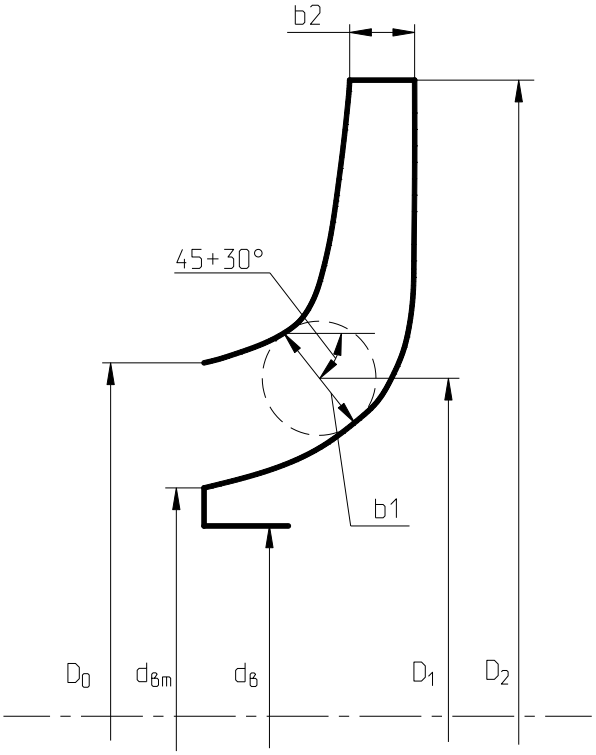

Рисунок 2.1. Меридіанний переріз

2. Вихідні дані для розрахунку.

Тип Р.К.: однопотокове ($\alpha = 1$).

Густина перекачуваної рідини $\rho = 1000$ кг/м3.

Подача $Q = 375$ м3 / ч.

Напір $H = 135/3=45$ м.

Частота обертання $n = 1450$ об / хв.

Коефіцієнт швидкохідності:

$$n_s = \frac{3{,}65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{i}\right)^{0,75}}, \qquad (2.1)$$

$$n_s = \frac{3{,}65 \cdot 1450 \cdot \sqrt{375}}{60 \cdot (45)^{0,75}} = 98$$

Приведений діаметр р.к., визначаємо за формулою Суханова:

$$D_{1пр} = K_{вх} \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}, \qquad (2.2)$$

де $K_{вх}$=3,5 ÷ 5,0 – коефіцієнт вхідної воронки р.к. Приймаємо $K_{вх}$=4,5.

$$D_{1пр} = 4{,}5 \cdot \sqrt[3]{\frac{375}{3600 \cdot 1450}} = 0{,}187 м$$

Повний ККД насоса:

$$\eta = \eta_o \cdot \eta_г \cdot \eta_{мех'} \cdot \eta_{мех}, \qquad (2.3)$$

де η_o – об'ємний ККД насоса;

$\eta_г$ – гидравлічний ККД;

$\eta_{мех'}$ – внутрішній механічний ККД;

$\eta_{мех}$ – зовнішній механічний ККД.

Об'ємний ККД:

$$\eta_o = \frac{1}{1+0{,}68\cdot n_s^{-2/3}}, \qquad (2.4)$$

$$\eta_o = \frac{1}{1+0{,}68\cdot 98^{-2/3}} = 0{,}969$$

Гідравлічний ККД:

$$\eta_г = 1 - \frac{0{,}42}{\left(\lg D_{1пр} - 0{,}172\right)^2}, \qquad (2.5)$$

де $D_{1пр}$ – приведений діаметр р.к., мм.

$$\eta_г = 1 - \frac{0{,}42}{\left(\lg 187 - 0{,}172\right)^2} = 0{,}905$$

Внутрішній механічни ККД:

$$\eta_{мех'} = \frac{1}{1+820\cdot n_s^{-2}} \qquad (2.6)$$

$$\eta_{мех'} = \frac{1}{1+820\cdot 98^{-2}} = 0{,}921$$

Зовнішнім механічним ККД задаємся: $\eta_{мех}$=0,98.

$$\eta = 0{,}969\cdot 0{,}905\cdot 0{,}98\cdot 0{,}921 = 0{,}791.$$

Потужність, споживана насосом:

$$N = \frac{\rho_{\max} \cdot g \cdot Q_н \cdot H_н}{\eta}; \qquad (2.7)$$

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 375 \cdot 135}{3600 \cdot 0,791} = 174403 \ Вт$$

Подача р.к.

$$Q_{рк} = \frac{Q}{\eta_о} \qquad (2.8)$$

$$Q_{рк} = \frac{375}{3600 \cdot 0,969} = 0,107 \quad м^3 / с$$

Теоретичний напір р.к.

$$H_T = \frac{H}{\eta_г}, \qquad (2.9)$$

$$H_T = \frac{45}{0,905} = 49.723 \quad м$$

$$d_в = \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi \cdot [\tau]}}, \qquad (2.10)$$

де M - крутний момент на валу насоса, Н·м;

$[\tau]$ – знижене допустиме напруження на кручення, Н/м^2.

3. Визначення діаметру вала і втулки р.к.

Крутний момент:

$$M = \frac{30N_{\max}}{\pi \cdot n}, \qquad (2.11)$$

де N_{max} - максимальна потужність, Вт. N_{max} =1,1×N=1,1×174.4=191.84 кВт.

$$M = \frac{30 \cdot 194.84 \cdot 10^3}{3{,}14 \cdot 1450} = 1284 \quad Н \cdot м$$

Знижене допустиме напруження приймаємо [τ]=80·10^5 Н/$м^2$

$$d_в = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1284}{3{,}14 \cdot 80 \cdot 10^5}} = 0{,}093 \quad м$$

Виходячи з конструктивних особливостей і особливостей складання насоса враховуючи розрахунки вала на критичну частоту обертання, приймаємо за ДСТУ 6636 - $d_в$ =0,100 (м).

Діаметр втулки, орієнтовно вибирають:

$$d_{вт} = (1.2 \div 1.25) d_в \qquad (2.12)$$

$$d_{вт} = 1{,}25 \cdot 0{,}1 = 0{,}125 \quad м$$

Приймаємо $d_{вт} = 0{,}125 \quad м$

4. Визначення геометричних параметрів входу в р.к. діаметр вхідної воронки р.к. визначаємо з виразу:

$$D_{1пр} = \sqrt{D_0^2 - d_{вт}^2} \qquad (2.13)$$

$$D_0 = \sqrt{D_{1пр}^2 + d_{вт}^2} \qquad (2.14)$$

$$D_0 = \sqrt{0{,}187^2 + 0{,}125^2} = 0{,}225 \quad м$$

швидкість потоку на вході в р.к.

$$\upsilon_0 = \frac{4Q_{рк}}{\pi \cdot D_{1пр}^2}, \qquad (2.15)$$

де $Q_{рк}$ – подача р.к., $м^3/с$.

$$\upsilon_0 = \frac{4 \cdot 0{,}107}{3{,}14 \cdot 0{,}187^2} = 3{,}89 \quad м/с$$

Задаємося положенням вхідної кромки лопаті насоса:

$$D_1 = 0{,}9 \cdot D_0 \qquad (2.16)$$

$$D_1 = 0{,}9 \cdot 0{,}225 = 0{,}202 \quad м$$

У першому наближенні меридіан складову швидкості $\upsilon_{1m}^{'}$ без урахування стіснення потоку лопатями приймаються рівною υ_0. При вході потоку на лопаті меридіана складова абсолютної швидкості зростає і визначається з виразу:

$$\upsilon_{1m} = \psi_1 \cdot \upsilon_{1m}^{'}, \qquad (2.17)$$

де ψ_1 = 1,15..1,3 – коефіцієнт стиснення потоку на вході.

Приймаємо $\psi_1 = 1{,}15$.

$$\upsilon_{1m} = 1{,}15 \cdot 3{,}89 = 4{,}47 \quad м/с$$

Кут потоку на вході в лопаті розраховуємо з трикутника швидкостей:

$$\beta_{1n} = arctg \frac{\upsilon_{1m}}{U_1 - \upsilon_{u1}}, \tag{2.18}$$

де U_1 - переносна швидкість на вході в р.к., м/с;

υ_{1u} - окружна складова абсолютної швидкості на вході, м/с.

Окружна швидкість на вході в р.к.:

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \tag{2.19}$$

$$U_1 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}202 \cdot 1450}{60} = 15{,}33 \quad м/с$$

Окружна складова абсолютної швидкості на вході

$$\upsilon_{1u} = \frac{0{,}12 \cdot \sqrt[3]{Q_{рк}^2 \cdot n}}{D_1} \tag{2.20}$$

$\upsilon_{1u} = 0$

$$\beta_{1n} = arctg \frac{4{,}47}{15{,}33} = 16{,}22^\circ$$

Кут нахилу лопаті на вході в р.к.:

$$\beta_1 = \beta_{1n} + \Delta\beta$$

де Δβ = 3..8° - кут атаки.

Кут атаки вводиться з метою зменшення гідравлічних витрат в області р. к. і поліпшення його кавітаційних якостей, приймаємо Δβ=5º.

$$\beta_1 = 16{,}22º+5º=21º22´.$$

5. Визначення числа лопатей та їх товщини.

Більшість відцентрових насосів різних розмірів, які випускаються і володіють високими техніко-економічними показниками, обладнані роторами з визначеною кількістю лопатей z = 5..8.

Товщину лопаті р.к. вибирають з технологічних міркувань (залежно від матеріалу р.к., його розмірів та технологічних ливарних можливостей підприємства). Орієнтовно можна прийняти товщину лопаті на вході в р.к. S_1 = 2..10 мм при D_2 = 150 - 500 мм. Товщина лопатки на виході з р.к. S_2 часто приймають рівному S_1, а до середини лопатка плавно потовщується.

Виходячи з вищевказаного приймаємо товщину лопаті $S1=S_2$= 6 мм, а число лопатей z = 8.

2.1.5. Уточнення коефіцієнта стиснення потоку.

Значення коефіцієнта стиснення потоку уточнюють за формулою:

$$\psi_1' = \frac{t_1}{t_1 - S_1/\sin\beta_1}, \qquad (2.21)$$

де $t_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{z}$ - шаг лопатей на вході в РК.

$$t_1 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}202}{8} = 0{,}08 \quad мм$$

$$\psi_1^{'} = \frac{0,08}{0,08 - \frac{0,006}{\sin 21,22^{\circ}}} = 1,26$$

Повинна виконуватися умова $\left|\psi_1^{'} - \psi_1\right| \le 0,01 \cdot$

$$|1,26 - 1,15| = 0,11 > 0,01.$$

Так як умова не виконується, то робимо друге наближення, задаємося $\psi_1^{''} = \psi_1^{'} = 1,26$, тоді:

$$\upsilon_{1m} = 1,26 \cdot 3,89 = 4,9 \quad м/с$$

$$\beta_{1n} = arctg \frac{4,9}{15,33} = 17,69^{\circ}$$

$$\beta_1 = 17,69^{\circ} + 5^{\circ} = 22,69^{\circ}$$

$$\psi_1^{''} = \frac{0,08}{0,08 - \frac{0,006}{\sin 22,69^{\circ}}} = 1,251$$

|1,251 - 1,26| = 0,009 < 0,01. Умова виконується.

З рівняння нерозривності знаходимо ширину р.к. на вході:

$$b_1 = \frac{Q_{рк}}{\pi \cdot D_1 \cdot \upsilon_{1m}} \qquad (2.22)$$

$$b_1 = \frac{0,107}{3,14 \cdot 0,202 \cdot 4,9} = 0,034 \quad м.$$

6. Визначення геометричних параметрів виходу з р.к.

Попереднє значення зовнішнього діаметра р.к. (при нескінченному числі лопатей z) може бути визначено спрощено з основного рівняння роботи лопатевих насосів Эйлера для $\upsilon_{1u} = 0$ та $\upsilon_{2u} = 0,5 \cdot U_2$:

$$D_2^{'} = 19,68 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_{рк}}}{n}, \ (n_s > 100), \qquad (2.23)$$

де $H_{рк}$ – напір р.к.

$$H_{рк} = \frac{H}{i} \qquad (2.24)$$

$$D_2^{'} = 19,68 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 45}}{1450} = 0,403 м$$

Меридіанна швидкість без урахування стиснення на виході з р.к.:

$$\upsilon_{2m}^{'} = (0,5 \div 1,0)\upsilon_{1m}^{'} \qquad (2.25)$$

$$\upsilon_{2m}^{'} = 0,52 \cdot 4,9 = 2,54 м/с$$

Кут на виході з р.к. β_2 визначають з трикутника швидкостей залежно від прийнятого значення $\upsilon_{2m}^{'}$ так, щоб отримати бажане відношення $\frac{W_1}{W_{2\infty}}$.

