

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему

Розробка відцентрового насоса на параметри $Q = 50 \text{ м}^3/\text{год}$, $H = 130 \text{ м}$

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

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

Виконавець роботи

Омеляненко Мирослав Владиславович
прізвище, ім'я, по батькові

підпис, дата

Науковий керівник

к.т.н., доцент
науковий ступінь, учене звання

Ратушний Олександр Валерійович
прізвище, ім'я, по батькові

підпис, дата

Суми 2023

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

Спеціальність 131–«Прикладна механіка»
Освітня програма «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Прикладної гідроаеромеханіки
_____ Сотник М.І.
“ ___ ” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
до випускної роботи бакалавра студенту

Омеляненко Мирославу Владиславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка відцентрового насоса на параметри $Q=50 \text{ м}^3/\text{год}$,
 $H=130 \text{ м}$ »

затверджена наказом по університету від ___ " ___ " _____ 20 __ р. № _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи – 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту:

подача насоса $Q = 50 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H = 130 \text{ м}$, частота обертів
 $n = 3000 \text{ об/хв.}$, 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 відповідного 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 вала, креслення насосного агрегата.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Найменування етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика відцентрових насосів	до 25.05.2022	
2	Вибір конструктивної схеми насоса		
3	Опис конструкції вибраного насоса		
4	Гідравлічні розрахунки		
5	Теоретичне креслення робочого колеса		
6	Виконання розділу «Охорона праці»		
7	Оформлення звіту з практики		
8	Розрахунки з вибору електродвигуна	до 1.05.2022	
9	Розрахунок кінцевого ущільнення		
10	Розрахунки на міцність		
11	Розрахунки з вибору підшипників		
12	Креслення робочого колеса	до 6.05.2022	
13	Складальне креслення насоса	до 15.05.2022	
14	Монтажне креслення насоса	до 22.05.2022	
15	Оформлення ПЗ та графічних матеріалів	до 27.05.2022	
16	Представлення роботи керівнику. Внесення поправок.	до 1.06.2022	
17	Перевірка роботи на плагіат.	до 10.06.2022	
18	Час для попереднього захисту. Підготовка доповіді до захисту.	до 13.06.2022	
19	Розміщення роботи в репозитарій. Отримання рецензії.	до 14.06.2022	
20	Захист роботи в ЕК (згідно графіка захисту).	19-20.06.2022	

Дата видачі завдання - 01.02.2023 р.

Студент

Омелянко М. В.

Керівник

Ратушний О. В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка, виконана згідно [1]: 86 с., 19 рисунків, 5 таблиць, додатки, 7 літературних джерел.

Графічні матеріали: 6 листів формату А1: загальна компоновка насоса (розріз), ротор в сборі, геометрія проточної частини робочого колеса, креслення робочого колеса, креслення валу.

Мета роботи – розробка насоса відцентрового типу на параметри $Q=50$ м³/год, $H=130$ м, $n=3000$ об/хв.

Відповідно до поставленої мети було:

- проведено аналіз і обрана оптимізаційна конструктивна схема насоса;
- виконано гідравлічні розрахунки проточної частини насоса, що проектується (робоче колесо, відвод);
- виконано розрахунки на міцність вала і шпонкового з'єднання;
- проведений розрахунок та вибір підшипників, ущільнень;
- вибрано електродвигун і побудовано його пускову моментну характеристику.

Ключові слова: насос, робоче колесо, відвідний пристрій, міцність.

У розділі охорони праці розглянуто всі види небезпечних травм на місцях експлуатації насосного обладнання, та принципи забезпечення безпеки робочого персоналу.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ

ВСТУП	4
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСІВ ТИПУ К	6
2. ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ НАСОСА	10
3. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ НАСОСА	11
4. ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ	13
4.1 Визначення основних розрахункових даних	13
4.2 Проектування робочого колеса	13
4.2.1 Визначення основних геометричних параметрів	14
4.2.2 Визначення діаметра вхідної кромки	17
4.2.3 Визначення геометричних параметрів виходу з РК	20
4.2.4 Методика побудови меридіанного перерізу	24
4.2.5 Профілювання лопат	28
4.2.6 Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції робочого колеса	34
4.2.7 Проектування робочого колеса II ступеня	36
4.3 Розрахунок об'ємних та механічних витрат енергії. Уточнення об'ємного, механічного та повного коефіцієнта корисної дії	38
4.3.1 Об'ємні витрати	38
4.3.2 Механічні витрати	43
4.4 Розрахунок гідродинамічних сил	46
4.4.1 Осьові сили, що діють на ротор	46
4.4.2 Радіальна сила	50
4.5 Розрахунок насоса на кавітацію	51

5.	РОЗРАХУНОК ВИБОРУ ПРИВОДА НАСОСА. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА	52
6.	РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ	54
6.1	Розрахунок вала	54
6.1.1	Розрахунок реакцій в опорах	54
6.2	Розрахунок шпонкового з'єднання	58
6.2.1	Розрахунок на міцність шпонкового з'єднання вала з колесом	58
6.2.2	Розрахунок на міцність шпонкового з'єднання вала з напівмуфтою	60
7.	ВИБІР ПІДШИПНИКІВ ТА РОЗРАХУНОК НА ДОВГОВІЧНІСТЬ	62
8.	РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	64
8.1	Дія електричного струму на організм людини	64
8.2	Види електричних травм. Причини летальних наслідків	66
8.3	Допустимі значення струмів і напруг	72
8.4	Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом	73
8.5	Безпечна експлуатація установок. Умови ураження людини струмом при доторканні до струмовідвідних частин електромереж	74
8.6	Тезнічні способи та засоби захисту	75
8.6.1	Ізоляція струмовідвідних частин	75
8.7	Тезнічні способи та засоби захисту при переході напруги на нормально неструмовідвідні частини електроустановок	78
8.8	Електрозахисні засоби та запобіжні пристосування	80
8.9	Організаційні та технічні заходи електробезпеки	82
8.10	Надання першої медичної допомоги при ураженні електричним струмом	84
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	87

ВСТУП

Консольні насоси є одним з видів насосів, які використовуються для перекачування рідини з однієї точки до іншої. Вони називаються "консольні" через свою конструкцію, яка дозволяє підвісити їх на стіну або підтримуючу конструкцію. Це робить їх досить зручними для використання в обмежених просторах.

Вони можуть мати різні типи статорів, такі як "прямий потік", "радіальний потік" або "аксіальний потік". Кожен з цих типів статорів має свої переваги та недоліки залежно від конкретних вимог і умов застосування.

Ці насоси використовуються в багатьох галузях, включаючи промисловість, сільське господарство та будівництво. Вони зазвичай використовуються для перекачування рідин, таких як вода, нафта, хімічні розчини та інші

Консольні насоси (типу К) випускають з параметрами:

$$Q = 8,6 - 288 \text{ м}^3/\text{год}; \quad H = 8,7 - 110 \text{ м}; \quad n = 1450 - 3000 \text{ об/хв.}$$

Це найбільш розповсюджена група насосів, призначена для перекачування чистих або злегка забруднених, хімічно нейтральних, не в'язких рідин з температурою до 100°C .

Основні деталі таких насосів виготовляються з сірого чавуну і вуглецевої сталі. Для швидкозношуваних деталей іноді застосовують хромисту і леговану сталі.

Базовою деталлю насоса є опорний кронштейн, в якому на кулькових підшипниках встановлюють вал. До кронштейну шпильками кріплять спіральний корпус, напірний патрубок якого направлений вертикально в гору. При необхідності патрубок можна повернути на кут 90°, 180° та 270° від нормального положення. В корпусі виконують отвори для випуску повітря, зливу води та приєднання манометрів.

На консольному кінці вала кріплять робоче колесо. З боку вихідної воронки колеса корпус закривають кришкою з вхідним патрубком, забезпечуючи осьовий підвід рідини до робочого колеса.

Кінцеве ущільнення сальникового типу, яке при необхідності можливо замінити на торцеве. Незначні осьові зусилля сприймаються кульковими підшипниками. Плаваючий підшипник зі сторони насоса сприймає тільки радіальне навантаження, а зафіксований з боку муфти кульковий підшипник – радіальне та осьове навантаження. Для врівноваження осьового зусилля в

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

насосах потужністю більше ніж 10 кВт виконують розвантажувальні отвори в робочому колесі. Насос з електродвигуном встановлюють на загальній фундаментальній плиті та з'єднують пружною муфтою.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСІВ ТИПУ К

Групу насосів для холодної й гарячої води **типу К** - прийнято називати консольними насосами. Консольні - це класифікаційна ознака насосів по конструктивному виконанню, до яких відносяться різні по типу рідини, що перекачуються, насоси (НК - нафтові консольні, Гр - ґрунтові, ПР - піскові, Х, АХ - хімічні і т.д.). Напрямок обертання – за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку електроприводу. У конструкції насосів передбачені отвори для відведення протікання води через сальникове (торцеве) ущільнення. [1]

Відцентрові насоси з однобічним підведенням рідини до робочого колеса, яке розташоване на кінці вала електродвигуна. Завдяки своїй конструкції ці насоси широко застосовуються у всіх галузях промисловості, комунальному й сільському господарстві, де необхідний розв'язок завдань водопостачання, опалення, водовідведення та ін. Загальний вид насоса типу К показаний на рис. 1.1.