З трикутника швидкостей:

$$W_{2\infty} = \frac{\upsilon_{2m}}{\sin\beta_2} = \frac{\psi_2 \cdot \upsilon'_{2m}}{\sin\beta_2}, \qquad (2.26)$$

де ψ_2 - коефіцієнт стиснення перерізу потоку лопатями на виході з р.к., ψ_2 = 1,05÷1,1. Приймаємо ψ_2 = 1,1.

Меридіана швидкість на виході з р.к.:

$$\upsilon_{2m} = \psi_2 \cdot \upsilon'_{2m} \qquad (2.27)$$

$$\upsilon_{2m} = 1{,}1 \cdot 2{,}54 = 2{,}8 \quad м/с$$

Відносна швидкість на вході в р.к. з трикутника швидкостей:

$$W_1 = \frac{\upsilon_{1m}}{\sin\beta_1} = \frac{\psi \cdot \upsilon'_{1m}}{\sin\beta_1} \qquad (2.28)$$

Відношення $\frac{W_1}{W_{2\infty}}$ залежить від n_s і визначається з виразу:

$$\frac{W_1}{W_{2\infty}} = 3{,}7 - 0{,}054 \cdot n_s + 4{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot n_s^2 - 0{,}98 \cdot 10^{-6} \cdot n_s^3 \qquad (2.29)$$

$$\frac{W_1}{W_{2\infty}} = 3{,}7 - 0{,}054 \cdot 98 + 4 \cdot 10^{-4} \cdot 98^2 - 0{,}98 \cdot 10^{-6} \cdot 98^3 = 1{,}32$$

З рівняння для $W_{2\infty}$ після перетворення отримують наступний вираз для визначення кута β_2:

$$\beta_2 = \arcsin\left(\frac{W_1}{W_{2\infty}} \cdot \frac{\psi_2}{\psi_1} \cdot \frac{\upsilon'_{2m}}{\upsilon'_{1m}} \cdot \sin\beta_1\right) \qquad (2.30)$$

$$\beta_2 = \arcsin\left(1,32 \cdot \frac{1,1}{1,26} \cdot \frac{2,8}{4,9} \cdot \sin 22,69^\circ\right) = 14,25^\circ$$

7. Уточнення зовнішнього діаметра р.к. з урахуванням кінцевого числа лопатей. Колова швидкість на виході з р.к.:

$$U_2 = \frac{\upsilon_{2m}}{2tg\beta_2} + \sqrt{\frac{\upsilon_{2m}^2}{(2tg\beta_2)^2} + g \cdot H_{T\infty} + \upsilon_{1u} \cdot U_1}, \qquad (2.31)$$

де $H_{T\infty}$ - теоретичний напір насоса з урахуванням кінцевого числа лопатей.

$$H_{T\infty} = \frac{H_{рк}}{\eta_г \cdot K_z}, \qquad (2.32)$$

де - поправка на кінцеве число лопатей K_z.

Поправку на кінцеве число лопатей K_z будемо визначати за формулою Пфлейдерера:

$$K_z = \frac{1}{1+p} \qquad (2.33)$$

де $$p = 2 \cdot \frac{\psi}{z} \cdot \frac{1}{1-(D_1/D_2)^2} \qquad (2.34)$$

Коефіцієнт ψ визначається в залежності від n_s, при n_s < 150:

$$\psi = (0,55 \div 0,65) + 0,6\sin\beta_2 \qquad (2.35)$$

$$\psi = (0,55 \div 0,65) + 0,6\sin 14,25^\circ = 0,697 \div 0,797$$

Приймаємо $\psi = 0{,}789$.

$$p = 2 \cdot \frac{0{,}789}{8} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0{,}202}{0{,}403}\right)^2} = 0{,}263$$

$$K_z = \frac{1}{1 + 0{,}263} = 0{,}791$$

$$H_{T\infty} = \frac{45}{0{,}905 \cdot 0{,}791} = 62{,}86 м$$

$$U_2 = \frac{2{,}8}{2tg14{,}25^\circ} + \sqrt{\frac{2{,}8^2}{\left(2tg14{,}25^\circ\right)^2} + 9{,}81 \cdot 62{,}86 + 4{,}9 \cdot 15{,}33} = 32{,}02 \quad м/с$$

$$D_2 = \frac{60U_2}{\pi \cdot n} \tag{2.36}$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 32{,}02}{3{,}14 \cdot 1450} = 0{,}421 \quad м$$

8. Уточнення коефіцієнта стиснення потоку ψ_2 .Коефіцієнт стиснення потоку на виході з р.к. уточнюють за формулою:

$$\psi_2' = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot S_2}{\pi \cdot D_2 \sin \beta_2}} \tag{2.37}$$

$$\psi_2^{'} = \frac{1}{1 - \frac{8 \cdot 0,006}{3,14 \cdot 0,421 \cdot \sin 14,25^{\circ}}} = 1,11$$

Повинна виконуватися умова $\left|\psi_2^{'} - \psi_2\right| \le 0,01$.

$|1,11 - 1,1| = 0,01 = 0,01$. Умова виконується.

9. Визначення ширини р.к. на виході. Ширину р.к. на виході визначаємо з рівняння нерозривності:

$$b_2 = \frac{Q_{рк}}{\pi \cdot D_2 \cdot \upsilon_{2m}} \qquad (2.38)$$

$$b_2 = \frac{0,107}{3,14 \cdot 0,421 \cdot 2,8} = 0,028 м.$$

10. Проектування меридіанного перерізу робочого колеса.

Обриси меридіанного перетину р.к. зазвичай вибирають з урахуванням наступних вимог:

- контури меридіанного перерізу повинні бути плавними;
- нахил стінок на виході $\gamma_1 = \gamma_2 = 0 \div 5^{\circ}$. Можливі випадки $\gamma_1 \neq \gamma_2$, тоді $\gamma_1 > 5^{\circ}$, а $\gamma_2 = 0$;
- під час вибору обрисів стінок слід уникати як надмірного збільшення осьового розміру р.к., так і його скорочення. У першому випадку вийде нераціональне збільшення довжини, а отже й маси р.к., а в іншому внаслідок малого радіусу $R_п$ виникає небезпека відриву потоку від передньої стінки. Зазвичай беруть $l_1 = 0$; або $l_1 = 0,05 D_0$;

- площа нормального перерізу міждискового простору р.к. повинна плавно зростати від входу до виходу.

11. Методика побудови меридіанного перерізу.

Для отримання меридіанного перетину, який відповідає визначеним вимогам, використовується метод послідовних наближень. Процедура виглядає наступним чином:

- Початково визначають наближені контури крайніх ліній струму, користуючись орієнтиром на існуючі робочі колеса схожих насосів (рис. 2.1).
- Задають середню лінію каналу, представлену геометричним місцем центрів вписаних коліс (рис. 2.2), зазвичай відзначеною тонкими лініями і включаючи 8-10 вписаних коліс.
- У зоні повороту потоку в колах планують більш щільність. Центри вписаних коліс нумеруються 1, 2, 3...
- Обчислюють площі нормальних перерізів за відповідними формулами.

- :

$$F_{вх} = \frac{\pi}{4}(D_0^2 - d_{вт}^2), \qquad (2.39)$$

де $F_{вх}$ - площа початкового нормального перерізу (на вході в р.к.), м^2.

$$F_{вх} = \frac{3{,}14}{4}(225^2 - 125^2) = 27488 мм^2$$

$$F_{вых} = \pi \cdot D_2 \cdot b_2, \qquad (2.40)$$

де $F_{вых}$ - площа кінцевого нормального перерізу (на виході із р.к.), м^2.

$$F_{вых} = 3{,}14 \cdot 421 \cdot 34 = 80814 мм^2$$

$$F_i = 2\pi \cdot r_i \cdot b_i, \qquad (2.41)$$

де F_i - площа проміжного нормального перерізу, м^2;

r_i - відстань від осі р.к. до центру вписаною кола, м;

b_i - діаметр вписаного кола, м.

Результати розрахунків зводимо в таблицю.

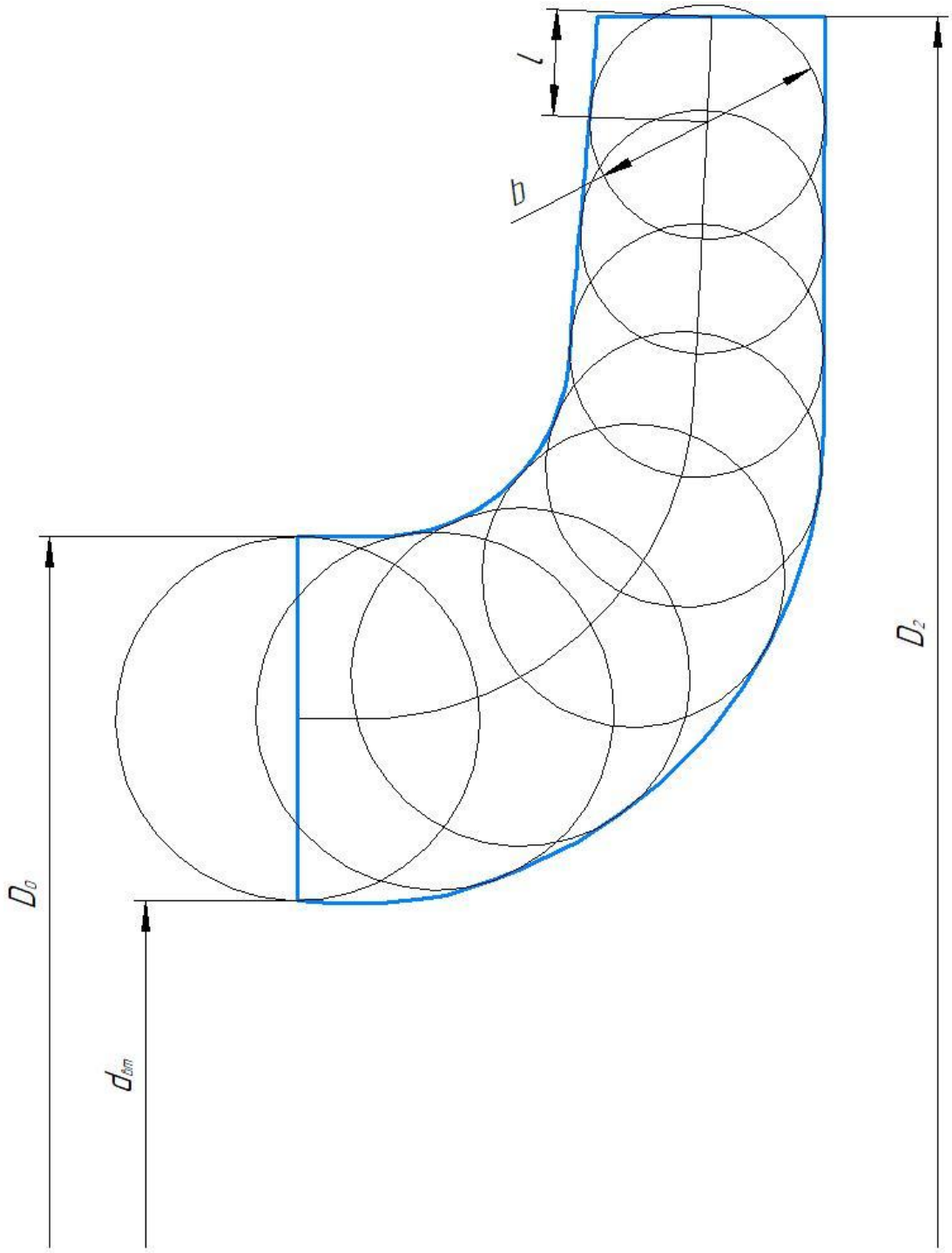

Рис. 2.2 – Меридіаний переріз

Таблиця 2.1 – Визначення площ меридіанного перерізу р.к.

№ точки	r, мм	l, мм	b, мм	F, м^2
1	111,25	22,28	62,5	43666
2	150,85	44,57	62	45777
3	171,02	66,86	61,5	51125
4	189,13	89,14	61	58670
5	211,58	111,43	60,5	65317
6	223,81	133,71	60	70938
7	230	156,1	59	80773

За даними таблиці 2.1 будуємо графік зміни площ меридіанного перетину р.к. (рис. 2.3).

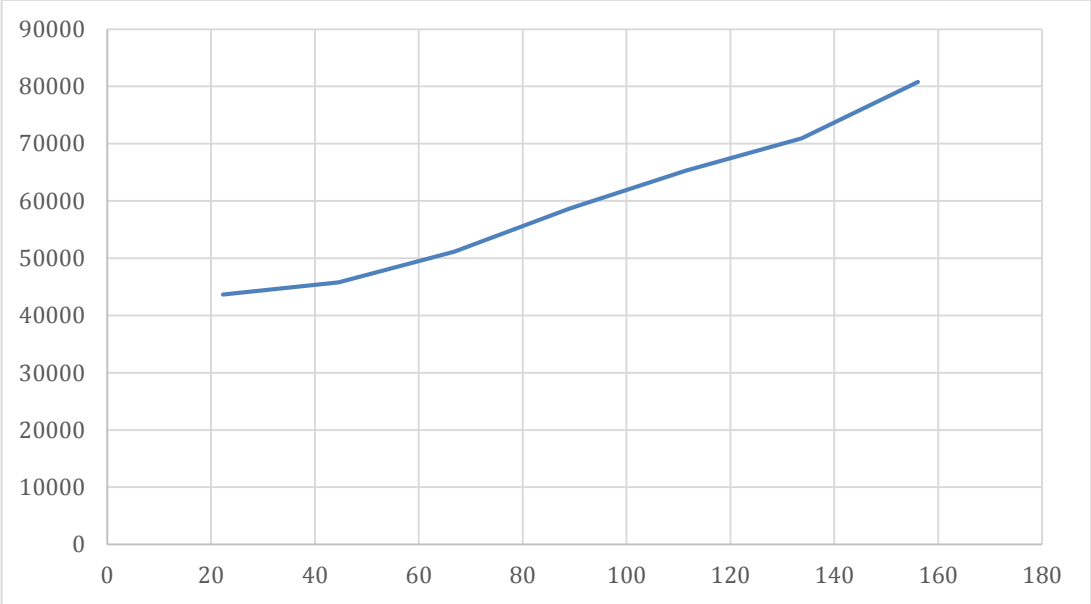

Рис. 2.3 – Графік зміни площ меридіанного перерізу р.к.

12. Профілювання робочого колеса. Побудова конформної діаграми. Підготовка меридіанного перерізу р. к. до профілювання лопаті.

Під час проектування робочого колеса одержала розповсюдження схема рівношвидкісного потоку, в якій меридіанна швидкість V_m вважається сталим вздовж нормалі. Практика підтверджує, що розрахунок робочого колеса при V_m = const вздовж нормалі досить ефективно забезпечує встановлені параметри. Розрахункові лінії струму повинні бути проведені так, щоб вони ділили меридіанний переріз робочого колеса на сегменти, по яких витрата рідини є однаковою. Кількість таких сегментів залежить від параметра від n_s. При n_s < 150: k=2; n=3, де *k* - кількість потоків; *n* - кількість ліній тока. Розмітка ліній струму наведена на малюнку 2.4.

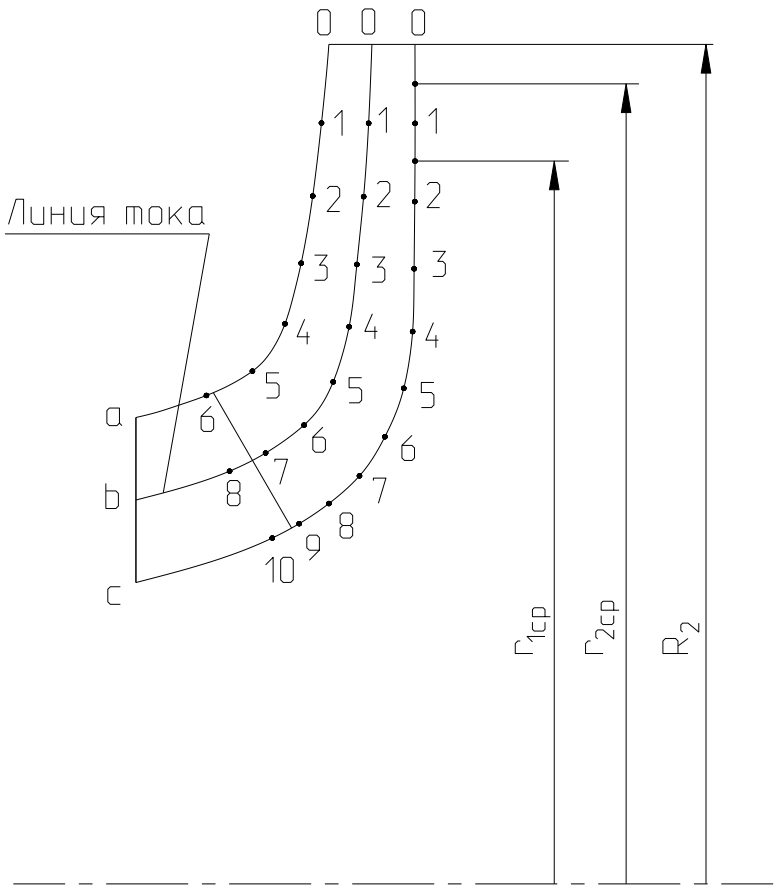

Рис. 2.4 – Розбивка ліній течії

13. Профілювання лопаті

Найбільш використовуваний метод профілювання лопатей - це метод конформного відображення поверхні струму на розгортці поверхні обертання (циліндра). Процес профілювання лопаті виконується у такій послідовності:

- Будується конформна сітка на розгортці циліндра, а також конформне відображення координатної сітки на поверхню струму.
- Проводиться профілювання поверхонь лопаті на розгортці циліндра.
- Будується меридіанний перетин поверхні лопаті на меридіанній поверхні робочого колеса і лопаті в плані.

Сітка на розгортці відображає циліндр і формується системою вертикальних і горизонтальних ліній (меридіанів та паралелей), які проведені з певними відстанями між ними ΔS і ΔL.

$$\Delta L = \frac{R_{кц}}{c}, \qquad (2.42)$$

де $R_{кц}$ – радіус конфорного циліндра. Приймаємо

$R_{кц}$ =200 мм;

с – константа. Приймаємо с = 20.

$$\Delta L = \frac{200}{20} = 10 \quad (мм)$$

$$\Delta S = \frac{\pi \cdot R_{кц}}{180} \cdot \Delta\varphi, \qquad (2.43)$$

де β - кут між меридіан перетином відображає циліндр

(β=5÷10º), приймаємо β=10º.

$$\Delta S = \frac{3{,}14 \cdot 200 \cdot 10}{180} = 34{,}89 \quad (мм)$$

Довжина координатної сітки у горизонтальному напрямку визначається кутом обхвату Θ. Для низьких n_s Θ=110÷80º. Приймаємо Θ=100º. Маємо всі дані для побудови координатної сітки.

Будуємо конформне відображення на поверхні струму:

a – покривний диск;

b – середньорозхідна лінія тока;

c – основний диск на відрізку ΔL по умові конформності:

$$\frac{r_{cpi}}{\Delta l} = \frac{R_{кц}}{\Delta L} = 20 = \text{const} \qquad (2.44)$$

де r_{cpi} - відстань від осі колеса до середини відрізка l (див. рис.2.4).

Поверхню лопаті на розгортці циліндра профілюють із урахуванням наступних основних рекомендацій:

- кут нахилу лопасті □ на кожній розрахунковій лінії струму повинен плавно збільшуватися або зменшуватися від кута □$_1$ до □$_2$;
- ділянка поверхні лопаті поблизу виходу з р. к. повинна мати постійний кут обхвату □ з кожної розрахункової лінії струму по довжині, визначеної на розгортці циліндра величиною □ ≥ 0,5·t, где t - лінійний крок лопатей на розгортці циліндра, мм.

$$t = \frac{2\pi \cdot R_{кц}}{z} \qquad (2.45)$$

$$t = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 200}{8} = 157(мм)$$

- Кут обхват лопаті у плані має задовольняти умові:

$$\Theta \geq 0{,}5 \cdot t□, \qquad (2.46)$$

де t□=360/z; t□=360/8=45□.

$$80^{\circ} > 1{,}5 \cdot 45^{\circ} = 67{,}5^{\circ}.$$

- паралелі точок a, b, c для кожної лінії струму визначають у відповідності з розташуванням вхідних кромок в меридіанному перерізі. Перенесення точок вхідної кромки на конформну діаграму проводиться за допомогою властивості конформного відображення по залежності:

$$\frac{x_i}{\Delta L} = \frac{y_i}{\Delta l_i}, \qquad (2.47)$$

де x_i - відстань від поточної паралелі, де шукають точки вхідної кромки на конформній діаграмі;

y_i - відповідна відстань на лінії струму.

13. Вибір положення вхідної кромки і визначення кутів входу.

Меридіанна швидкість: $V_{1ma} = V_{1mb} = V_{1mc} = 4{,}85$ м/с.

Визначимо колову швидкість за формулою:

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_{вх} \cdot n}{60}, \qquad (2.49)$$

де $D_{вх}$ - діаметр кола ,на якому лежить ця точка входу, м.

$$D_{вхa} = 0{,}1425 \ \ м; \quad D_{вхb} = 0{,}127 \ \ м; \quad D_{вхc} = 0{,}08 \ \ м.$$

$$U_{1a} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}1425 \cdot 1450}{60} = 10{,}81 \ \ (м/с)$$

$$U_{1b} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}127 \cdot 1450}{60} = 9{,}63 \ \ (м/с)$$

$$U_{1c} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}08 \cdot 1450}{60} = 6{,}07 \ \ (м/с)$$

Визначаємо кут потоку на вході к р. к. без урахування стискування за формулою:

$$\beta_{1n}^{'} = arctg \frac{\upsilon_{1m}^{'}}{U_1}, \qquad (2.50)$$

$$\beta_{1na}^{'} = arctg \frac{4{,}9}{10{,}81} = 24{,}37°$$

$$\beta_{1nb}^{'} = arctg \frac{4{,}9}{9{,}63} = 26{,}93°$$

$$\beta_{1nc}^{'} = arctg \frac{4{,}9}{6{,}07} = 38{,}90°$$

Переносимо точки вхідної кромки на конформну діаграму (рис. 2.5).

Знаходимо коефіцієнт стиснення потоку лопатями:

$$\psi_1 = \frac{t_1 - \sigma_1}{t_1}, \qquad (2.51)$$

де t_1 - крок лопаті, м;

δ_1 - товщина лопаті уздовж кола $D_{вх}$, м.

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_{вх}}{z} \qquad (2.52)$$

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{\sin \varphi_{1л}}, \qquad (2.53)$$

де $\phi_{1л}$ - кут лопаті в площині, перпендикулярно до дотичної вхідної кромки в точці входу, визначається зі співвідношення:

$$tg\varphi_{1л} = tg\beta_1 \sin\lambda \qquad (2.54)$$

$$\varphi_{1л} = arctg(tg\beta_1 \sin\lambda) \qquad (2.55)$$

Знаходимо кут (з урахуванням стиснення потоку лопатями):

$$\beta_{1л} = arctg(tg\beta'_{1л} \cdot 1/\psi_1) \qquad (2.56)$$

Далі визначаємо кут атаки:

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_{1л} \qquad (2.57)$$

Виконуємо розрахунок для лінії течії а:

$$t_{1а} = \frac{3{,}14 \cdot 142{,}5}{8} = 55{,}95 \ \ (мм)$$

□a = 82º

$$\phi_{1ла} = arctg(tg\,24,37° \sin 82°) = 26,01°$$

$$\sigma_{1a} = \frac{3}{\sin 26,01°} = 6,84 \quad (мм)$$

$$\psi_{1a} = \frac{55,95 - 6,84}{55,95} = 0,877$$

$$\beta_{1па} = arctg(tg\,26,01° \cdot 1/0,877) = 29,5°$$

$$\beta_{1ла} = 29,5°;$$

Лінія течії b:

$$t_{1b} = \frac{3,14 \cdot 216}{8} = 84,823 \quad (мм)$$

□b = 86º

$$\phi_{1лb} = arctg(tg\,26,93° \sin 86°) = 26,83°$$

$$\sigma_{1b} = \frac{3}{\sin 26,83°} = 6,64 \quad (мм)$$

$$\psi_{1b} = \frac{84,82 - 6,64}{84,82} = 0,921$$

$$\beta_{1пb} = arctg(tg\,26,83° \cdot 1/0,921) = 28,76°$$

$$\beta_{1лb} = 28,76°;$$

Лінія течії с:

$$t_{1c} = \frac{3,14 \cdot 155}{8} = 60,8 \quad (мм)$$

$\square_c$=87º

$$\phi_{1лc} = arctg(tg38,90° \sin 87°) = 38,83°$$

$$\sigma_{1c} = \frac{3}{\sin 38,83°} = 4,78 \quad (мм)$$

$$\psi_{1c} = \frac{60,8 - 4,78}{60,8} = 0,92$$

$$\beta_{1пc} = arctg(tg38,83° \cdot 1/0,92) = 41,15°$$

$$\beta_{1лc} = 41,15°;$$

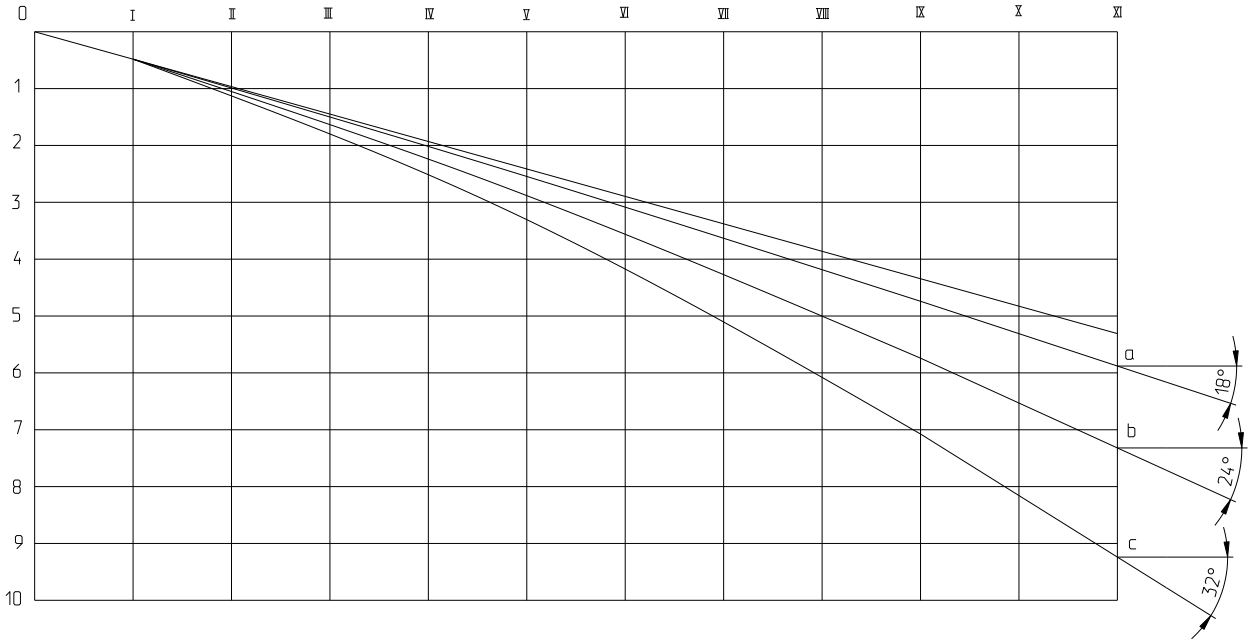

Рисунок 2.5 – Конформна діаграма

14. Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіаній проекції робочого колеса.