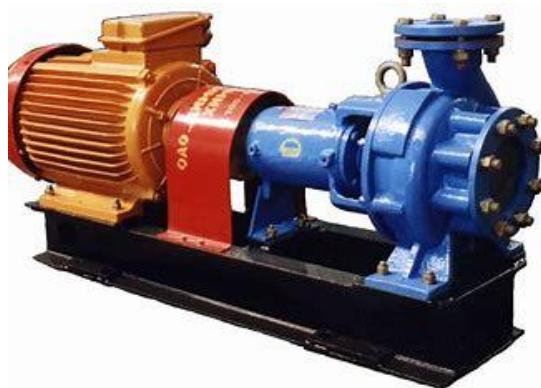


Рисунок 1.1 – Відцентровий насос типу К [2]

Насоси серії К призначені для роботи в стаціонарних умовах і перекачування чистої води з водневим показником рН у межах від 6 до 9, в умови температур від 5 до 85°C. Також ці насоси застосовуються для перекачування інших рідин, подібних з водою по хімічній активності, в'язкості і густині.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Консольні насоси, які застосовуються для перекачування хімічних рідин різної активності, замість К позначаються як Х, АХ, АХО і т.д. В рідинах, що транспортуються консольними насосами типу К, допускається вміст твердих часток до 0,1 % і розміром до 0,2 мм. На рис. 1.2 наведений розріз насоса К

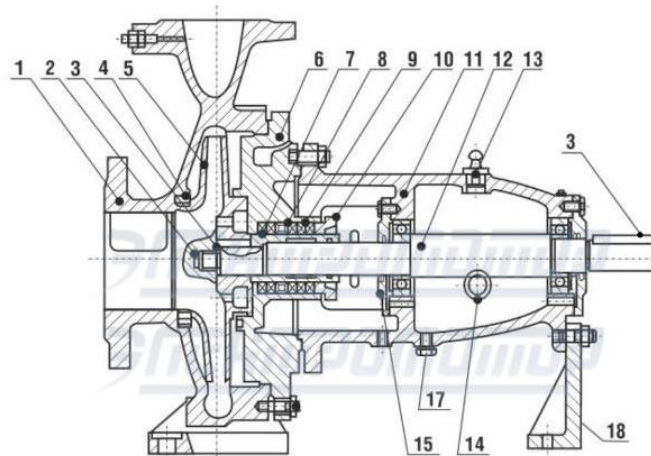


Рисунок 1.2 – Конструкція насоса типу [2] : 1 - корпус насоса, 2 - робоче колесо, 3 - корпус ущільнення, 4 - ущільнення (сальникове або торцеве), 5 - кришка ущільнення, 6 - кронштейн, 7 - вал, 8 - муфта

Консольні насоси типу К виготовляються в двох виконаннях: одноступінчасті та багатоступінчасті:

- Одноступінчасті насоси мають один робочий елемент (ступінь) та призначені для перекачування рідин зі сталою в'язкістю. Ці насоси зазвичай використовуються для водопостачання, вентиляції, кондиціонування повітря та систем опалення.

- Багатоступінчасті насоси мають декілька робочих елементів (ступенів) та призначені для перекачування рідин з високою в'язкістю та високим тиском. Ці насоси зазвичай використовуються в системах зрошення, пожежогасіння, а також в нафтовій, газовій та хімічній промисловості.

Обидва виконання консольних насосів типу К мають високу ефективність та низький рівень шуму, що робить їх ідеальним вибором для використання в різних умовах.

Основним конструктивним елементом насоса є робоче колесо (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Робоче колесо відцентрового насоса [3]

Призначення робочого колеса – передача рідині енергії, яка підводиться до вала насоса. Робоче колесо складається з двох дисків, між якими знаходяться лопатки. Лопатки загнуті назад за напрямом обертання колеса і утворюють проточні канали. Звичайно робочі колеса виливають як одне ціле з лопатками. Лопаток в колесі є від 6 до 12, найчастіше 6...8, рідко менше 6. В залежності від входу рідини в канали робочого колеса відрізняють робочі колеса з одностороннім та двостороннім входом. [4]

Закриті робочі колеса є одним із типів робочих коліс, що використовуються в насосах. Ці колеса мають закриту конструкцію зі стінками, які оточують лопаті або крила насосного колеса з усіх боків.

Основна перевага закритих робочих коліс полягає в тому, що вони зменшують можливість забруднення та пошкодження насосного колеса. Також, ці колеса допомагають зменшити втрати енергії від турбулентної струмини, що може знизити ефективність насоса.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Закриті робочі колеса часто використовуються в насосах для перекачування чистої води, водопостачання та системах опалення. Однак, у випадках, коли потрібно перекачувати рідини з великою кількістю твердих частинок, закриті робочі колеса можуть бути менш ефективними, оскільки стінки колеса можуть перешкоджати руху твердих частинок.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ НАСОСА

Вихідні данні: подача $Q = 50 \text{ м}^3/\text{год}$; напір $H = 130 \text{ м}$.

Параметри запропоновані до розробки насоса відповідають ряду одноступінчастих насосів типу К [1]. Відповідно до цього обираємо одноступінчастий насос з закритим робочим колесом.

Для вибору частоті обертання насоса, розрахуємо коефіцієнт швидкохідності [1]:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}, \quad (1.1)$$

де n – частота обертання вала, об/хв. ;

Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{год}$;

H – напір насоса, м.

Кількість ступенів і потоків для проектованого насоса дорівнює 1.

При $n = 3000 \text{ об/хв}$:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 3000 \cdot \sqrt{50}}{60 \cdot 130^{\frac{3}{4}}} = 56,19$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

3 ОПИС КОНСТРУКЦІ НАСОСА

Насос К 50 – 130 – відцентровий, консольний з осьовим підводом перекачуваної рідини.

Базовою деталлю насоса є литий корпус зі спіральним відводом, напірний патрубок якого направлений вертикально в гору.

Опірні лапи насоса в нижній частині корпуса.

Основними складальними одиницями насоса являються корпус та виймальна частина.

Виймальна частина являє собою самостійну складальну одиницю, дозволяючи проводити її ремонт не від'єднуючи її від корпуса від відповідного та підвідного трубопроводів.

До складу виймальної частини входять: кронштейн, корпус сальника, робоче колесо, вал, напівмуфта насоса, ущільнення вала та кріпильні вироби.

В ущільненні вала використана м'яка сальникова набивка марки АГИ за ГОСТ 5152-84 .

Зажимання набивки в процесі експлуатації здійснюється за допомогою втулки, що складається з двох частин та зажимного фланця. Кільце захищає набивку від видавлювання в порожнину розвантажувальної камери.

Для виключення підсмоктування повітря в порожнину насоса при тиску на вході нижче за атмосферний, для створення нормальних умов його праці до сальника необхідно підводити запираючу воду. Місце підвода води закрите.

Розвантаження ротора від осьових гідравлічних сил забезпечується вибором щілинного ущільнення на тильній стороні основного диска робочого колеса. Відвід рідини з розвантажувальної камери здійснюється через отвори в колесі.

Залишкові зусилля сприймаються підшипниками кочення, які являються опорами ротора.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Напрямок обертання ротора насоса – за годинниковою стрілкою, якщо дивитися зі сторони приводу. Передача крутного моменту здійснюється пружної втулково-пальчикової муфти.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ

4.1 Визначення основних розрахункових даних

Вихідні данні: подача $Q = 50$ м³/год; напір $H = 130$ м; частота обертання $n = 3000$ об/хв.; густина перекачуваної рідини $\rho = 1000$ кг/м³.

Коефіцієнт швидкохідності насоса

$$n_s = 34 < 100$$

4.2 Проектування робочого колеса

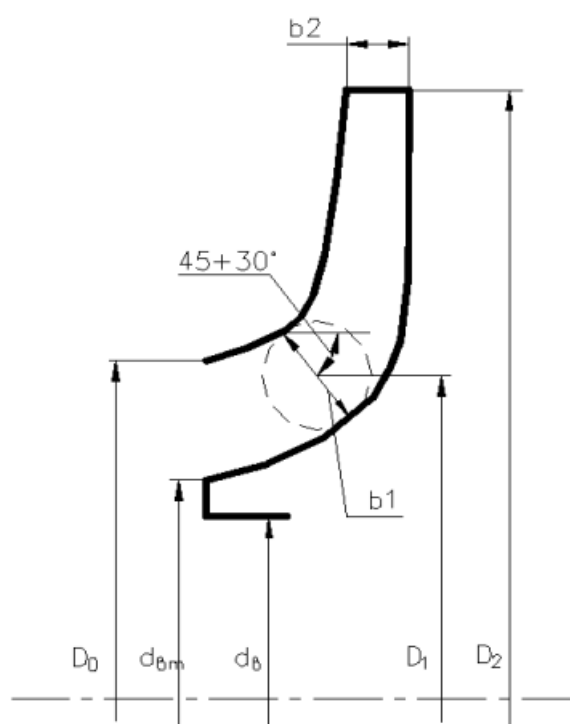


Рисунок 1 – Основні геометричні параметри робочого колеса

Вихідні данні:

Подача: $Q = 50$ м³/год

Напір: $H = 130$ м

Частота обертів ротора: $n = 3000$ об/хв

Число ступенів - $i = 1$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

4.2.1 Визначення основних геометричних параметрів

Визначення коефіцієнта швидкохідності:

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

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 3000 \cdot \sqrt{0.0138}}{(65)^{3/4}} = 56,19$$

Напір ступені

$$H_{ст} = \frac{H}{i} \quad 4.2$$

$$H_{ст} = \frac{130}{2} = 65 \text{ м}$$

Визначення приведенного діаметра робочого колеса визначається за формулою Д.Я. Суханова

$$D_{1пр} = K_{вх} \cdot 3 \sqrt{\frac{Q}{n}} \quad 4.3$$

Де $K_{вх} = 5,45$ – коефіцієнт вхідної воронки робочого колеса

Приймаємо $K_{вх} = 5,45$ для проміжних ступенів насоса

$$D_{1пр} = 5,45 \cdot 3 \sqrt{\frac{50}{3000 \cdot 3600}} = 0,09 \text{ м.}$$

Визначення повного ККД насоса:

Об'ємний ККД визначається за формулою А.А. Ломакіна:

$$\eta_0 = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot n_s^{-\left(\frac{2}{3}\right)}} \quad 4.4$$

$$\eta_0 = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 56,19^{-\left(\frac{2}{3}\right)}} = 0,955$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Гідравлічний ККД визначається по формулі А.А. Ломакіна

$$\eta_{\Gamma} = \frac{0,42}{(\log D_{1np} - 0,172)^2} \quad 4.5$$

$$\eta_{\Gamma} = \frac{0,42}{(\log 0,09 - 0,172)^2} = 0,714$$

Внутрішній механічний ККД визначається по формулі А.А. Ломакіна

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{1}{1 + 820 \cdot n_s^{-2}} \quad 4.6$$

$$\eta_{\text{мех}''} = \frac{1}{1 + 820 \cdot 56,19^{-2}} = 0,793$$

Зовнішній механічний ККД задаємося $\eta_{\text{мех}} = 0,95 \dots 0,99$.