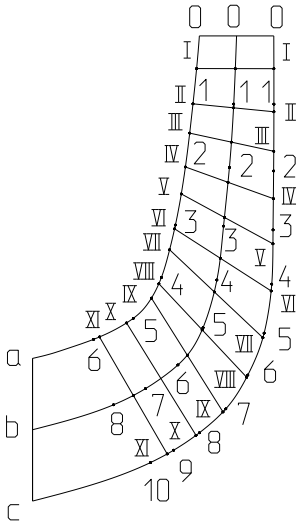

Рис. 2.6 – Меридіанний перерізу поверхні лопаті на меридіанній проекції робочого колеса

Меридіанним перерізом називають лінії перетину поверхні лопаті з площинами, які проходять через вісь робочого колеса. Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції виконується на основі конформної діаграми. Використання допоміжного графіка може викликати похибки; у даному випадку для перенесення відповідних точок з конформної діаграми на лінії струму меридіанного перетину використовується співвідношення (2.47). Проекцію лопаті на площину, перпендикулярну осі обертання робочого колеса, називають планом лопаті (рис. 2.7).

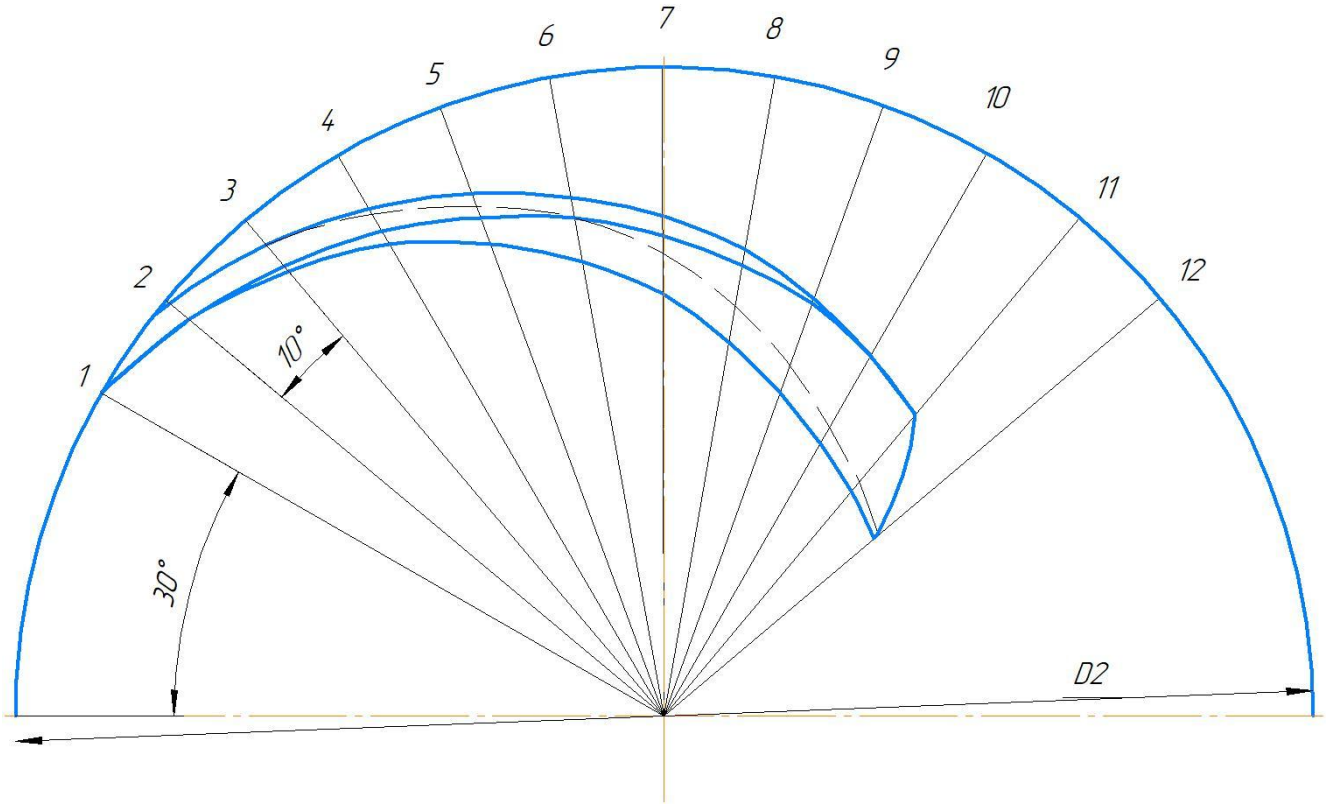

Рисунок 2.7 – Лопать у плані

2.2 Розрахунок напрямного апарату

1.Вихідні дані

Подача ступеня	Q=375 м^3/год;
Напір ступеня	H=45 м;
Зовнішній діаметр робочого колеса	D_2=0,421 м;
Ширина робочого колеса на виході	b_2=0,028 м;
Колова складова швидкості потоку на виході з робочого колеса	V_{u2}=9,54 м/с;
частота обертання робочого колеса	n=1450 об/хв.

Розрахунок виконуємо згідно з рекомендаціями [10]

Діаметр початкового кола:

$$D_3 = 1{,}06 \cdot D_2$$

$$D_3 = 1{,}06 \cdot 0.421 = 0{,}436 \text{ м.}$$

Ширина напрямного апарату в меридіанному перерізі:

$$b_3 = 1{,}1 \cdot b_2 + 1.5$$

$$b_3 = 1{,}1 \cdot 28 + 1.5 = 32{,}3 \text{мм.}$$

Вибираємо число лопатей напрямного апарату $z_{на}$ залежно від числа лопатей робочого колеса з умови відсутності неврівноваженої сили P і неврівноважених пульсацій тиску p_0.

При $z_{рк}$=7 неврівноважені сили пульсацій тиску відсутні при $z_{на}$=9 і $z_{на}$=12. з технологічних міркувань приймають меншу кількість лопатей $z_{на}$=9.

Визначаємо кут установки лопаті на вході:

Задаємося попередньо в першому наближенні товщиною лопатки на вході

δ=3мм, і кут на вході $\alpha_{зл}=5^0$.

Окружна швидкість на вході у н.а.:

$$V_{u3} = V_{u2}\frac{D_2}{D_3};$$

$$V_{u3} = 9,54\frac{0,421}{0,436} = 9,21 \text{ м};$$

Меридіанна швидкість:

$$V_{m3} = \frac{Q}{\pi \cdot D_3 \cdot b_3};$$

$$V_{m3} = \frac{375}{3600 \cdot \pi \cdot 0,436 \cdot 0,0323} = 2,35 \text{ м/с.}$$

Кут установки лопаті:

$$\alpha_{зл} = arctg\frac{V_{m3}}{\left(1-\frac{\delta \cdot z_{на}}{\sin\alpha_{зл} \cdot \pi \cdot D_3}\right)\cdot V_{u3}};$$

$$\alpha_{зл} = arctg\frac{2,35}{\left(1-\frac{0,003 \cdot 9}{\sin 5^0 \cdot \pi \cdot 0,462}\right)\cdot 9,21} = 12,62^0 \cdot$$

$$tg\alpha_{зл} = \mu \cdot tg\alpha_{зл};$$

$$tg\alpha_{зл} = 1,4 \cdot tg12,62 = 17,38^0 \cdot$$

Проектуємо спіральну ділянку:

$$R_3^{'} = R_3 e^{\frac{2\pi}{z_{ìà}} tg\alpha_{çë}};$$

$$R_3^{'} = \frac{0,436}{2} e^{\frac{2\pi}{9} tg12,62} = 0,254 \text{ м.}$$

Висота вхідного перерізу:

$$a_3 = \left(R_3^{'} - R_3\right)\cos\alpha_{3л} - \delta;$$

$$a_3 = \left(0,254 - 0,218\right)\cos 12,62 - 0,003 = 0,032 \text{ м.}$$

Визначаємо розміри дифузорного каналу:

Довжина дифузорного каналу:

$$l_{диф} = 4{,}9a_3;$$

$$l_{диф} = 4{,}9 \cdot 0{,}032 = 0{,}0156\,\text{м};$$

Площа входу дифузорного каналу:

$F_4 = 2.8 \cdot F_3$;

$F_4 = 2{,}8 \cdot 0{,}0156 \cdot 0{,}0436 = 0{,}018\,\text{м}^2$;

Еквівалентний кут розширення дифузора:

$$\psi_{экв} = 2arctg\frac{\sqrt{\frac{F_4}{\pi}} - \sqrt{\frac{F_3}{\pi}}}{l_{диф}};$$

$$\psi_{экв} = 2arctg\frac{\sqrt{\frac{0{,}0126}{\pi}} - \sqrt{\frac{0{,}00347}{\pi}}}{0{,}0897} = 8{,}2^0.$$

Проектування підведного каналу н.а.:

Вибираємо число лопатей зворотнього каналу: $z_{пк}=z_{на}=9$.

Кут установки лопатей зворотнього каналу приймаються $\alpha_{6ё} = 85^0$.

Профілювання зворотніх каналів проводимо з умови монотонної зміни площ вздовж середньої лінії. Площі перерізів каналів визначаємо графічно під час розроблення креслення н.а.

3.Розрахунки на міцність

3.1 Сили, що діють на ротор насоса

Розрахунок виконуємо згідно з рекомендаціями [10]

1. Визначення осьової сили, що діє на ротор насоса

Осьова гідравлічна сила складається із суми неврівноважених сил, що діють на ротор насоса в осьовому напрямку.

Загальне значення осьової сили:

$$T_{ос} = T_1 \pm (T_1^{1*} - T_2) + T_{шн} - T_б + T_р$$

де T_1 – осьова сила, що діє в бік всмоктування на одному ступені.

T_1^{1*} - осьова сила направлена в бік зношеного ущільнення

T_2 – динамічне зусилля, що діє уздовж осі ротора

$T_{шн}$ – осьова сила, що діє в бік всмоктування на шнеці

$T_б$ – осьова сила, що діє в бік нагнітання на барабані

$T_р$ – осьова сила, що виникає від ваги ротору.

$$T_1 = \int_{r_{y1}}^{r_{y2}} 2\pi dr \Delta p_i = \rho g \pi (r_{y1}^2 - r_{y2}^2)\left[H_р - \frac{\omega^2}{8g}\left(r_2^2 - \frac{r_{y1}^2 + r_{y2}^2}{2} \right) \right]$$

$$T = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}31^2 - 0{,}16^2)\left[67{,}2 - \frac{154.9^2}{8 \cdot 9{,}81}\left(0{,}445^2 - \frac{0{,}31^2 + 0{,}16^2}{2} \right) \right] = 23143 H$$

Під час аварійного зношування ущільнення виникає додаткова осьова сила T_1*, спрямована убік усмоктування.

Ця сила буде дорівнювати [1]:

$$T_1^* = \pi \cdot \left(r_2^2 \cdot r_{y1}^2 \right) \cdot \gamma \cdot \frac{u_2^2}{8 \cdot g} \cdot \left(\frac{r_2^2}{r_2^2 - r_{y1}^2} \cdot \ln \frac{r_2^2}{r_{y1}^2} + \frac{r_2^2 + r_{y1}^2}{2 \cdot r_2^2} - 2 \right)$$

Із креслення робочого колеса: r_{y1} = 0,3 м; r_2 = 0,436 м.

Колова швидкість на виході з робочого колеса: $U_2 = 33.18 м/с$.

$$T_1'^* = 3{,}14 \cdot \left(0{,}436^2 - 0{,}3^2 \right) \cdot \frac{1000 \cdot 33.18^2}{8} \times$$

$$\times \left(\frac{0{,}436^2}{0{,}436^2 - 0{,}3^2} \cdot \ln \frac{0{,}436^2}{0{,}3^2} + \frac{0{,}436^2 + 0{,}3^2}{2 \cdot 0{,}436^2} - 2 \right) = 1382 H$$

Уздовж осі насоса діє також динамічна сила T_2, обумовлена натіканням потоку, а

також зміною осьового напрямку його руху на радіальний.

Сила T_2 дорівнює [1]:

$$T_2 = B \cdot \frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot v_0,$$

де B = 1 - для радіальних коліс;

v_0 – швидкість на вході в робоче колесо, м/с, v_0 = 4,85 м/с

$$T_2 = \frac{1000 \cdot 375}{3600} \cdot 4{,}85 = 1051H.$$

осьова сила, що діє в бік всмоктування на шнеці

$$T_{шн} = S \cdot \Delta p$$

$$T_{шн} = \pi(R^2 - r^2) \cdot \Delta p$$

$$T_{шн} = \pi(0.145^2 - 0.08^2) \cdot 19415 = 892H$$

де R, r – зовнішній радіуси відповідно та вхідний радіус шнеку, м

Δp - перепад тиску на шнеці.

Осьова сила, що діє в бік нагнітання на барабані

$$T_б = S \cdot \Delta p$$

Де S – площа барабану.

Δp - перепад тиску на барабані.

$$T_б = \pi(R_б^{\ 2} - r_б^{\ 2}) \cdot \Delta p_б$$

$$T_б = \pi(0{,}1305^2 - 0{,}059^2) \cdot 1482911 = 63122H$$

осьова сила, що діє в сторону всмоктування від ваги ротору.

$T_p = mg$

де m=503кг - маса ротора

$T_p = 503 \cdot 9{,}81 = 4934H.$

Максимальна осьова сила, що діє на робоче колесо:

$$T_{ос} = T_1 \pm (T_1^{1*} - T_2) + T_{шн} - T_б + T_p$$

$$T_{ос} = 3 \cdot 23143 + (1382 - 1051) + 892 - 63122 + 4934 = 11581\ H$$

2. Визначення радіальної сили

Для визначення радіальної сили у відцентровому насосі використаємо формулу [3]:

$$R = K_R \cdot \left(1 - \left(\frac{Q}{Q_{опт}}\right)^2\right) \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot D_2 \cdot b_2 ,$$

де K_R – безрозмірний коефіцієнт радіальної сили;

D_2 – зовнішній діаметр робочого колеса, D_2 = 0,436 м;

b_2 – ширина колеса на виході, що включає в себе й товщину його дисків,

Коефіцієнт K_R залежить від n_s . При n_s = 111 K_R = 0,515.

Максимальна сила буде за режиму Q = 0.

$$R = 0,515 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 160 \cdot 0,436 \cdot 0,059 = 20794 H$$

3.2Розрахунок валу на міцність

Розрахунок виконуємо згідно з рекомендаціями [10]

1. Розрахунок міцності вала проводиться на основі максимальної потужності. Аналіз статичної потужності дозволяє визначити запаси міцності і порівняти їх з мінімально припустимими значеннями.

Матеріал валу – Сталь 45 ДСТУ 1050.

Характеристика матеріалу.

– межа міцності $\sigma_y = 600 МПа$;

– границя текучості $\sigma_T = 350 МПа$;

– межа утоми при вигині $\sigma_{-1} = 270 МПа$;

– межа утоми при крутінні $\tau_{-1} = 160 МПа$.

Потужність насосу:

$$N = \frac{\rho_{\max} \cdot g \cdot Q_н \cdot H_н}{\eta};$$

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 375 \cdot 135}{3600 \cdot 0,798} = 519,39 кВт$$

Крутний момент на валу,

$$M = \frac{30 N_{\max}}{\pi \cdot n},$$

де N_{max} - максимальна потужність, Вт. N_{max} =1,1×N=1,1×519=571 кВт.

$$M = \frac{30 \cdot 5711 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1450} = 364 \quad Н \cdot м$$

Понижене допустиме напруження приймаємо [τ]=190·10^5 Н/$м^2$

$$d_в = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 364}{3{,}14 \cdot 180 \cdot 10^5}} = 0{,}047 \quad м$$

2. Визначаємо згинальний момент:

$$M_{изг} = 0.1 \cdot M_{кр},$$

$$M_{изг} = 0.1 \cdot 364 = 3{,}64 Н \cdot м.$$

3. Визначаємо момент опору кручення з урахуванням ослаблення шпонковим пазом:

$$W_{кр} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2 \cdot d},$$

де d – діаметр вала, під шпонкою, м;

b – ширина шпонки, м;

h – висота шпонки, м.

$$W_{кр} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}06^3}{16} - \frac{0{,}008 \cdot 0{,}004 \cdot (0{,}06 - 0{,}004)^2}{2 \cdot 0{,}06} = 41.5 \cdot 10^{-6}.$$

Момент опору згину:

$$W_{изг} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2 \cdot d},$$

$$W_{изг} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}06^3}{32} - \frac{0{,}008 \cdot 0{,}004 \cdot (0{,}06 - 0{,}004)^2}{2 \cdot 0{,}06} = 20.3 \cdot 10^{-6}.$$

4. Визначаємо дотичне напруження:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_{кр}},$$

$$\tau_{кр} = \frac{364}{41.5 \cdot 10^{-6}} = 8.77 МПа.$$

5. Визначаємо нормальне напруження:

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{W_{изг}},$$

$$\sigma_{изг} = \frac{36.4}{20.3} = 1.79 МПа.$$

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{изг}^2 + 3 \cdot \tau_{кр}^2},$$

$$\sigma_{екв} = \sqrt{(1.79 \cdot 10^6)^2 + 3 \cdot (8.77 \cdot 10^6)^2} = 15.3 МПа.$$

Запас по статичній міцності:

$$n = \frac{\sigma_m}{\sigma_{екв}},$$

$$n = \frac{350 \cdot 10^6}{15,3 \cdot 10^6} = 22,9.$$

При відношенні: $\frac{\sigma_m}{\sigma_в} = \frac{350 \cdot 10^6}{600 \cdot 10^6} = 0,58$, мінімальне допустиме значення

$$[n]_{\min} = 1,4 \div 1,6.$$

Таким чином, запас по статичній міцності забезпечений, оскільки $[n]_{\min} < n$.

Діаметри валу під колесом, підшипниками та шнеком вибираємо, виходячи з конструктивних параметрів за умови, що він більше розрахованого.

3.3Розрахунок шпонкового з'єднання валу з колесом

Розрахунок виконуємо згідно з рекомендаціями [31]

Вихідні дані для розрахунку.

Матеріал валу - Сталь 40Х.

Границя текучості - $\sigma_{0,2}$ = 750 МПа.

Матеріал шпонки - Сталь 45.

Границя текучості - $\sigma_{0,2}$ = 345 МПа.

Матеріал колеса - 20Х13Л.

Границя текучості - $\sigma_{0,2}$ = 435 МПа.

Крутний момент на валу $M_{кр}$ = 364 Нм.

Розмір шпонки під робочим колесом, мм b x h x l = 20 x 10 x 50.

При розрахунку шпонкового з'єднання валу із колесом визначальної є напруга зминання

$$\sigma_{CM} = \frac{2 \cdot M_{KP}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)},$$

де l_p – робоча довжина шпонки;

t_1 – глибина паза валу;

h - висота шпонки;

d - діаметр валу.

$d = 125мм$, $t_1 = 4.7мм$, $h = 11мм$.

$$\sigma_{CM} = \frac{2 \cdot 364}{0,125 \cdot 0,040 \cdot (0,011 - 0,0047)} = 23,1МПа.$$

Допустиму напругу зминання обчислюємо для матеріалу шпонки, що має найнижчу границю текучості.

Допустиме напруження зминання:

$[\sigma_{CM}] = 0,56 \cdot \sigma_{0.2}$;

$[\sigma_{CM}] = 0,56 \cdot 350 = 196\ МПа$;

Умова міцності виконується.

3.4Розрахунок довговічності підшипників

Розрахунок виконуємо згідно з рекомендаціями [31]

Попередньо приймаємо в опорах два радіально-упорні шарикопідшипники важкої вузької серії 46314 ДСТУ 831, з такими параметрами: d=70 мм; D=150 мм;

- динамічна вантажопідйомність – C=131 кН;
- статична вантажопідйомність – C_o=86,5 кН.

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{11581}{1 \cdot 20794} = 0,557,$$

e = 0,8

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} \lhd 0,8$$

Визначаємо еквівалентне навантаження:

$$P_E = V \cdot F_r \cdot K_б \cdot K_T,$$

де V – коефіцієнт обертання, V=1 під час обертання внутрішнього кільця підшипника щодо напрямку радіального навантаження;

F_r – радіальне навантаження, F_r=R/2=10397 Н;

$K_б$ – коефіцієнт безпеки, $K_б$=1;

K_T – температурний коефіцієнт, K_T=1,05.

$$P_E = 1 \cdot 10397 \cdot 1 \cdot 1.05 = 10917H$$

$$L = \frac{10^6}{60n}\left(\frac{C}{P}\right)$$

$$L = \frac{10^6}{60 \cdot 1500}\left(\frac{127000}{10917}\right)^3 = 27493год$$

Значення розрахункової довговічності, що рекомендуються, для машин цілодобового використання, зокрема для насосів відповідає 30000 годин, а встановлений ресурс до капремонту 20000 годин. Отже умову виконано.

Розрахунок радіально упорного підшипника. Розрахунок довговічності підшипника. Сила що діє на підшипник: R=10397Н, приймаємо радіально упорний шарикопідшипник 314 ДСТУ 8338, з такими параметрами:

d=70 мм;

D=150 мм;

- динамічна вантажопідйомність – С=106 кН;

- статична вантажопідйомність – $С_о$=59 кН.

Визначаємо еквівалентне навантаження:

$$P_E = V \cdot F_r \cdot K_б \cdot K_T ,$$

де V – коефіцієнт обертання, V=1;

F_r –навантаження, R =10397 Н;

$К_б$ – коефіцієнт безпеки, $К_б$=1;

$К_Т$ – температурний коефіцієнт, $К_Т$=1,05.

$$P_E = 1 \cdot 10397 \cdot 1 \cdot 1.05 = 10917 H$$

$$L = \frac{10^6}{60n}\left(\frac{C}{P}\right)$$

$$L = \frac{10^6}{60 \cdot 1500}\left(\frac{107000}{10917}\right)^3 = 41127 ч$$

Значення розрахункової довговічності, що рекомендуються, для машин цілодобового використання, зокрема для насосів відповідає 30000 годин. Отже умову виконано.

4.Розрахунок ущільнень

Розрахунок виконуємо згідно з рекомендаціями [16]

У даному розрахунку необхідно визначити перепади тиску в передньому, межступеневому ущільненнях робочого колеса а також витоки.

Витоки в ущільненнях:

$$q = \mu \cdot f \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$

де μ - коефіцієнт витрати шпарини, μ=0,5;

f - площа шпарини, $f = 2\pi r_1 \delta$;

p – перепад тиску на шпарини.