Приймаємо $\eta_{\text{мех}} = 0,99$

Повний ККД насоса:

$$\eta = \eta_0 \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{мех}''} \cdot \eta_{\text{мех}} \quad 4.7$$

$$\eta = 0,955 \cdot 0,714 \cdot 0,793 \cdot 0,99 = 0,535$$

Визначення подачі робочого колеса:

$$Q_{\text{рк}} = \frac{Q'}{\eta_0} \quad 4.8$$

$$Q_{\text{рк}} = \frac{0,0138}{0,955} = 0,014 \text{ м}^3/\text{с}$$

Теоретичний напір робочого колеса:

$$H_T = \frac{H_{CT}}{\eta_{\Gamma}} \quad 4.9$$

$$H_T = \frac{65}{0,714} = 91 \text{ м}$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Потужність споживана насосом:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta} \quad 4.10$$

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 130 \cdot 0.0138}{0,535} = 32895 \text{ Вт} = 32,89 \text{ кВт}$$

Визначення максимальної потужності на валу насоса:

$$N_{max} = N \cdot 1,1 \quad 4.11$$

$$N_{max} = 32,89 \cdot 1,1 = 36,17 \text{ кВт}$$

Визначення діаметру валу під робочим колесом, м визначається із розрахунку на кручення по формулі:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M}{\pi \cdot (\tau)}} \quad 4.12$$

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

$[\tau]$ - занижене допустиме навантаження на кручення, Па

Крутний момент на валу насоса:

$$M = \frac{30 \cdot N_{max}}{\pi \cdot n} \quad 4.13$$

$$M = \frac{30 \cdot 36173}{3,14 \cdot 3000} = 115,2 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Допустиме навантаження на кручення приймаємо:

$$(\tau_k) = 10 \text{ МПа}$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 115,2}{3,14 \cdot 15 \cdot 10^6}} = 0,033(\text{м})$$

Отримане значення діаметра округляють згідно ГОСТ 12080-66.
Приймаємо $d_B = 36$ мм.

Визначення діаметра втулки за формулою:

$$d_{BT} = (1,1 \div 1,4) \cdot d_B \quad 4.14$$

$$d_{BT} = 1,35 \cdot 0,036 = 0,0486(\text{м})$$

Приймаємо $d_{BT} = 50$ мм

Діаметр вхідної воронки робочого колеса визначається за формулою:

$$D_{1пр} = \sqrt{D_0^2 - d_{BT}^2} \quad 4.15$$

$$D_0 = \sqrt{D_{1пр}^2 + d_{BT}^2} = \sqrt{0,09^2 + 0,050^2} = 0,102 (\text{м})$$

Швидкість потоку на вході в робоче колесо знаходять з рівняння нерозривності:

$$V_0 = \frac{4 \cdot Q_{PK}}{\pi \cdot D_{1пр}^2} \quad 4.16$$

$$V_0 = \frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 0,09^2} = 2,2 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

4.2.2 Визначення діаметра вхідної кромки

Визначимо орієнтовне значення діаметра положення вхідної кромки

$$D_1 = 0,8 \cdot D_0 \quad 4.17$$

$$D_1 = 0,0816$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

У першому наближенні меридіанну складову швидкості V_{1m} без урахування стиснення потоку лопатями беруть такою, що дорівнює V_0 .

При вході потоку на лопать меридіанна складова абсолютної швидкості визначається виразом:

$$V_{1m} = k_1 \cdot V_{1m} \quad 4.18$$

де $k_1 = 1,15 - 1,30$ - коефіцієнт стиснення потоку на вході.

Прийmemo $k_1 = 1,2$

$$V_{1m} = 1,2 \cdot 2,2 = 2,64 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Кут потоку на вході, град, розраховують з трикутника швидкостей за формулою

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1u}} \quad 4.19$$

де U_1 - переносна швидкість на вході у робоче колесо, м/с;

V_{1u} - колова складова абсолютної швидкості на вході у робоче колесо, м/с.

У консольних та відцентрових насосах $V_{1u} = 0$.

Переносна швидкість:

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} \quad 4.20$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,0816 \cdot 3000}{60} = 12,8 \text{ м/с}$$

Кут потоку на вході:

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{2,64}{12,8} = 11,64^\circ$$

Кут нахилу лопаті на вході у робоче колесо, град:

$$\beta_1 = \beta_{1П} + \Delta\beta \quad 4.21$$

де $\Delta\beta = 3-8^\circ$ - кут атаки, вводиться з метою зменшення гідравлічних втрат в області робочого колеса та покращання його кавітаційних властивостей. У деяких випадках кут атаки $\Delta\beta$ може бути збільшений до 15° Приймаємо $\Delta\beta = 7$

$$\beta_1 = 11,64 + 7 = 18,64^\circ$$

Більшість відцентрових насосів всіх розмірів та коефіцієнтів швидкохідності з високими техніко-економічними показниками має число лопатей $z = 5-8$.

Товщину лопаті робочого колеса вибирають з технологічних міркувань (залежно від матеріалу робочого колеса, його розмірів та технологічних ливарних можливостей підприємства). Орієнтовно можна взяти товщину лопаті на вході у робоче колесо $s_1 = 2 - 10$ мм при $D_1 = 150-500$ мм.

Товщина лопаті на виході з робочого колеса s_2 часто береться такою, що дорівнює s_1 , а до середини лопаті плавно зростає. Приймаємо кількість лопатей $z = 7$, товщина лопаті на вході у робоче колесо $s_1 = 4$ мм.

Уточнення коефіцієнта стиснення потоку після вибору числа лопатей та їх товщини уточнюють значення k_1 за формулою

$$k_1 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot s_1}{2\pi \cdot D_1 \cdot \sin\beta_1}} \quad 4.22$$
$$k_1 = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 0,004}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0816 \cdot \sin 18,64^\circ}} = 1,206$$

Повинна бути забезпечена умова

$$|k_1 - 1,2| \leq 0,01.$$

$$|1,206 - 1,2| = 0,006 \leq 0,01$$

Умова виконується.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Ширину робочого колеса на вході знаходять з виразу:

$$b_1 = \frac{Q_{\text{рк}}}{\pi D_1 V_{1m}} \quad 4.23$$

$$b_1 = \frac{0,014}{3,14 \cdot 0,0816 \cdot 2,64} = 0,020 \text{ (м)}$$

4.2.3 Визначення геометричних параметрів виходу з РК

Попереднє значення зовнішнього діаметра робочого колеса (при нескінченному числі лопатей z) може бути визначене спрощено з основного рівняння роботи лопатевих насосів. Беремо у першому наближенні $V_{1u} = 0$ і $V_{2u} = 0,5U_2$.

Діаметр на виході з робочого колеса:

$$D_2' = m_2 \frac{\sqrt{2gH}}{n} \quad 4.24$$

де $19,1 m_2 =$ при $n_s \leq 100$

$$D_2' = 19,1 \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 65}}{3000} = 0,227 \text{ (м)}$$

Кінцеве значення D_2 визначають з урахуванням поправки на кінцеве число лопатей.

Меридіанна швидкість без урахування стиснення на виході з робочого колеса

$$V_{2m}' = (0,5 - 1,0)V_{1m}' \quad 4.25$$

$$V_{2m}' = 1,0 \cdot 2,2 = 2,2 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Меридіанна швидкість з урахуванням стиснення на виході з робочого колеса

$$V_{2m} = V_{2m}' \cdot k_2 \quad 4.26$$

де $k_2 = 1,05 - 1,15$ - коефіцієнт стиснення потоку на виході з робочого колеса.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$V_{2m} = 2,2 \cdot 1,15 = 2,53 \text{ м/с}$$

Кут на виході з робочого колеса β_2 визначають з трикутника швидкостей

$$\beta_2 = \arcsin \left[\left(\frac{W_1}{W_2} \right)_{\text{опт}} \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{V_{2m}}{V_{1m}} \cdot \sin \beta_1 \right] \quad 4.27$$

де $\left(\frac{W_1}{W_2} \right)_{\text{опт}}$ – оптимальний степінь дифузорності залежить від n_s та визначається за наступною формулою:

$$\left(\frac{W_1}{W_2} \right)_{\text{опт}} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot n_s + 2,65 \quad 4.28$$

$$\left(\frac{W_1}{W_2} \right)_{\text{опт}} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot 56,19^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot 56,19 + 2,65 = 1,85$$

$$\beta_2 = \arcsin \left[1,85 \cdot \frac{1,15}{1,206} \cdot \frac{2,53}{2,64} \cdot \sin 18,64^\circ \right] = 32,707^\circ$$

Уточнений зовнішній діаметр робочого колеса знаходиться з виразу

$$D_2 = \frac{60U_2}{\pi \cdot n} \quad 4.29$$

де U_2 - колова швидкість на виході з робочого колеса.

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{V_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + q H_{T\alpha} + V_{1U} U_1} \quad 4.30$$

де V_{2m} - меридіанна швидкість на виході з урахуванням стиснення;

$H_{T\alpha}$ - теоретичний напір при нескінченному числі лопатей.

$$H_{T\alpha} = \frac{H}{\eta_r K_z} \quad 4.31$$

Поправку K_z на кінцеве число лопатей визначаємо за формулою Пфлейдерера:

$$K_z = \frac{1}{1+p} \quad 4.32$$

де K_z - поправка на кінцеве число лопатей.

Де

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

$$p = 2 \frac{\psi}{z} \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}$$

Коефіцієнт Ψ визначається залежно від n_s :

$$\psi = (0,55 - 0,65) + 0,6 \sin \beta_2 \quad 4.33$$

$$\psi = 0,6 + 0,6 \sin 32,707^\circ = 0,924$$

$$p = 2 \frac{0,924}{7} \frac{1}{1 - \left(\frac{0,0816}{0,227}\right)^2} = 0,303$$

Поправка на кінцеве число лопатей за формулою

$$K_z = \frac{1}{1 + 0,303} 0,767$$

Теоретичний напір при нескінченному числі лопатей за формулою

$$H_{T\infty} = \frac{65}{0,714 \cdot 0,767} = 118,69(\text{м})$$

Визначасмо колову швидкість на виході із РК:

$$U_2 = \frac{2,53}{2 \operatorname{tg} 32,707^\circ} + \sqrt{\left(\frac{2,53}{2 \operatorname{tg} 32,707^\circ}\right)^2 + 9,81 \cdot 118,69 + 0} = 36,14 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Уточнений зовнішній діаметр РК за формулою:

$$D_2 = \frac{60 \cdot 36,14}{3,14 \cdot 3000} = 0,23(\text{м})$$

Визначивши, $s_2 = s_1 = 4$ мм та $D_2 = 0,23$ м уточнюємо коефіцієнт стиснення потоку на виході з робочого колеса:

$$k_2 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot s_2}{\pi \cdot D_2 \cdot \sin \beta_2}} \quad 4.34$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$k_2 = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 0,004}{3,14 \cdot 0,23 \cdot \sin 32,707^\circ}} = 1,07$$

При цьому повинна бути забезпечена умова $|k_2 - k_2| \leq 0,01$. $|1,14 - 1,15| = 0,01 \leq 0,01$ - умова виконується.

Ширину робочого колеса на виході знаходять з виразу:

$$b_2 = \frac{Q_{p.k}}{\pi D_2 V_{2m}}$$

$$b_2 = \frac{0,014}{3,14 \cdot 0,23 \cdot 2,53} = 0,0076 \approx 0,008(\text{м})$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

4.2.4 Методика побудови меридіанного перерізу

Контури меридіанного перерізу знаходимо методом послідовних наближень.

Намічаємо попередньо «на око» контури перерізу.