Перепад тиску на передньому ущільненні робочого колеса: Рр=ψ×$H_{пот}$ - Рп ,

де ψ - питома вага рідини, Н/м^3;

$H_{пот}$ - потенційний напор, м .

$$H_{пот} = H \cdot \left(1 - \frac{g \cdot H}{2 \cdot \omega^2 \cdot R_2}\right),$$

де H - напір ступеня, м.

g – прискорення вільного падіння;

 - частота обертання ротора, рад/с;

R_2 – радіус робочого колеса, м.

$$H_{пот} = 65 \cdot \left(1 - \frac{9{,}81 \cdot 65}{154{,}9^2 \cdot 0{,}218}\right) = 57{,}08 \ \ (м)$$

Визначаємо падіння статичного натиску в пазусі переднього ущільнення першої ступені:

$$P_П = \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{R_2^2 - R_1^2}{8},$$

де R_1 – діаметр переднього ущільнення, м;

 - щільність рідини, перекачуваної насосом, кг/м .

$$P_П = 1000 \cdot 154,9^2 \cdot \frac{0,218^2 - 0,175^2}{8} = 50684 \ \ (Па)$$

Тоді перепад тиску на передньому ущільненні робочого колеса першої ступені:

$$P_р = 9,81 \times 1000 \times 57,08 - 50684 = 50927 (Па)$$

Витоки в ущільнені:

$$q = \mu \cdot 2\pi r_1 \delta \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$

$$q = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 0.175 \cdot 0.0002 \sqrt{\frac{2 \cdot 50927}{1000}} = 0.00011 \ м^3/год.$$

Визначаємо падіння статичного тиску в пазусі переднього ущільнення проміжних ступенів:

$$P_П = \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{R_2^2 - R_1^2}{8},$$

де R_1 – діаметр переднього ущільнення, м;

 - густина рідини, перекачуваної насосом, кг/м .

$$P_П = 1000 \cdot 154.9^2 \cdot \frac{0,218^2 - 0,15^2}{8} = 75053 \ \ (Па)$$

Тоді перепад тиску на передньому ущільненні робочого колеса проміжної ступені:

$$P_р=9,81\times1000\times57,08 - 75053 = 484102(Па)$$

Витрата шпарини:

$$q = \mu \cdot 2\pi r_1 \delta \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$

$$q = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 0.15 \cdot 0.0002 \sqrt{\frac{2 \cdot 484102}{1000}} = 0.0195 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Перепад тиску на міжступеневому ущільненні визначається по формулі:

$$P_Г = \gamma \cdot \left(H - H_{пот}\right) + P_м,$$

де $P_м$ - перепад статичного тиску в пазусі міжступеневого ущільнення, Па.

$$P_м = \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{R_2^2 - R_3^2}{8},$$

$$P_м = 1000 \cdot 154.9^2 \cdot \frac{0,218^2 - 0,068^2}{8} = 128668 \ \ (Па)$$

$$P_Г = 9,81 \cdot 1000 \cdot \left(65 - 57,08\right) + 128668 = 206363 \ \ (Па)$$

Витрата шпарини:

$$q = \mu \cdot 2\pi r_1 \delta \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$

$$q = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 0.068 \cdot 0.0002 \sqrt{\frac{2 \cdot 206363}{1000}} = 0.0128 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Перепад тиску на барабані:

$$P_б = \gamma \cdot H_н,$$

де $H_н$ – напір насосу, м.

$$P_б = 9{,}81 \cdot 1000 \cdot 195 = 1912950 Па$$

Витрата шпарини:

$$q = \mu \cdot 2\pi r_б \delta \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$

$$q = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 0.131 \cdot 0.0002 \sqrt{\frac{2 \cdot 1912950}{1000}} = 0.0051 \text{ м}^3/\text{год.}$$

5.Вибір електродвигуна

Враховуючи споживану потужність насоса, обираємо асинхронний трифазний електродвигун з короткозамкнутим ротором, який обдувається. В даному випадку використовується вертикальний вибухозахищений електродвигун з серії ВАОВ, призначений для приводу нафтових підпірних насосів типу НПВ.

Основні технічні характеристики електродвигуна:

Тип електро-двигуна	Потуж-ність кВт	Напру-га В	Частота обертів (синхр.), об/хв	ККД, %	cosφ	Ммах Мном	Мпуск Мном	Іпуск Іном	Момент інерції двигуна кг*м^2 ротора
ВАОВ 550 S-4	550	6000	1450	95,2	0,88	1,2	6,05	2,35	8,25

6 Охорона праці

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час експлуатації насосного обладнання

Під час експлуатації насосів виникають небезпечні виробничі фактори, такі як:

- Збільшений рівень шуму
- Підвищена вібрація

Джерелами цих негативних виробничих факторів є обертові та рухомі компоненти механізмів насоса, такі як електродвигун, лопатеве колесо та підшипники. Згідно з ГОСТ 12.0.003-74, шум і вібрація класифікуються як активні, оскільки вони можуть впливати на людину через вкладені в них енергетичні ресурси.

Загальніні характеристики та засоби зниження шуму насоса

Шум – це хаотичне сполучення звуків різної частоти та інтенсивності, які перебувають у межах чутливості органів слуху людини щодо частотного діапазону [13].

Таблиця 11.1 - Нормовані рівні звукового тиску (дБ) та рівні звуку (дБА) на робочих місцях відповідно до ДСН 3.3.6.037−99

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньогеометричними частотами, Гц									Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, дБА, $дБА_{екв.}$
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання всіх видів робіт на постійних робо-чих місцях у виробничих примі-щеннях на території підприємств	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Шум, що виникає від роботи насоса, умовно можна розподілити на базовий шум, що зумовлюється конструктивними особливостями, та додатковий шум, який виникає під час експлуатації.

Базові джерела шуму в насосі включають:

- шум від підшипників кочення,
- шум, пов'язаний із повітряним охолодженням електродвигуна.

Обидва базових джерела шуму в насосі корелюють з частотою обертання та потужністю електродвигуна. Згідно з європейським стандартом ISO 3743, шум, що видається насосом під час роботи, обмежується в залежності від потужності та частоти обертання електродвигуна.

Шум, що генерується насосом, нерозривно пов'язаний із частотою обертання робочого колеса, тому вплинути на нього можна лише шляхом зниження частоти обертання. Однак зі зниженням частоти обертання також зменшується продуктивність насоса, тому встановлення регулятора частоти може бути ефективним в разі, коли насос вибрано з великим запасом або в системах з піковим підвищенням водоспоживання.

Додаткові джерела шуму насоса включають:

- пошкоджені підшипники,
- нефіксований корпус насоса,
- кавітація, що супроводжується різким шумом і вібрацією,
- вібрація, яка передається до огороджувальних конструкцій та трубопроводів.

Для зниження шуму від насосів можна вжити наступні заходи:

- Встановлення регулятора частоти обертання електродвигуна: Цей захід буде ефективним, особливо якщо насос вибрано з запасом потужності або робота на максимальній потужності необхідна лише в пікові години (наприклад, в системах водопостачання).
- Звукоізоляція приміщення: Виконання звукоізоляції у приміщенні, де встановлений насос, допоможе обмежити поширення звукових хвиль.
- Віброізоляція фундаменту: Якщо насос встановлений на фундаменті, слід здійснити віброізоляцію фундаменту для поглиблення ефекту зменшення вібрації.
- Антивібраційні вставки на трубопроводах: Встановлення антивібраційних вставок на підвідних і відвідних трубопроводах до насоса допоможе зменшити передачу вібрації.
- Віброізоляція опор трубопроводів: Здійснення віброізоляції опор трубопроводів, закріплених до огороджувальних конструкцій будівель, може бути доцільним заходом. Використання шарнірних підвісів та прокладок з щільної гуми під трубопроводами може сприяти покращенню віброізоляції.

Загальні характеристики та засоби зниження вібрації насоса

Вібрація - це коливання або рух пружних тіл, що виявляється в їх переміщенні в просторі або зміні форми [14]. Поява вібрації часто пов'язана з неврівноваженими силами та ударними процесами в механічних системах. Сучасне створення потужних та високошвидкісних машин і транспортних засобів, при одночасному зменшенні їх матеріаломісткості, призводить до збільшення інтенсивності та розширення спектра вібраційних і віброакустичних полів.

Причини вібрації в насосі можуть бути різноманітними, зокрема:

- Порушення правил експлуатації насоса.
- Неправильне центрування з привідним механізмом (насосом).

- Незадовільний стан або неякісне виготовлення сполучної муфти, знос пальців, несоосність отворів під пальці або несоосність полумуфт.
- Дисбаланс робочого колеса насоса, особливо часто виявляється в насосах з високою частотою обертання або динамічно неотбалансованим робочим колесом.
- Дисбаланс ротора електричного двигуна.
- Дефект підшипників насоса або електродвигуна.
- Дефекти фундаменту і фундаментної рами агрегату.
- Вигин валу.
- Слабке кріплення окремих деталей насоса і електродвигуна, таких як підшипники, торцеві кришки.

Таблиця 11.2 - Межі зон вібраційного стану для середньоквадратичного значення швидкості вібрації на частинах насосів, що не обертаються, потужністю понад 1 кВт з числом лопатей більше двох

Зона	Характеристика зони	Середньоквадратичне значення швидкості, мм / с			
		Категория I		Категория II	
		Не більше 200 кВт	Більше 200 кВт	Не більше 200 кВт	Більше 200 кВт
A	Вібрація нових насосів в кращому робочому діапазоні	≤ 2,5	≤ 3,5	≤ 3,2	≤ 4,2
B	Вібрація в допустимому робочому діапазоні, що допускає необмежене застосування насоса	≤ 4,0	≤ 5,0	≤ 5,1	≤ 6,1
C	Вібрація, яка припускає застосування обмежений час	≤ 6,6	≤ 7,6	≤ 8,5	≤ 9,5
D	Вібрація, пов'язана з високим ризиком ушкоджень	> 6,6	> 7,6	> 8,5	> 9,5

Існує кілька заходів для зниження вібрації насосів:

- Зменшення параметрів:
- Оптимізація конструкції насоса для зменшення параметрів, що призводять до вібрацій.
- Збільшення кількості лопатей робочого колеса (z):
- Зміна конфігурації робочого колеса для підвищення кількості лопатей, що може сприяти зниженню вібрацій.
- Використання робочих коліс з двухстороннім входом:
- Використання робочих коліс, які мають два входи для рідини, може допомогти збільшити стійкість насоса до вібрацій.
- Вібродемпфування:
- Використання матеріалів із великим внутрішнім тертям, таких як пластмаси, сплави марганцю та міді, для зменшення коливань шляхом збільшення механічних втрат.
- Динамічне гасіння:
- Введення додаткових мас та зміна жорсткості системи для створення додаткової коливальної системи, яка рухається в "протифазі" з коливаннями самого об'єкту, тим самим гасячи вібрації.
- Ці заходи можуть бути використані окремо чи в поєднанні для досягнення ефективного зниження вібрацій в роботі насосів.

Організація пожежної безпеки у навчальному закладі

Згідно з розділом II Правил пожежної безпеки для навчальних закладів та установ системи освіти України (наказ Міністерства освіти і науки України від 15.08.2016 № 974), керівники закладів та установ зобов'язані виконувати наступні завдання для забезпечення протипожежного режиму:

- Визначення обов'язків посадових осіб:
  - Визначення обов'язків працівників з питань пожежної безпеки.
  - Призначення відповідальних осіб за пожежну безпеку для будівель, споруд, приміщень та інженерного обладнання.

- Розробка плану евакуації:
  - Затвердження орієнтованого плану евакуації для учнів та вихованців у випадку пожежі.
  - Установлення порядку оповіщення учасників навчально-виховного процесу.
- Розробка інструкції щодо евакуації:
  - Розробка та затвердження інструкції, яка визначає дії працівників для забезпечення безпечної та швидкої евакуації.
  - Проведення практичних тренувань не рідше одного разу на півроку для всіх працівників.
- Розслідування нещасних випадків:
  - Дотримання Порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві (постанова Кабінету Міністрів України від 30.11.2011 № 1232).
  - Додержання Положення про порядок розслідування нещасних випадків, які трапилися під час навчально-виховного процесу (наказ Міністерства освіти і науки України від 31.08.2001 № 616).
- Виконання заходів пожежної безпеки:
  - Своєчасне виконання заходів, запропонованих органами державного нагляду та виконавчої влади з питань пожежної безпеки.

Протипожежний режим у кожному закладі та установі передбачає виконання ряду важливих порядків та заходів для забезпечення пожежної безпеки. Наказом або інструкцією визначається такий порядок:

- Утримання шляхів евакуації:
  - Визначення та позначення шляхів евакуації.
  - Періодична перевірка шляхів евакуації на доступність та безпеку.
- Застосування відкритого вогню:
  - Заборона використання відкритого вогню без відповідного дозволу та контролю.

– Викладення правил безпеки для роботи з відкритим вогнем.

- Використання побутових електронагрівальних приладів:

– Контроль за правильним використанням та безпекою побутових електронагрівальних приладів.

– Заборона залишати їх увімкненими без нагляду.

- Проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт:

– Визначення процедур та вимог для проведення робіт, що можуть створити пожежонебезпеку.

– Забезпечення належного контролю та нагляду під час проведення таких робіт.

- Проїзду та стоянки транспортних засобів:

– Визначення місць для стоянки транспорту та обмежень для забезпечення проїзду пожежних та інших рятувальних засобів.

- Прибирання горючого пилу й відходів:

– Встановлення правил щодо безпечного очищення робочих приміщень від горючих відходів та пилу.

- Відключення від мережі:

– Визначення порядку відключення електроустановок та вентиляційних систем у разі пожежі.

- Огляду та зачинення приміщень:

– Встановлення правил зачинення та огляду будівель після закінчення робочого дня.

- Проведення навчання та перевірки знань:

– Визначення процедур та графіка навчань з питань пожежної безпеки.

– Організація і проведення протипожежних інструктажів та тренувань.

- Експлуатації і обслуговування засобів протипожежного захисту:

– Забезпечення регулярного обслуговування та перевірки протипожежних систем та засобів.

- Планово-попереджувальні ремонти та огляди:

– Визначення графіка та процедур для планових ремонтів та оглядів різних систем та устаткування.

- Скликання добровільної пожежної охорони:

– Визначення порядку скликання та дій членів пожежно-рятувального підрозділу у разі пожежі.

- Дії у разі виникнення пожежі:
– Встановлення послідовності та порядку дій учасників навчально-виховного процесу у випадку пожежі
– Заходи щодо оповіщення, евакуації, виклику
- Обов'язки керівників закладів та установ:
– Організація вивчення та виконання Правил
– Контроль за дотриманням протипожежного режиму:

Ці заходи спрямовані на забезпечення безпеки всіх учасників навчально-виховного процесу та зменшення можливих наслідків пожежі.

Особи, які не пройшли навчання, протипожежного інструктажу і перевірки знань з питань пожежної безпеки, не можуть бути допущені до роботи. Перед початком навчального року всі заклади та установи повинні бути прийняті відповідними комісіями, до яких входять представники органів державного нагляду у сфері пожежної безпеки. З метою проведення заходів щодо запобігання пожежам та організації їх гасіння керівники закладів та установ створюють добровільну пожежну охорону згідно з Порядком функціонування добровільної пожежної охорони, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 року № 564. У загальноосвітніх навчальних закладах (крім закладів для дітей з

вадами розумового і фізичного розвитку) також можуть бути створені дружини юних рятувальників-пожежних.

У закладах та установах з цілодобовим перебуванням учнів/вихованців необхідно встановити чергування обслуговувального персоналу в нічний час без права сну протягом зміни. Приміщення для розміщення чергових має бути забезпечене телефонним зв’язком.

Черговий повинен бути забезпечений фільтрувальними пристроями для саморятування під час пожежі з розрахунку на максимальну кількість дітей та окремо для обслуговувального персоналу, комплектом ключів від дверей евакуаційних виходів та воріт, автомобільних в’їздів на територію закладу та установи.

У таких закладах та установах черговий зобов’язаний, заступаючи на чергування у вихідні та святкові дні, а також у вечірні і нічні години:

- перевірити наявність і стан систем протипожежного захисту (далі - СПЗ);
- пересвідчитися, що всі шляхи евакуації (коридори, сходові клітки, тамбури, фойє, холи, вестибюлі) не захаращено, а двері евакуаційних виходів за необхідності можуть бути без перешкод відчинені;
- у разі виявлення порушення протипожежного режиму і несправностей, внаслідок яких можливе виникнення пожежі, вжити заходів щодо їх усунення, а в разі потреби повідомити керівника або особу, що його заміщує;
- мати списки (журнали обліку) учнів, вихованців та працівників, які залишаються на ніч у закладі та установі, знати місця їх розміщення;
- постійно мати ручний електричний ліхтар.

У будівлях і спорудах, які мають два і більше поверхів, у разі одночасного перебування на поверсі понад 25 осіб мають бути розроблені і розміщені на видних місцях плани (схеми) евакуації на випадок пожежі.

Для працівників охорони (сторожі, вахтери тощо) необхідно розробити інструкцію, що визначає їхні обов’язки щодо контролю за дотриманням протипожежного режиму, огляду території і приміщень, порядок дій у разі виявлення пожежі, спрацювання СПЗ, а також визначає, кого з посадових осіб мають викликати в нічний час у випадку виникнення пожежі.

Дії населення в разі виникнення надзвичайних ситуацій

При найближчій можливості рекомендується залишити небезпечну зону разом із сім'єю. Якщо особистий виїзд неможливий, важливо вислати дітей та старших родичів до безпечних місць, таких як родичі чи знайомі. Важливо взяти із собою всі необхідні документи, цінності та важливі документи [16].

Доцільно починати підготовку до можливого перебування у зоні надзвичайної ситуації напередодні. Слід скласти «екстрену валізку» з необхідними речами, які

можуть знадобитися під час перебування в зоні надзвичайної ситуації або під час евакуації в безпечні райони.

Оповіщення

З метою привернення уваги громадян до передачі термінової інформації від територіальних органів цивільного захисту активується система сирен, розташованих на відповідній території, а також через мережі телебачення і радіомовлення, включаючи попереджувальний сигнал оповіщення "УВАГА ВСІМ!". При отриманні такого сигналу важливо негайно увімкнути радіоприймач або телевізор і слухати повідомлення від управління з питань надзвичайних ситуацій [16].

Для різних видів надзвичайних ситуацій готові варіанти текстових повідомлень. Після активації звукового сигналу сирени передається усна інформація про характер надзвичайної ситуації. Після вислуховування повідомлення кожен громадянин повинен діяти розсудливо, утримуючись від паніки, відповідно до отриманих вказівок.

Інформація в повідомленні охоплює деталі надзвичайної ситуації, вказуючи місце та час її виникнення, територію, що потрапила під вплив (райони, масиви, вулиці, будинки тощо), а також інструкції для дій у надзвичайних обставинах.

Кожен працівник, що перебуває на роботі, зобов'язаний виконувати всі розпорядження керівника суб'єкта господарювання та діяти відповідно до вказівок органів управління цивільного захисту.

Якщо ви перебуваєте вдома і стикаєтеся з надзвичайною ситуацією, слід дотримуватися наступних порад:

- Тримайте постійно включеними радіоприймачі та телевізори, щоб слухати розпорядження та вказівки органів виконавчої влади та управління з питань надзвичайних ситуацій.
- Повідомте сусідів про отриману інформацію та поділіться нею.
- Підготуйте засоби індивідуального захисту для органів дихання та шкіри. У випадку їхньої відсутності, використовуйте найпростіші доступні засоби, такі як повсякденний одяг, взуття, марлеві пов'язки, плівка тощо.
- Зберігайте при собі засоби індивідуального захисту, підготуйте медичну аптечку, необхідні документи, засоби зв'язку, предмети особистої гігієни, запас їжі та питної води.

• Проведіть в квартирі або будинку протипожежні заходи, такі як вимкнення газу, електропостачання тощо. Закрийте вікна, кватирки та ущільніть їх.

• Уточніть місце найближчого укриття, зокрема підвального приміщення, де можна сховатися в разі потреби.

Якщо ви перебуваєте у транспорті або громадському місці (магазині, театрі, на ринку і т.д.) і отримали сигнал оповіщення, слід дотримуватися наступних рекомендацій:

- Уважно та спокійно вислухайте повідомлення.
- Визначте, де в найближчому оточенні є сховище чи укриття.
- Якщо є достатньо часу, намагайтеся якнайшвидше дістатися до зазначеного місця укриття.
- Якщо можливо і час дозволяє, повертайтеся до свого помешкання та дійте відповідно до отриманих вказівок.
- Зберігайте спокій і дійте розумно, дотримуючись інструкцій та рекомендацій органів управління цивільного захисту.

Правила поведінки населення при пожежах

Якщо пожежа застала вас у приміщенні [16]:

– ви прокинулись від шуму пожежі і запаху диму – не сідайте у ліжку, а скотіться з нього та повзіть під хмарою диму до дверей, але не відчиняйте їх одразу;

– обережно доторкніться до дверей тильною стороною долоні, якщо двері не гарячі, то обережно відчиніть їх та швидко виходьте, а якщо гарячі – ні в якому разі не відчиняйте їх;

– щільно закрийте двері, а всі щілини та отвори позатикайте тканиною, по можливості мокрою, щоб уникнути подальшого проникнення диму, та повертайтесь повзком углиб приміщення, приймайте заходи для порятунку;

– присядьте, глибоко вдихніть, розчиніть вікно, висуньтеся та кричіть:

«Допоможіть, пожежа!», а якщо ви не в силі відчинити вікно – розбийте

скло твердим предметом та приверніть до себе увагу людей, які можуть викликати пожежно-рятувальну службу;

– якщо ви вибрались через двері – зачиніть їх і повзком пересувайтесь до виходу з приміщення (обов'язково зачиніть за собою всі двері);

– якщо ви знаходитесь у висотному будинку – не біжіть донизу крізь полум'я, а скористайтеся можливістю вибратися на дах будівлі.

Користуватися ліфтом під час пожежі заборонено! У всіх випадках намагайтеся викликати пожежно-рятувальну службу за телефоном 101.

Правила поведінки населення при загрозі бойових дій

Для підготовки оселі до можливої надзвичайної ситуації, рекомендується виконати наступні заходи:

- Нанести захисні смуги зі скотчу (паперу, тканини) на віконне скло для підвищення його стійкості до вибухової хвилі та зменшення кількості уламків для уникнення травмування в разі його пошкодження.
- Обладнати укриття в підвалі, забезпечивши його захист мішками з піском і передбачивши наявність аварійного виходу.
- У разі наявності земельної ділянки обладнати укриття на відстані, що перевищує висоту будинку.
- Зробити запаси питної та технічної води.
- Зробити запас продуктів тривалого зберігання.
- Додатково укомплектувати домашню аптечку засобами надання першої медичної допомоги.
- Підготувати (закупити) засоби первинного пожежогасіння.
- Підготувати ліхтарики, комплекти запасних елементів живлення, гасові лампи та свічки на випадок відключення енергопостачання.

• Підготувати (закупити) прилади (примус) для приготування їжі у разі відсутності газу і електропостачання.

• Підготувати необхідні речі та документи на випадок термінової евакуації або переходу до захисних споруд цивільного захисту.

• Мати особистий транспорт завжди у справному стані і запасом палива для виїзду у безпечний район.

• При наближенні зимового періоду розглянути питання щодо обігріву оселі у випадку відключення централізованого опалення.

Правила поведінки населення при хімічній небезпекі

Дії у випадку загрози виникнення хімічної небезпеки:

- Отримання сигналу "Увага всім!":

– При отриманні сигналу «Увага всім!» від електросирен або через мережу радіомовлення, негайно ввімкніть приймач радіотрансляційної мережі або телевізор.

– Уважно слухайте інформацію про надзвичайну ситуацію та порядок дій.

- При оголошенні небезпечного стану:

– Уникайте паніки.

– Попередьте сусідів та надайте допомогу людям з інвалідністю, дітям та літнім людям.

– Виконайте заходи для зменшення проникнення небезпечних хімічних речовин у приміщення: щільно закрийте вікна та двері, заклейте щілини.

- Підготовка оселі:

– Забезпечте запас питної води та найпростіші засоби санітарної обробки.

– Дізнайтеся про місце збору мешканців для евакуації та уточніть час її початку.

– Підготуйте валізу із документами, цінностями, грошима, предметами першої необхідності та запасом консервованих продуктів.

Дії у випадку раптового виникнення хімічної небезпеки:

- Уникання паніки:

– Надягніть засоби індивідуального захисту та зменште час перебування в зоні небезпеки.

– По можливості залишіть зону хімічного забруднення.

- Залишання приміщення:

– Герметизуйте приміщення, закривши вікна, двері, димоходи, вентиляційні люки.

– Вимкніть газ та електропостачання.

- Евакуація:

– Підготуйте речі для евакуації та негайно залиште зону хімічного забруднення.

– Попередьте сусідів і надайте допомогу дітям, інвалідам та літнім людям.

- Безпека під час евакуації:

– Виходьте із зони хімічного забруднення перпендикулярно напрямку вітру.

– Зніміть верхній одяг, вимийте очі, ніс та рот після виходу з зони забруднення.

– Звертайтесь до медичного закладу при підозрі на ураження хімічними речовинами.

- По прибутті на нове місце:

– Дізнайтеся у місцевих органів адреси організацій, що відповідають за надання допомоги потерпілому населенню.

7 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

Розробка технологічного процесу виготовлення деталі "Робоче колесо"

Відповідно до завдань для дипломного проекту було визначено необхідність розробки технологічного процесу виготовлення деталі "Робоче колесо", який представлений маршрутною картою в додатку Б. Робочі колеса для відцентрових насосів різних типів і розмірів зазвичай виготовляють суцільнолитими [17]. В процесі лиття формується основна частина профілю робочих коліс, і механічна обробка обмежується лише посадковими і ущільнювальними поверхнями, в той час як канали проточної частини залишаються литими і лише чистяться. Під час механічної обробки деталь повинна бути закріплена так, щоб литі канали і лопаті правильно орієнтовані щодо посадкового отвору і осі обертання робочого колеса. Висуваються високі вимоги до геометричної точності литих каналів і шорсткості їх поверхонь [17]. Основна механічна обробка робочих коліс відцентрових і вільновихрових насосів включає точіння посадкових поверхонь (отворів і торців) для з'єднання з валом, а також циліндричних поверхонь ущільнень і інших поверхонь [18, 19]. При цьому дотримуються жорсткі технічні вимоги до точності розташування оброблених поверхонь між собою і відносно необроблюваних робочих поверхонь. Це досягається завдяки розмітці перед обробкою і правильному закріпленню на верстаті. Операції свердління, розточування та фрезерування виконуються на єдиній базі за допомогою універсальних розточувальних верстатів [20].