Для того щоб з'ясувати характер зміни площі нормального перерізу проточної частини колеса для наміченого меридіанного перерізу, необхідно побудувати графік $F = f(l)$ де l - відстань вздовж середньої лінії меридіанного перерізу колеса від входу до виходу. При цьому робимо так: у намічений меридіанний переріз колеса вписуємо тонкими лініями від входу до виходу 8–10 кіл. У зоні повороту потоку кола розташовуємо густіше. Центр першого кола розміщується на лінії, проведеної перпендикулярно до осі колеса через точку, розміщену на відстані l від центра дуги радіусом R_1 . Центр останнього кола розміщується на лінії, що визначається зовнішнім діаметром колеса.

З'єднуючи центри вписаних кіл плавною лінією, отримуємо середню геометричну лінію меридіанного перерізу. Центри вписаних кіл нумеруємо цифрами 1, 2, 3, ... від входу до виходу.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

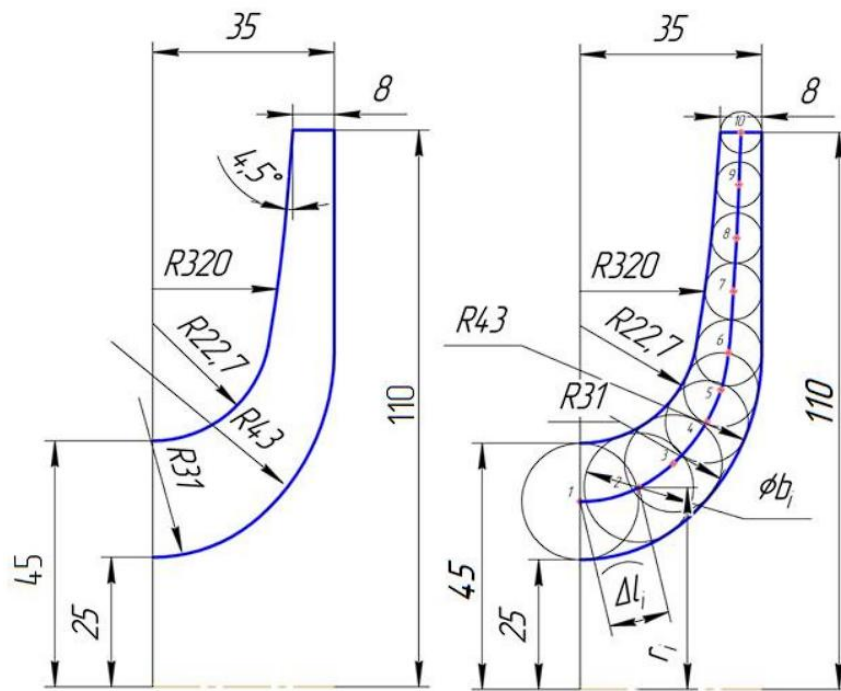


Рисунок 4.1 – Меридіанний переріз робочого колеса

Обчислюємо площі нормальних перерізів:

- початкового (на вході у робоче колесо):

$$F_{\text{вх}} = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_{\text{вт}}^2) \quad 4.35$$

$$F_{\text{вх}} = \frac{3,14}{4} (0,09^2 - 0,04^2) = 0,005102$$

- кінцевого (на виході з колеса):

$$F_{\text{вих}} = \pi D_2 b_2 \quad 4.36$$

$$F_{\text{вих}} = 3,14 \cdot 0,23 \cdot 0,008 = 0,005777$$

- проміжних:

$$F_i = 2\pi r_i b_i \quad 4.37$$

Де r_i - відстань від осі колеса до центра вписаного кола;

b_i - діаметр вписаного кола.

Величини r_i та b_i визначаються з креслення.

Результати обчислень зводяться до таблиці 4.1.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Таблиця 4.1 – Результати обчислень

№	$r_i, \text{мм}$	$b_i, \text{мм}$	$l_i, \text{мм}$	$F_i, \text{мм}$
1	36,25	22,5	0	5102
2	39,04	21,02	11,83	5156,53
3	44,79	17,98	21,24	5183,96
4	52,45	15,69	30,92	5245,89
5	55,84	14,95	36,93	5339,89
6	66,31	12,52	45,48	5496,78
7	77,13	10,9	56,16	5589,23
8	87,46	9,66	66,51	5699,41
9	97,74	8,75	76,8	5735,12
10	110	8	86,56	5777

За даними таблиці 4.1 будемо графік $F = f(l)$.

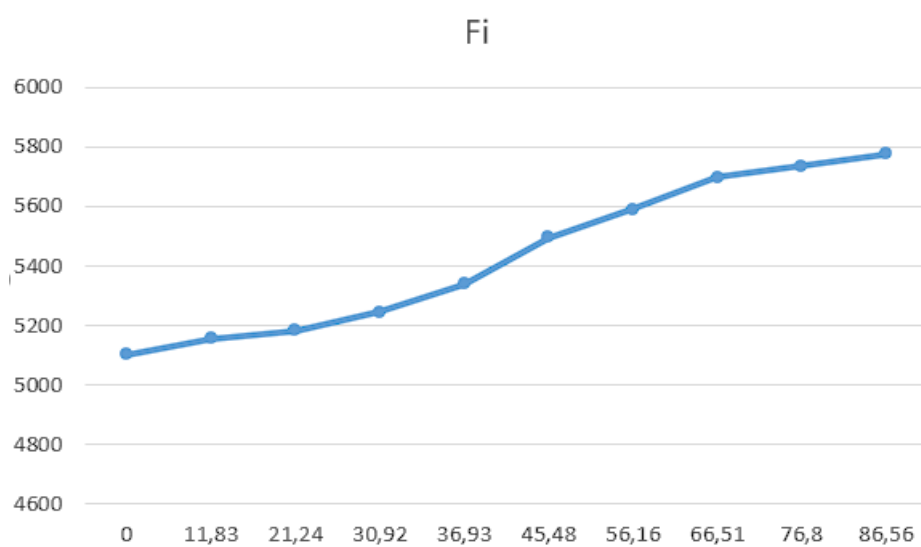


Рисунок 4.2 – Графік зміни площ меридіанного перерізу робочого колеса

При проектуванні РК одержала схема поширення рівношвидкісного потоку, по якій меридіанна швидкість ϑ_M приймається постійною уздовж нормалі.

Практика доводить, що розрахунок РК при $\vartheta_M = \text{const}$ уздовж нормалі досить добре забезпечує задані параметри. Розрахункові лінії струму необхідно проводити таким чином, щоб вони поділяли меридіанний перетин РК на ділянки, по яких протікала би однакова витрата енергії. Кількість таких ділянок залежить від n_c . При $n_c < 100$: $k=2$; $n=3$, де k – кількість потоків; n – кількість ліній струму.

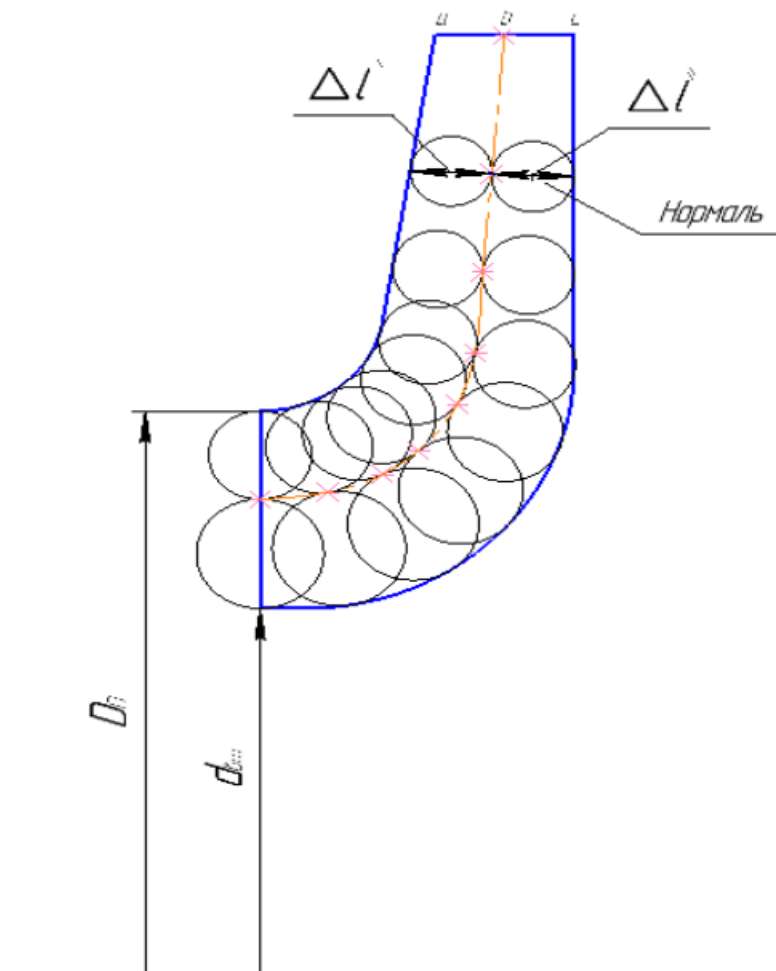


Рисунок 3 – Побудова лінії току

4.2.5 Профілювання лопаті

Найбільш розповсюджений спосіб профілювання лопатей – метод конформного відображення поверхні струму на поверхню обертання, що розгортається.

Профілювання лопаті здійснюється в наступній послідовності:

- будують конформну сітку на розгорненні циліндра і конформне відображення координатної сітки на поверхні струму;
 - профілюють поверхні лопаті на розгорненні циліндра;
 - будують меридіанний перетин поверхні лопаті на меридіанній поверхні РК і лопаті в плані.
- Сітка на розгорненні циліндра, що відображає, утвориться системою вертикальних і горизонтальних ліній (меридіанів і паралелей), проведених з відстанню між ними відповідно ΔS і ΔL

$$\Delta L = \frac{R_{к.ц}}{C} = const \quad 4.38$$

Де $R_{к.ц}$ - радіус конформного циліндра, приймаємо 150мм.

C - константа, приймаємо 10

$$\Delta L = \frac{150}{10} = 15 \text{ мм} \quad 4.39$$

$$\Delta S = \frac{R_{к.ц} \cdot 3,14}{180} \cdot 10 = 26,2 \text{ мм}$$

Координатна сітка необхідна для встановлення взаємозв'язку між відповідними точками поверхні течії та конформної діаграми. Приймаємо $R_{к.ц} = 110$ мм; $\Theta = 110^\circ$; $\Delta\varphi = 10^\circ$. Розміри ΔS та ΔL визначаємо за формулами:

$$S = \frac{\Theta}{\Delta\varphi} \cdot \Delta S = \frac{110}{10} \cdot 26,2 = 288,2 \text{ мм}$$

Маємо всі дані для побудови координатної сітки.

Будуємо конформне відображення на поверхні струму:

а – покриваючий диск;

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

c – середньовитратна лінія струму;

b – основний диск

На відрізку ΔL за умовами конформності:

$$\frac{r_{cp_i}}{b} = \frac{R_{к.ц}}{\Delta L} = 10 = const \quad 4.40$$

Де r_{cp_i} - відстань від осі колеса до середини відрізка l

Розрахунок по розбивці ліній току на відрізки проводимо в табличній формі.

Таблиця 4.3 — Розбивка середньої лінії течії ($l_{1-11} = 69,853$ мм)

Номер	$r_{inq}, \text{мм}$	1	$r_{inq}, \text{мм}$	2	$r_{inq}, \text{мм}$	3	$\Sigma \Delta l$
		наближення		наближення		наближення	
		$\Delta l'$		$\Delta l''$		$\Delta l'''$	
1	$r_1 = R_2 = 110$	11	102,54	10,25	102,8	1028	69,853
2	$r_2 = 97,87$	9,787	92,51	9,251	92,72	9,272	
3	$r_3 = 88,61$	8,861	88,61	8,380	83,94	8,394	
4	$r_4 = 79,87$	7,987	75,82	7,582	75,97	7,597	
5	$r_5 = 72,35$	7,235	68,65	6,865	68,77	6,877	
6	$r_6 = 65,51$	6,551	62,24	6,224	62,25	6,225	
7	$r_7 = 59,34$	5,934	56,56	5,656	56,16	5,661	
8	$r_8 = 53,92$	5,392	51,72	5,172	51,78	5,178	
9	$r_9 = 49,53$	4,953	47,77	4,777	47,83	4,783	
10	$r_{10} = 46$	4,6	44,46	4,446	44,6	4,46	

Таблиця 4.4 — Розбивка лінії течії основного диска ($l_1 - l_1 = 69,44$ мм)

Номер	$r_{inq}, \text{мм}$	1	$r_{inq}, \text{мм}$	2	$r_{inq}, \text{мм}$	3	$\Sigma \Delta l$
		наближення		наближення		наближення	
		$\Delta l'$		$\Delta l''$		$\Delta l'''$	
1	$r_1 = R_2 = 110$	11	102,53	10,253	102,78	10,273	69,44
2	$r_2 = 97,46$	9,746	92,5	9,254	92,71	9,272	
3	$r_3 = 88,3$	8,835	83,8	8,385	83,92	8,391	
4	$r_4 = 79,55$	7,953	75,81	7,587	75,96	7,592	
5	$r_5 = 72,00$	7,201	68,63	6,869	68,75	6,875	
6	$r_6 = 65,19$	6,517	62,19	6,211	62,23	6,220	
7	$r_7 = 58,13$	5,815	56,54	5,655	56,59	5,658	
8	$r_8 = 53,59$	5,352	51,69	5,163	51,75	5,175	
9	$r_9 = 48,44$	4,842	46,87	4,682	46,92	4,692	
10	$r_{10} = 44,45$	4,443	42,53	4,257	42,61	4,261	

Таблиця 4.5 — Розбивка лінії течії покривного диска ($l_1 - l_1 = 70,663$ мм)

Номер	$r_{inq}, \text{мм}$	1	$r_{inq}, \text{мм}$	2	$r_{inq}, \text{мм}$	3	$\Sigma \Delta l$
		наближення		наближення		наближення	
		$\Delta l'$		$\Delta l''$		$\Delta l'''$	
1	$r_1 = R_2 = 110$	11	102,34	10,23	102,61	10,26	70,663
2	$r_2 = 97,49$	9,749	92,65	9,265	92,89	9,289	
3	$r_3 = 88,19$	8,819	83,89	8,389	83,9	8,39	
4	$r_4 = 79,93$	7,993	75,98	7,598	75,97	7,597	
5	$r_5 = 72,37$	7,237	68,84	6,884	68,92	6,892	
6	$r_6 = 65,87$	6,587	62,48	6,248	62,63	6,263	
7	$r_7 = 59,81$	5,981	57,24	5,724	57,34	5,734	
8	$r_8 = 54,99$	5,499	53,00	5,3	53,56	5,356	
9	$r_9 = 51,65$	5,165	50,22	50,22	50,35	5,035	
10	$r_{10} = 49,11$	4,91	48,52	4,852	48,53	4,853	

Поверхня лопаті на розгорненні циліндра профілюється з обліком наступних основних рекомендацій:

- кут нахилу лопаті β , на кожній розрахунковій лінії струму, повинен плавно збільшуватися або зменшуватися від кута β_1 до β_2

- ділянка поверхні лопаті поблизу виходу з РК повинна мати постійний кут обхвату β по кожній розрахунковій лінії струму по довжині, обумовленій на розгорненні циліндра величиною $\delta \geq 0,5 t$

Де t - лінійний крок лопатей на розгорненні циліндра, мм:

$$t = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{к.ц}}}{z} \quad 4.41$$

$$t = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 110}{7} = 98,68 \text{ мм}$$

$$\delta = \frac{98,68}{2} = 49,34$$

Кут обхвату лопаті в плані повинен задовольняти умові:

$$\Theta \geq 1,5 \cdot t \quad 4.42$$

Де $t^0 = 360/z$

$$t^0 = \frac{360}{7} = 51,42^\circ$$

$$110^\circ \geq (1,5 \cdot 51,42 = 77,13^\circ)$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Паралелі точок a, b, c для кожної лінії струму визначають відповідно до розташування вхідної кромки в меридіанному перетині. Перенесення точок вхідної кромки на конформну діаграму проводиться за допомогою властивості конформного відображення у залежності:

$$\frac{x_i}{\Delta L} = \frac{y_i}{\Delta L} \quad 4.43$$

де x_i - відстань від поточної паралелі до потрібної точки вхідної кромки на конформній діаграмі;

y_i - відповідна відстань на лінії струму

Положення вхідної кромки на конформній діаграмі:

Точка a (основного диску):

$$x_a = \frac{\Delta L \cdot y_{10-9a}}{\Delta L y_{10-9a}} \quad 4.44$$

$$x_a = \frac{11 \cdot 2,845}{4,261} = 7,344$$

Точка b (середньої лінії течії):

$$x_b = \frac{\Delta L \cdot y_{9-8b}}{\Delta L y_{9-8b}} \quad 4.45$$

$$x_b = \frac{11 \cdot 2,506}{4,764} = 5,786$$

Точка c (покривного диску):

$$x_c = \frac{\Delta L \cdot y_{10-9c}}{\Delta L y_{10-9c}} \quad 4.46$$

$$x_c = \frac{11 \cdot 2,845}{4,261} = 7,334$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

4.2.6 Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції робочого колеса

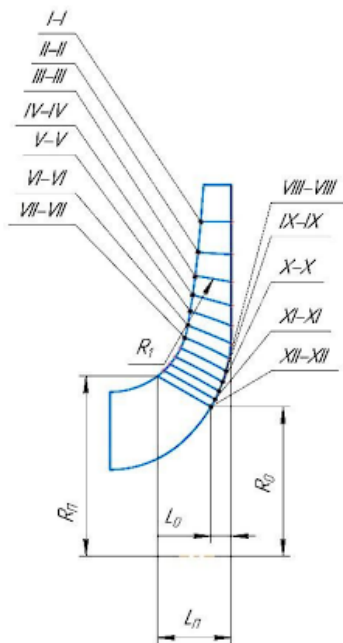
Меридіанні перерізи виконуються для контролю плавності профільованої поверхні лопаті та подальшого проектування робочого колеса. Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції здійснюється на основі конформної діаграми. На лінії течії меридіанного перерізу переносяться відповідні точки з конформної діаграми для кожної лінії течії окремо за допомогою перехідних графіків ПГ. Для побудови графіків $l = f(\Delta L)$ по горизонтальній осі відкладається розгорнута довжина ліній току a, b, c з розміткою на відрізки ΔL_i , пронумеровані цифрами 0, 1, 2, 3 і т. д. На вертикальній осі L відкладаються однакові відрізки ΔL . Графік $l = f(\Delta L)$ будується для кожної розрахункової лінії току. Необхідні для побудови графіка значення ΔL_i визначаються за формулою:

$$\Delta L_i = R_{кц} \cdot \sum \frac{\Delta L_i}{r_{срі}} \quad 4.47$$

Таблиця 4.6 — Розрахунки для побудови допоміжних перехідних графіків

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Номер точки відрізка	Лінія току а			Лінія току b			Лінія току с		
	Δl_i	r_{cpi}	ΔL_i	Δl_i	r_{cpi}	ΔL_i	Δl_i	r_{cpi}	ΔL_i
0-1	10,27	102,7	11	10,28	102,8	11	10,26	102,6	11
1-2	9,271	92,71	21,5	9,272	92,72	21,5	9,289	92,89	21,5
2-3	8,392	83,92	32,25	8,394	83,94	32,25	8,39	83,92	32,25
3-4	7,596	75,96	43	7,597	75,97	43	7,597	75,97	43
4-5	6,875	68,75	53,75	6,877	68,77	53,75	6,892	68,92	53,75
5-6	6,223	62,23	64,5	6,255	62,25	64,5	6,263	62,63	64,5
6-7	5,659	56,59	75,25	5,661	56,61	75,25	5,734	57,34	75,25
7-8	5,175	51,75	86	5,178	51,78	86	5,356	53,56	86
8-9	4,692	46,92	96,75	4,783	47,83	96,75	5,035	50,35	96,75
9-10	4,261	42,61	110	4,46	44,6	110	4,853	48,53	110



№ переріза	R_0 , мм	L_0 , мм	R_n , мм	L_n , мм	R_1 , мм
XII - XII	43,21	59	521	2129	-
XI - XI	45,38	4,71	53,68	19,43	660
X - X	47,77	3,58	55,53	17,68	270
IX - IX	50,42	2,53	57,66	16,08	182
VIII - VIII	53,48	1,53	60,22	14,61	155
VII - VII	57,29	0,69	63,25	13,39	139
VI - VI	61,63	0,13	66,81	12,56	290
V - V	66,68	0	70,89	11,89	154
IV - IV	72,54	0	75,61	11,19	-
III - III	79,37	0	81,19	10,43	-
II - II	87,33	0	87,96	9,64	362
I - I	96,79	0	96,82	8,85	-
Вихідна кромка	110	0	110	8	-

Рисунок 4 – Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на основі конформної діаграми

4.2.7 Проектування робочого колеса II ступені

Відмінною рисою I ступені насоса від наступної ступені є завищене значення коефіцієнт вхідної воронки $K_{вх}$ (для підвищення кавітаційних якостей робочого колеса).