Якісна оцінка технологічності деталі

Показники якості визначають технологічність конструкції взагалі, базуючись на практичному досвіді виробника. До цих показників відносяться: матеріал деталі, налаштування на верстаті (базування та закріплення), розміщення розмірів, допуски форми та розміщення, геометрична форма, і можливість використання передових методів обробки поверхонь [20].

Деталь виготовлена з вуглецевої конструкційної сталі 20Х13Л згідно з ГОСТ 977-88, і відсутні альтернативи. Класифікується як сталь для відливок з особливими властивостями. Призначена для виготовлення відливок деталей, які піддаються ударним навантаженням (турбінні лопатки, клапани гідравлічних пресів, арматура крекінг-установок, сегменти сопел, форми для скла, рами садочних вікон, предмети домашнього вжитку тощо), а також для виробів, що експлуатуються в умовах слабко агресивних середовищ (атмосферні опади, волога пара, водні розчини солей органічних кислот при кімнатній температурі).

Таблиця 11.1 - Механічні властивості сталі 20Х13Л для відливок за ГОСТ 977-88

Операція	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	KCU, Дж/см^2	НВ, не більше
		Н/мм^2		%			
		не менше					
Отжиг 950 °С. Закалка 1050 °С, масло или воздух. Отпуск 750 °С, воздух	До 100	450	600	16	40	40	187-206

Технологічні властивості сталі 20Х13Л:

Температура початку затвердіння, C: від 1489 до 1497

Зварюваність – обмежено зварювана. Рекомендується підігрів і наступна термообробка.

Показник тріщиностійкості, Кт.у .: 0,6.

Схильність до утворення усадкової раковини, Ку.р.: 0,8.

Жидкотикучість, Кж.т: 1,0.

Лінійна усадка,%: 2.2-2,3

Схильність до утворення усадочної пористості, Ку.п.: 1,0.

Враховуючи вищезазначене, можна зробити висновок, що використання обраного матеріалу для виготовлення даної деталі є технологічним, оскільки цей матеріал відноситься до легко оброблюваних сталей, і механічна обробка не представляє складнощів.

Однак з точки зору зручності базування, дана деталь виявляється менш технологічною, оскільки для проведення певних етапів обробки потрібно застосовувати спеціальні пристосування та зажимні пристрої.

.

В деталі присутні такі не технологічні елементи як:

- паз *l* 6, *l* 10, ∅63;
- шпонковий паз 25·5,4·41;
- зовнішня канавка *l* 22, *l* 2,5;

Розміри деталі встановлені відповідно до ГОСТу з урахуванням технічних вимог, що забезпечує легкість читання креслення, вільне виконання та контроль розмірів під час механічної обробки. Тому ми вважаємо деталь технологічною за цим пунктом.

Аналізуючи форму поверхонь деталі з точки зору застосування високопродуктивного обладнання, можна відзначити, що більшість поверхонь є простими (циліндричні, плоскі), що значно спрощує обробку. Точність обробки в

більшій мірі залежить від простоти конструкційних форм, тому деталь можна вважати технологічною з цього показника.

Аналізуючи деталь за використанням необроблюваних поверхонь, можна зробити висновок, що вона не є технологічною, оскільки більшість поверхонь виконують різноманітні функції, тому необроблювані поверхні з великою шорсткістю є неприйнятними.

Маса заготовки становить 12 кг, що свідчить про необхідність використання допоміжних підйомних механізмів при закріпленні (кран-балки, мостові крани). Отже, з точки зору маси заготовка не є технологічною.

Поверхні деталі є достатньо розвинутими, що полегшує базування та закріплення під час механічних операцій. Деталь також масивна з великими товщинами стінок, що дозволяє використовувати продуктивні режими різання та зменшувати вібрації при чистових операціях.

Зауваження, представлені вище, не є технологічними, але конструктивними: вони необхідні для використання деталі в вузлі, тому їх зміна не є можливою.

Поверхні з шорсткістю 1,6 мкм вимагають додаткових операцій та збільшують собівартість виробу. Ця шорсткість призначена для всіх поверхонь, крім різьбових отворів, тому можна вважати деталь не технологічною за цим параметром.

Конструктор встановив жорсткі вимоги до допусків розміщення поверхонь. Для досягнення цих вимог потрібно використовувати точне обладнання, бажано з ЧПК, але це може бути не технологічним через його високу вартість.

Опис характеристик визначеного типу виробництва

Виробництво робочих коліс характеризується як типом виробництва середньої серії. Це означає обмежену номенклатуру виробів, виготовлення або ремонт яких відбувається періодично повторюваними партіями. Такий тип виробництва відрізняється значним обсягом випуску і є домінуючим у сучасній машинобудівній галузі. Зараз близько 75-80% всієї продукції машинобудування в Україні випускається підприємствами цього типу.

Середньосерійне виробництво використовує універсальні і спеціалізовані верстати, які розташовані в послідовності технологічного процесу для обробки однієї або декількох деталей, що вимагають однакового порядку обробки. Процес виробництва ведеться партіями, де деталі кожної партії можуть трохи відрізнятися розмірами або конструкцією, але допускається обробка на тому ж обладнанні. Застосування верстатів з числовим програмним управлінням, обробних центрів і гнучких автоматичних систем верстатів з ЧПК є характерним для цього типу виробництва. Переналагодження верстатів і перебудова виробничого процесу при зміні типу обробки забезпечуються попередньою технологічною підготовкою.

Середнє кваліфікаційне рівень робітників у середньосерійному виробництві вище, ніж у масовому виробництві, але нижче, ніж у випадку одиночного виробництва. Окрім робітників високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах і здійснюють налагодження, використовуються робітники-оператори з меншою кваліфікацією, що працюють на спеціалізованих верстатах.

Вибір способу отримання заготівки, проектування прогресивної заготівки

Однією з ключових умов раціональної технології є намагання наблизити форму та розміри заготовки до форми готової деталі [17]. Після аналізу матеріалу, типу виробництва, розмірів і конфігурації деталі виявлено, що оптимальним методом отримання заготовки є лиття по виплавлюваних моделях.

Лиття по виплавлюваних моделях - це процес отримання виливок в оболонковій формі, створеній шляхом застосування вогнетривкого покриття на легкоплавкі моделі. Після виплавлення моделей утворюються порожнини в оболонковій формі, які відповідають формі майбутньої деталі.

Для досягнення високої якості поверхні виливок оболонкові форми піддають кальцінуванню при температурі 900-950°. Під час заливання рідкого металу при цій температурі запобігають деформації та руйнуванню тонкої оболонкової форми, засипаючи її піском або іншим наповнювачем перед випаленням [17].

Лиття по виплавлюваних моделях дозволяє виготовляти виливки різної складності з різною товщиною стінок, які практично не вимагають механічної обробки. Цим

методом лиття можна отримати деталі з будь-яких чорних і кольорових сплавів, включаючи високолеговані жароміцні і надтверді сплави, з точністю розмірів в середньому 4-5 класів і шорсткістю поверхні 5-7 класів [17].

Недоліком цього методу є висока собівартість виливок, тому його слід використовувати лише для виготовлення деталей, які неможливо отримати іншими методами лиття, наприклад, дрібні тонкостінні деталі з важкооброблюваних сплавів із складною конфігурацією. Матеріалом для виготовлення легкоплавких моделей може бути, наприклад, суміш парафіну і стеарину у співвідношенні 1:1.

Процес виготовлення моделей включає підготовку прес-форм, запресовування модельного складу в порожнину форми, витримку до затвердіння, витяг моделі та охолодження її у проточній воді, зачистку і подальшу обробку [17].

Розробка технологічного процесу обробки деталі

В умовах виробництва середнього обсягу важливо використовувати принцип диференціації технологічного процесу, де операції чорнової, чистової, напівчистової і тонкої обробки розділяються і здійснюються на різноманітному обладнанні відповідної точності [20].

Крім цього, механічну обробку можна періодично переривати операціями термічної обробки і контролю. Таким чином, на етапі проектування за допомогою відомчої літератури важливо визначити послідовність методів обробки для кожної поверхні, необхідних для досягнення заданих розмірів та фізико-механічних параметрів поверхонь [20].

Після механічних операцій слід передбачити контрольні етапи, які виконуються на тому ж робочому місці виконавцем.

Після кожної групи подібних операцій рекомендується введення контрольної операції, яку виконує контролер відділу технічного контролю (ВТК).

Таблиця 12.2 - Пропонований технологічний процес

№ операції	Назва операції	Обладнання
1	2	3
005	Заготівельна Лиття по виплавлюва них моделях	Ливарна оснастка
010	Очистка відливки	Гідропіскоструйна камера
015	Вхідний контроль	Стіл ВТК
020	Токарно-гвинторізна	16Р25
020К	Контроль на робочому місці	
025	Токарна з ЧПК	16А20Ф3
025К	Контроль на робочому місці	
030	Токарна з ЧПК	16А20Ф3
030К	Контроль на робочому місці	
035	Вертикально фрезерна	6Р12
035К	Контроль на робочому місці	
040	Розміточна	Кернер, молоток;
045	Довбальна	7А420
1	2	3

045К	Контроль на робочому місці	
050	Слюсарна	Верстак слюсарний
055	Балансування	Станок балансувальний мод.Н4V
060	Токарно-гвинторізна	16Р25
1	2	3
060К	Контроль на робочому місці	
065	Маркувальна	Клейма, молоток
070	Контроль ВТК	Стіл ВТК

Список літератури

1. https://nasostrading.com.ua/ua/g6179612-kondensatnye-nasosy-tipa
2. https://opeks.ua/ua/kondensatni-nasosi/
3. https://ventilator.ua/product/nasos-kondensatnyj-ksv-125-140-1-s-uhl4/
4. https://buklib.net/books/25371/
5. Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 420 с.
6. Краснянський М. Ю. Екологічна безпека: навчальний посібник. – Київ : Видавничий дім «Кондор», 2018. – 180 с.
7. Основи професійної безпеки та здоров’я людини : підручник / В. В. Березуцький [та ін.] ; під ред. проф. В. В. Березуцького. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 553 с.
8. Дегтярьов І. М. Прогресивні технології виготовлення деталей насосного обладнання : навчальний посібник / І. М. Дегтярьов, А. О. Нешта, В. О. Колесник. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 265 с.
9. Кондусь В. Ю. Лопатеві насоси: навчальний посібник / В. Ю. Кондусь, О. І. Котенко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 294 с.
10. Панченко В. О. Експлуатація обладнання насосних станцій : навч. посіб. / В. О. Панченко, В. Ф. Герман, О. В. Івченко та ін.; за заг. ред. В. О. Панченка. – Суми : СумДУ, 2020. – 270 с.
11. Підконтрольна експлуатація обладнання насосних станцій [Електронний ресурс] : конспект лекцій для студ. спец. 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика»). О. Панченко, В. Ф. Герман. – Електронне видання каф. Прикладної гідроаеромеханіки. – Суми : СумДУ, 2020. — 264 с.

12. Ратушний О. В. VI технологічний уклад: перспективи розвитку систем, які передають енергію рідині : монография / О. В. Ратушний. – Суми : Вид-во СумДУ., 2020. – 212 с.
13. Гусак О. Г. Теорія гідромашин : навч. посіб. / О. Г. Гусак, В. О. Панченко. – Суми : СумДУ, 2022. – 158 с.
14. Applied Fluid Mechanics Lab Manual [Електронний ресурс] / H. Ahmari, S. Md. I. Kabir; ed. G. Bowers. — Arlington : Mavs Open Press, 2019. – 104 p.
15. Gulich J F Centrifugal Pumps / Johann Friederich Gulich // Springer Heidelberg Dordrecht London New York. : 2020. – 1116 p.
16. Renewable Energy Devices and Systems with Simulations in MATLAB and ANSYS. Frede Blaabjerg, Dan M. Ionel / Taylor & Francis Group – 415 p.
17. Краснянський М. Ю. Енергозбереження: навчальний посібник / М. Ю. Краснянський. – Київ : Видавничий дім «Кондор», 2018. – 136 с.
18. Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера : монографія / за заг. ред.: О. М. Теліженка, М. І. Сотника. – Суми : Мрія-1, 2018. – 336 с.
19. Енергетичний інжиніринг та менеджмент: в 3-х ч. Ч. І. Проектування ефективних енергетичних систем / П. Г. Плєшков, С. В. Серебренніков, О. І. Сіріков, І. В. Савеленко. – МОН, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 156 с.
20. Основи енерго- і ресурсозбереження: навчальній посібник / Г. І. Канюк, Т. М. Пугачова, В. Ф. Без’язичний, О. М. Близниченко, Д. І. Шматков. – Харків : друкарня «Мадрид», 2019. – 230 с.
21. Каталог консольних насосів К [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ueck.ru/catalog/nasosy/konsolnye_k-item/.
22. ДСТУ 3063-95. Насоси. Класифікація. Терміни та визначення.
23. ДСТУ 4132-2002. Насоси відцентрові загальнопромислового застосування. Вимоги до проектування, виготовлення, постачання, монтажу та експлуатації. Звід правил.