Тому для наступної ступені обираємо: $K_{вх} = 4,5$ Розраховуємо приведенний діаметр робочого колеса за формулою (4.3). Отримуємо:

$$D_{1пр} = 4,5 \cdot 3 \sqrt{\frac{50}{3000 \cdot 3600}} = 0,075 \text{ м.}$$

Розраховуємо діаметр вхідної воронки робочого колеса за формулою (4.15). Отримуємо:

$$D_0 = \sqrt{D_{1пр}^2 + d_{вт}^2} = \sqrt{0,09^2 + 0,050^2} = 0,0901 \text{ (м)}$$

Швидкість потоку на вході у робоче колесо за формулою (4.16).
Отримуємо:

$$V_0 = \frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 0,09^2} = 3,170 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}}\right)$$

Визначимо орієнтовне значення діаметра положення вхідної кромки за формулою (4.17). Отримуємо:

$$D_1 = 0,0720 \text{ м}$$

У першому наближенні меридіанну складову швидкості V_{1m} без урахування стиснення потоку лопатями беруть такою, що дорівнює V_0 . При вході потоку на лопать меридіанна складова абсолютної швидкості визначається за формулою (4.18). Приймаємо коефіцієнт стиснення потоку на вході $k_1 = 1,15$. Отримуємо:

$$V_{1m} = 1,15 \cdot 3,170 = 3,64 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Кут потоку на вході, град, розраховують з трикутника швидкостей за формулою (4.20).

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{3,64}{12,8} = 15,87^\circ$$

Переносна швидкість визначається за формулою (4.19). Отримуємо:

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,0720 \cdot 3000}{60} = 12,8 \text{ м/с}$$

Кут нахилу лопаті на вході у робоче колесо, визначається за формулою (4.21). Приймаємо кут атаки $\Delta\beta = 12^\circ$. Отримуємо:

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

$$\beta_1 = 15,87^\circ + 12^\circ = 27,99^\circ$$

Уточнюємо значення k_1 за формулою (4.22). Отримуємо значення:

$$k_1 = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 0,004}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0816 \cdot \sin 27,99^\circ}} = 1,15$$

Повинна бути забезпечена умова

$$|k_1 - k_1| \leq 0,01.$$

$$|1,275 - 1,275| = 0 \leq 0,01$$

Умова виконується.

Ширину робочого колеса на вході знаходять з формули (4.23).

Отримуємо:

$$b_1 = \frac{0,014}{3,14 \cdot 0,0816 \cdot 3,64} = 0,015 \text{ (м)}$$

За умови, що на кожен ступінь припадає однаковий напір, приймаємо вихідні розміри D_2 , b_2 першої ступені і для другої ступені: $b_2 = 8 \text{ мм}$ $D_2 = 220 \text{ мм}$

4.3 Розрахунки об'ємних та механічних втрат енергії. Уточнення об'ємного, механічного та повного коефіцієнта корисної дії

4.3.1 Об'ємні втрати

Об'ємні втрати пов'язані з протіканням рідини, які виникають у зазорах між рухомими та нерухомими деталями насоса.

У відцентровому консольному насосі протікання можуть відбуватися через переднє ущільнення робочого колеса та сальникове ущільнення.

Унаслідок наявності об'ємних втрат корисна подача насоса менша за подачу робочого колеса, що характеризується об'ємним ККД

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$\eta_{об} = \frac{q}{Q + \sum q} \quad 4.48$$

де $\sum q$ - сумарні протікання, м³ /с.

При розрахунку можна вважати, що протікання у сальниковому ущільненні відсутні. Тому об'ємний ККД можна визначити за таким виразом

$$\eta_{об} = \frac{Q}{Q + q + q'}$$

де q - протікання через переднє ущільнення РК I ступені, м³ /с.

q' - протікання через переднє ущільнення РК II ступені, м³ /с.

Проведемо розрахунок величини протікань через переднє ущільнення РК I ступені.

Протікання через переднє ущільнення робочого колеса визначається за формулою:

$$q = \mu \cdot f_y \cdot \sqrt{2gh_y} \quad 4.49$$

де μ – коефіцієнт протікання циліндричної щілини;

f_y – площа поперечного перетину циліндричної щілини, м² ;

h_y - напір, що втрачається в ущільненні, м.

Коефіцієнт протікання циліндричної щілини

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,5 + \frac{\lambda l}{2\delta_1}}} \quad 4.50$$

де $\lambda = 0,04$ – коефіцієнт тертя;

δ_1 – радіальний зазор в ущільненні колеса, мм;

l – довжина щілини, мм.

Довжина щілини: - для ущільнень насосів звичайних розмірів ($r_{y1} > 50$ мм):

$$\frac{l}{2r_{y1}} = 0,2 - 0,15 \quad 4.51$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

- для ущільнень насосів малих розмірів ($r_{01} < 50$ мм):

$$\frac{l}{2r_{y1}} = 0,2 - 0,25 \quad 4.52$$

де $r_{y1} = 52,5$ мм - радіус переднього ущільнення, мм.

Звідси:

$$l = 2 \cdot 52,5 \cdot 0,15 = 15,75 \text{ мм}$$

На основі статистичного аналізу зазорів в ущільненнях відцентрових насосів отримано:

- для великих насосів ($Q > 1800 \text{ м}^3 / \text{год}$):

$$\delta_1 = \frac{r_{y1}}{500} \text{ мм} \quad 4.53$$

- для малих насосів ($Q < 1800 \text{ м}^3 / \text{год}$):

$$\delta_1 = 0,2 - 0,3 \text{ мм}$$

Приймаємо $\delta_1 = 0,27$ мм

Звідси:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,5 + \frac{0,04 \cdot 15,75}{2 \cdot 0,27}}} = 0,612$$

Площа поперечного перерізу щілини визначається за формулою:

$$f_y = 2\pi r_{y1} \delta_1 \quad 4.54$$

$$f_y = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,0525 \cdot 0,00027 = 8,906 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Напір, що втрачається в ущільненні:

$$h_y = H_p - \frac{U_2^2}{8g} \left(1 - \left(\frac{r_{y1}}{r_2}\right)^2\right)^2 \quad 4.55$$

де H_p – потенційний напір, м;

U_2 – колова швидкість на виході з робочого колеса, м/с;

r_2 - зовнішній радіус робочого колеса, м.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Потенційний напір робочого колеса:

$$H_p = H_T \eta_{г.к.} \left(1 - \frac{gH_T}{2U_2^2} \right) \quad 4.56$$

де $\eta_{г.к.}$ - гідравлічний ККД робочого колеса (приймають $\eta_{г.к.} = \sqrt{\eta_T}$);

H_T – теоретичний напір, м.

Колова швидкість на виході з робочого колеса знаходиться за формулою:

$$U_2 = \omega r_2 \quad 4.57$$

де $r_2 = \frac{D_2}{2} = 0,11$ м – радіус зовнішнього діаметра робочого колеса

ω - колова швидкість обертання ротора насоса, c^{-1} . Вона визначається виходячи з частоти обертання ротора:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad 4.58$$

де n - частота обертання ротора насоса, об/хв

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 c^{-1}$$

Звідси знаходимо значення колової швидкості на виході з робочого колеса

$$U_2 = 314 \cdot 0,11 = 34,54 \text{ м/с}$$

Потенційний напір робочого колеса становить:

$$H_p = 91 \cdot \sqrt{0,714} \left(1 - \frac{9,81 \cdot 91}{2 \cdot 34,54^2} \right) = 48,12 \text{ м}$$

Напір, що втрачається в ущільненні складає:

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$h_y = \frac{34,54^2}{8 \cdot 9,81} \left(1 - \left(\frac{0,0525}{0,11}\right)^2\right)^2 = 9,06 \text{ м}$$

Протікання через переднє ущільнення РК I ступені рівне

$$q = 0,612 \cdot 8,906 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 9,06} = 0,000726 \text{ м}^3/\text{с}$$

Аналогічно проведемо розрахунок величини протікань через переднє ущільнення РК II ступені.

Радіус переднього ущільнення складає $r_{y1} = 50 \text{ мм}$

Довжина щілини:

$$l = 2 \cdot 50 \cdot 0,15 = 15 \text{ мм}$$

Радіальний зазор в ущільненні колеса:

$$\delta_1 = 0,25 \text{ мм}$$

Коефіцієнт протікання циліндричної щілини

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,5 + \frac{0,04 \cdot 15}{2 \cdot 0,25}}} = 0,608$$

Площа поперечного перерізу щілини:

$$f_y = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,05 \cdot 0,00025 = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Оскільки робочі колеса мають рівні значення зовнішніх діаметрів, то відповідно мають рівні значення переносних швидкостей на виході та потенційних напорів:

$$U_2 = U_p \quad H_p = H_p$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Напір, що втрачається в ущільненні

$$h_y = \frac{34,54^2}{8 \cdot 9,81} \left(1 - \left(\frac{0,05}{0,11}\right)^2\right)^2 = 9,56 \text{ м}$$

Протікання через переднє ущільнення РК II ступені рівне:

$$q = 0,608 \cdot 7,854 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 9,56} = 0,000618 \text{ м}^3/\text{с}$$

Таким чином, об'ємний ККД складає:

$$\eta_{об} = \frac{0,0138}{0,0138 + 0,000726 + 0,000618} = 0,911$$

4.3.2 Механічні втрати

Механічні втрати в насосі діляться на внутрішні та зовнішні, отже, механічний ККД визначаються за формулою:

$$\eta_m = \eta_{мвн} \eta_{мзовн} \quad 4.59$$

де $\eta_{мвн}$ - внутрішній механічний ККД;

$\eta_{мзовн}$ - зовнішній механічний ККД.

Внутрішніми втратами вважаються втрати на дискове тертя, зовнішніми – втрати в кінцевих ущільненнях та в підшипниках.

У відцентрових насосах середньої та великої потужності дискові втрати є основним видом механічних втрат. Під дисковим тертям розуміються втрати енергії на тертя робочої рідини і зовнішньої поверхні обертального колеса.

Хоча вони мають гідравлічний характер, це – механічні втрати, пов'язані зі зміною споживаної насосом потужності, на відміну від гідравлічних втрат, які визначаються втратами напору (тиску). В загальному випадку втрати

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

потужності на дискове тертя на обох сторонах диска визначаються за формулою:

$$N_{\text{дт}} = 0,0196C_f\rho R_2^5\omega^3 \quad 4.60$$

де C_f – сумарний коефіцієнт тертя.

C_f залежить від багатьох факторів: від режиму течії рідини (числа Рейнольдса), відносного розміру пазухи (S/R_2), відносної шорсткості (k/R_2) витоків у пазусі; визначається за формулою:

$$C_f = C_{f0} + \Delta C_f \quad 4.61$$

де C_{f0} – коефіцієнт тертя без урахування витікань

ΔC_f – поправка, що враховує витікання у пазусі. Втрати на дискове тертя спрощено можна визначити за таким виразом:

$$N_{\text{дт}} = 0,882U_2^2D_2(D_2 + 5l), \text{ вт} \quad 4.62$$

де l – сумарна товщина основного та покривного дисків робочого колеса, м:

$$l = l_1 + l_2 \quad 4.63$$

де l_1, l_2 – товщини основного та покривного дисків відповідно, м.

$$l = 4 + 4 = 8 \text{ мм}$$

Звідси втрати на дискове тертя для 2 робочих коліс:

$$N_{\text{дт}} = 2 \cdot 0,882 \cdot 34,54^3 \cdot 0,22(0,22 + 5 \cdot 0,008) = 4157,780 \text{ Вт}$$

Внутрішній механічний ККД визначається за формулою:

$$\eta_{\text{вн}} = \frac{\rho g Q_{\text{рк}} H_{\text{т}}}{\rho g Q_{\text{рк}} H_{\text{т}} + N_{\text{дт}}} \quad 4.64$$

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

де $Q_{рк}$ - витрата рідини, що проходить через робоче колесо. Вона може бути визначена таким чином:

$$Q_{рк} = \frac{q}{\eta_{об}} \quad 4.65$$

Тому:

$$Q_{рк} = \frac{50}{0,999} = 50,05 \text{ м}^3/\text{год} = 0,0139 \text{ м}^3/\text{сек}$$

Звідси внутрішній механічний ККД рівний:

$$\eta_{вн} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0139 \cdot 91}{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0139 \cdot 91 + 4157,780} = 0,749$$

Зовнішні механічні втрати залежать від розмірів вала, типу кінцевих ущільнень та частоти обертання ротора насоса. Встановлено, що зовнішній механічний ККД лопатевих насосів становить $\eta_{мзовн} = 0,97 - 0,98$.

Звідси:

$$\eta_{м} = 0,749 \cdot 0,98 = 0,734$$

Повний ККД:

$$\eta = \eta_{г} \eta_{об} \eta_{м} \quad 4.66$$

$$\eta = 0,714 \cdot 0,911 \cdot 0,734 = 0,477$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.4 Розрахунок гідродинамічних сил

4.4.1 Осьові сили, що діють на ротор

У робочому колесі одностороннього входу внаслідок відсутності його симетрії відносно площини перпендикулярної до осі обертання насоса, виникає неврівноважена гідравлічна сила, спрямована по осі у бік вхідної воронки колеса.

Сумарна осьова сила, що діє на робоче колесо насоса:

$$T = T_1 - T_2 + T_3 \quad 4.67$$

де T_1 - сила, викликана нерівномірністю розподілу тисків на основному та покривному дисках робочого колеса, Н;

T_2 - динамічна сила, обумовлена натіканням потоку рідини на колесо та зміною осьового напрямку його руху на радіальний, Н;

T_3 - сила, обумовлена різницею тисків на торцях вала, Н.

Визначимо окремо осьову силу, що діє на робоче колесо кожної ступені. Для робочого колеса I ступені. Осьова сила T_1 визначається таким чином

$$T_1 = \gamma \pi (r_{y1}^2 - r_{y2}^2) \left[H_p - \frac{\omega^2}{8g} \left(r_{y2}^2 - \frac{r_{y1}^2 + r_{y2}^2}{2} \right) \right] \quad 4.68$$

де γ - питома вага рідини, Н/м³ ;

$r_{y1}^2 - r_{y2}^2$ - радіуси переднього та заднього ущільнень, м;

Для робочого колеса I ступені $r_{y1}^2 = 0,0525$ м, $r_{y2}^2 = 0,025$ м

Звідси, осьова сила T_1 рівна:

$$\begin{aligned} T_1 &= 9810 \cdot 3,14(0,05^2 - 0,025^2) \left[48,12 - \frac{314^2}{8 \cdot 9,81} \left(0,11^2 - \frac{0,05^2 + 0,025^2}{2} \right) \right] \\ &= 2015H \end{aligned}$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Осьова сила T_2 визначається за законом зміни кількості руху:

$$T_2 = \rho Q V_0 \quad 4.69$$

де V_0 – швидкість потоку на вході в робоче колесо, м/с.

Швидкість потоку:

$$V_0 = \frac{4Q}{\pi D_{\text{нр}}^2} \quad 4.70$$

Тому:

$$V_0 = \frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 0,09^2} = 2,2 \text{ м/с}$$

Осьова сила T_2 :

$$T_2 = 1000 \cdot 0,014 \cdot 2,2 = 30,8 \text{ Н}$$

Осьова сила T_3 визначається за формулою:

$$T_3 = \frac{\pi d_{\text{вт}}^2}{4} (P_{\text{атм}} - P_{\text{вх}}) \quad 4.71$$

де $d_{\text{вт}} = 0,04 \text{ м}$ – діаметр втулки робочого колеса;

$P_{\text{атм}} = 101337 \text{ Па}$ – атмосферний тиск;

$P_{\text{вх}}$ – тиск на вході у робоче колесо, Па.

Визначається за формулою:

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{н.п}} + \rho g \Delta h - \rho \frac{V_0^2}{2} \quad 4.72$$

де $P_{\text{н.п}} = 22314 \text{ Па}$ – тиск насичених парів для води при температурі 20°C

Δh – кавітаційний запас, м.

Кавітаційний запас можна визначити за формулою:

$$\Delta h = \lambda_1 \frac{V_0^2}{2g} + \lambda_2 \frac{W_1^2}{2g} \quad 4.73$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

де W_1 - відносна швидкість на вході в робоче колесо, м/с;

$\lambda_1 = 1,2$, $\lambda_2 = 0,3$ - середні значення коефіцієнтів при безударному вході.

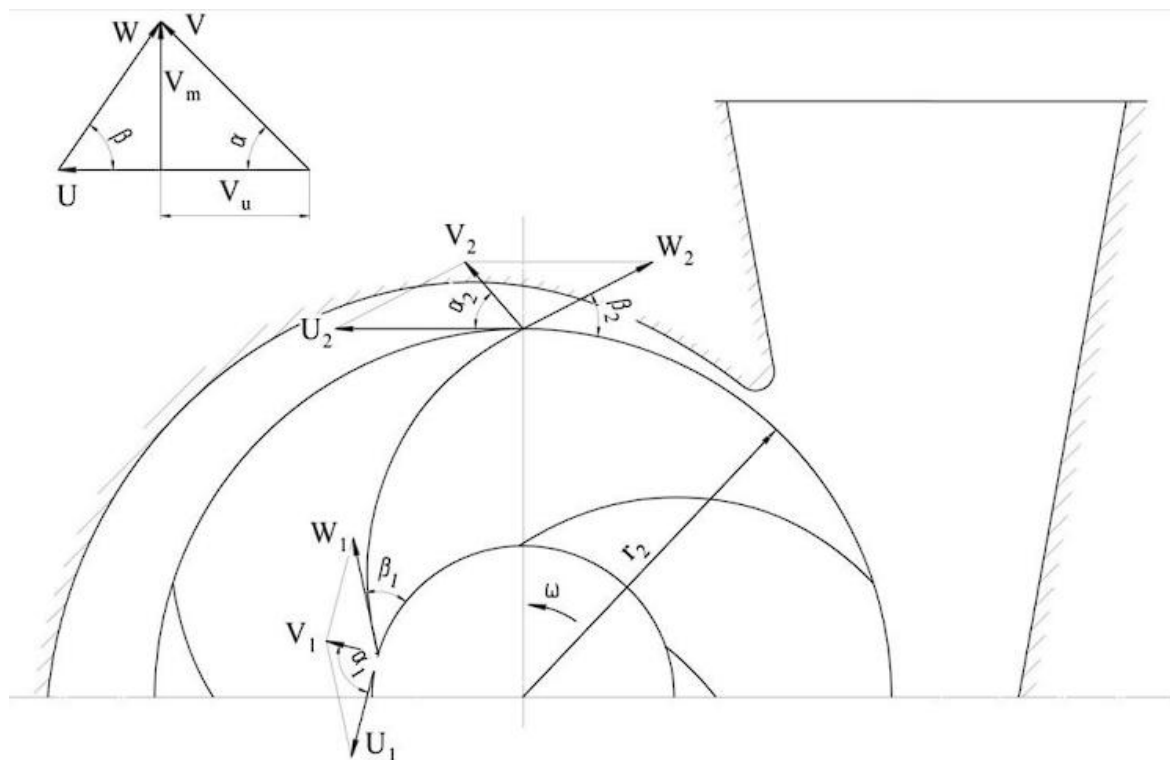


Рисунок 4.1 - Трикутники швидкостей в робочому колесі

Швидкість W_1 визначають з трикутника швидкостей (див. рис. 4.1):

$$W_1 = \frac{V_{1m}}{\sin \beta_1} \quad 4.74$$

де $\beta_1 = 18,64^\circ$ - кут установлення лопаті на вході в робоче колесо.

V_{1m} - меридіанна складова абсолютної швидкості на вході в робоче колесо, м/с. $V_{1m} = 2,64$ м/с

Відносна швидкість на вході в робоче колесо становить:

$$W_1 = \frac{2,64}{\sin 18,64^\circ} = 8,259 \text{ м/с}$$

Кавітаційний запас складає:

$$\Delta h = 1,2 \frac{2,2^2}{2 \cdot 9,81} + 0,3 \frac{8,259^2}{2 \cdot 9,81} = 1,339 \text{ м}$$

Тиск на вході в робоче колесо:

$$P_{\text{вх}} = 22314 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,339 - 1000 \frac{2,2^2}{2} = 33023 \text{ Па}$$

Осьова сила T_3 становить:

$$T_3 = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} (101337 - 33023) = 85,80 \text{ Н}$$

Таким чином сумарна осьова сила від I робочого колеса рівна:

$$T = 2015 - 30,8 + 85,80 = 2070 \text{ Н}$$

Аналогічно повторюємо розрахунки осьової сили і для робочого колеса II ступені. Для робочого колеса II ступені $r_{y1} = 0,05$ м, $r_{y2} = 0,046$ м

Звідси, осьова сила T''_1 рівна:

$$T''_1 = 9810 \cdot 3,14 (0,05^2 - 0,046^2) \left[48,12 - \frac{314^2}{8 \cdot 9,81} \left(0,11^2 - \frac{0,05^2 + 0,046^2}{2} \right) \right] = 423,674 \text{ Н}$$

Швидкість потоку на вході в робоче колесо, м/с:

$$V_0 = \frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 0,0720^2} = 3,44 \text{ м/с}$$

Осьова сила T''_2

$$T''_2 = 1000 \cdot 0,014 \cdot 3,44 = 48,16 \text{ Н}$$

Кут установлення лопаті на вході в робоче колесо:

$$\beta = 27,99^\circ$$

Меридіанна складова абсолютної швидкості на вході в робоче колесо:

$$V_{1\text{м}} = 3,64 \text{ м/с}$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Відносна швидкість на вході в робоче колесо становить:

$$W_1 = \frac{3,64}{\sin 27,99^\circ} = 7,755 \text{ м/с}$$

Кавітаційний запас складає:

$$\Delta h = 1,2 \frac{3,64^2}{2 \cdot 9,81} + 0,3 \frac{7,755^2}{2 \cdot 9,81} = 1,729 \text{ м}$$

Тиск на вході в робоче колесо:

$$P_{\text{вх}} = 22314 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,729 - 1000 \frac{3,64^2}{2} = 32650,69 \text{ Па}$$

Осьова сила T''_3 становить:

$$T''_3 = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} (101337 - 32650,69) = 86,27 \text{ Н}$$

Таким чином сумарна осьова сила від 1 робочого колеса рівна:

$$T' = 423,674 - 48,16 + 86,27 = 461,78 \text{ Н}$$

Сумарна осьова сила від дії 2 робочих коліс рівна:

$$T = 2070 + 461,78 = 2531,78 \text{ Н}$$

4.4.2 Радіальна сила

Причини, що призводять до виникнення радіальної сили, можуть бути як механічного, так і гідравлічного характеру. Гідродинамічна радіальна сила виникає внаслідок колової нерівномірності параметрів потоку на всмоктувальній та напірній сторонах робочого колеса.

Рівнодійна сил тиску для насосів зі спіральним відводом визначається за формулою

$$R = K_R \left(1 - \frac{Q}{Q_{\text{опт}}}\right)^2 \gamma H D_2 b_2 \quad 4.75$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

де K_R – експериментальний коефіцієнт,

$$K_R \approx 0,36;$$

$Q_{\text{опт}}$ – подача при оптимальному режимі;

b_2 – ширина колеса на виході, м.

Радіальна сила буде мінімальною при $Q = Q_{\text{опт}}$. Максимального значення радіальна сила набуває при нульовій подачі насоса ($Q = 0$), тому і розрахунок краще проводити для нульової подачі. У зв'язку з цим максимальна радіальна сила буде розраховуватися за формулою:

$$R_{\text{max}} = K_R \gamma H D_2 b_2 \quad 4.76$$

Напрямок сили R залежить від подачі та швидкості насоса. При $Q = Q_{\text{опт}}$ радіальна сила спрямована вгору в бік вузької частини спіралі. Для подальших розрахунків можна зробити припущення, що радіальна сила спрямована вертикально вгору

$$R_{\text{max}} = 0,36 \cdot 9810 \cdot 65 \cdot 0,23 \cdot 0,008 = 422,37 \text{ Н}$$

Гідродинамічні сили негативно впливають на роботу насоса, приводять до виходу з ладу радіальних підшипників кочення та ущільнень ротора.

4.13 Розрахунок на кавітацію

Кавітація належить до гідродинамічних явищ і залежить від гідродинамічних якостей робочих органів машини та фізичних властивостей рідини. Зазвичай, кавітація виникає при падінні тиску до значення, що дорівнює або менше від тиску пружності насиченого пару та супроводжується порушенням суцільності потоку з утворенням порожнин, насичених паром та розчинених у рідині газами. Також вона виникає при зниженні місцевого тиску з різних причин динамічного характеру: збільшення швидкості рідини через збільшення частоти обертання, відриву або стискання потоку, відхилення ліній току від їх нормальних траєкторій.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Розрахунок насоса на кавітацію проводиться визначенням кавітаційного коефіцієнта швидкохідності:

$$C = \frac{5,62n\sqrt{Q}}{\Delta h^{3/4}} \quad 4.77$$

$$C = \frac{5,62 \cdot 3000\sqrt{0.0138}}{1,339^{3/4}} = 1591,15$$

Установлено, що насоси мають добрі антикавітаційні показники при $C = 700 - 900$.

При кавітаційному коефіцієнті швидкохідності $C = 1591$, то проєктований насос при заданій висоті всмоктування буде мати добрі анти кавітаційні показники.

5 РОЗРАХУНОК ВИБОРУ ПРИВОДА НАСОСА. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Потужність насоса при роботі на номінальному режимі визначається за формулою:

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta}, \text{ Вт} \quad 5.1$$

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0138 \cdot 130}{0,477} = 36895 \text{ Вт} = 36,89 \text{ кВт}$$

Як привід насоса вибирають електродвигун за таким параметром:

$$N_{\text{дв}} = kN, \text{ Вт} \quad 5.2$$

де $k = 1,1 - 1,3$ – коефіцієнт запасу

$$N_{\text{дв}} = 1,3 \cdot 36895 = 47963, \text{ Вт}$$

Для привода насоса обираємо електродвигун 4A255M4У3 з параметрами:

- Потужність – 55 кВт
- Напруга – 380/360Вт

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

- Частота обертання – 3000об/хв



Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд асинхронного електродвигуна

4A255M4У3

Структура умовного позначення електродвигуна:

4 – порядковий номер серії;

A – вид двигуна – асинхронний; A – станина та щити двигуна алюмінієві (відсутність знака означає, що станина та щити чавунні або сталеві);

M – модернізований; двох-або тризначне число – висота осі обертання ротора;

A, B – довжина осердя статора;

L, S, M – настановний розмір за довжиною станини; 2, 4,

6, 8 – кількість полюсів;

У3 - кліматичне виконання та категорія розміщення

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

6 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ

6.1 Розрахунок вала

Основними задачами розрахунку валів є забезпечення об'ємної міцності, обмеження величини деформації згинання та кручення в найбільш небезпечному перерізі. Оскільки при модернізації насоса, радіальні розміри вала залишаються незмінними то розрахунок вала виконується в два етапи. На першому – попередньому розрахунку – визначаються реакції, що діють в опорах вала. На другому етапі - перевірному – визначаються коефіцієнти запасу міцності, зважають їх з допустимими та за необхідності вносяться корективи з метою приведення фактичних запасів міцності до допустимих.

6.1.1 Розрахунок реакцій в опорах

При роботі насоса в робочому колесі виникає неврівноважена радіальна сила $R_1 = R_{max}$ (див. рис. 6.1), що сприймається підшипниками насоса, в результаті чого в опорах виникають реакції (R_2 , R_3). Вага робочих коліс є мінімальним навантаженням, яким можна знехтувати.

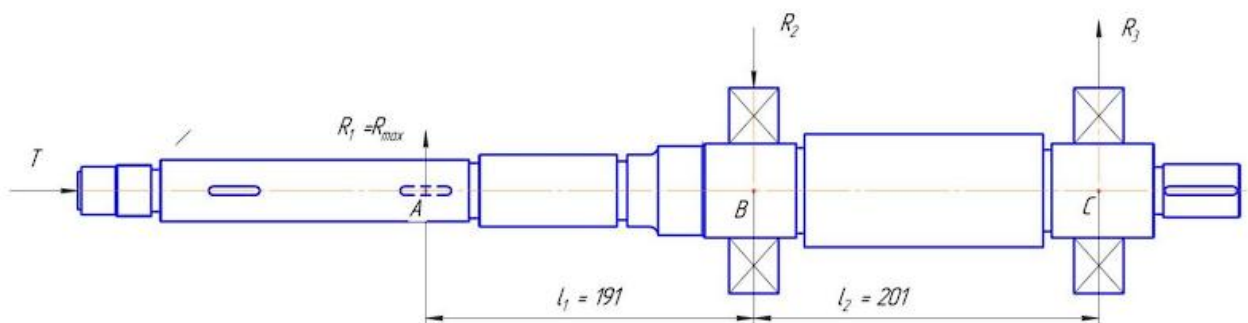


Рисунок 6.1 - Схема навантаження вала насоса

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

Рівняння моментів відносно т. С:

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$\sum M_C = -R_1(l_1 + l_2) + R_2l_2 \quad 6.1$$

З наведеного рівняння можна знайти величину R_2 , Н:

$$R_2 = \frac{R_1(l_1 + l_2)}{l_2} \quad 6.2$$

Звідки:

$$R_2 = \frac{422,37(191 + 201)}{201} = 823,726\text{Н}$$

Рівняння моментів відносно т. В:

$$\sum M_B = -R_1l_1 + R_3l_2 \quad 6.3$$

З наведеного рівняння можна знайти величину R_3 , Н:

$$R_3 = \frac{R_1l_1}{l_2} \quad 6.4$$

Таким чином:

$$R_3 = \frac{422,37 \cdot 191}{201} = 401,356\text{Н}$$

6.1.2 Перевірний розрахунок вала

Розрахунок зводиться до перевірки умови міцності:

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 \cdot S_\tau^2}} \geq [S] \quad 6.5$$

де S - розрахунковий коефіцієнт запасу міцності;

$[S] = 2,5$ - допустимий коефіцієнт запасу міцності;

S_σ, S_τ - коефіцієнти запасу за нормальними та дотичними напруженнями:

Коефіцієнт запасу за нормальним напруженням визначається за

формулою:

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_{\sigma} \cdot \sigma_a + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m}{\varepsilon_{\sigma}}} \quad 6.6$$

Коефіцієнт запасу за дотичним напруженням знаходиться за формулою:

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_{\tau} \cdot \tau_a + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}{\varepsilon_{\tau}}} \quad 6.7$$

де σ_{-1}, τ_{-1} - межі витривалості матеріалу вала;

σ_a, τ_a та σ_m, τ_m - амплітуда та середнє напруження циклів;

$K_{\sigma} = 2,2, K_{\tau} = 1,41$ - ефективні коефіцієнти концентрації напружень;

$\varepsilon_{\sigma}, \varepsilon_{\tau}$ - масштабні коефіцієнти, $\varepsilon_{\sigma} = \varepsilon_{\tau}$;

$\psi_{\sigma} = 0,25 - 0,3, \psi_{\tau} = 0,1$ - коефіцієнти постійної складової циклу.

Межі витривалості вала знаходяться за формулами (6.8) та (6.9):

$$\sigma_{-1} = 0,35\sigma_B + (70 \div 120), \text{ МПа} \quad 6.8$$

де $\sigma_B = 850$ МПа – межа міцності матеріалу вала (Сталь 40Х).

Звідси:

$$\sigma_{-1} = 0,35 \cdot 850 + 100 = 397,5 \text{ МПа}$$

$$\tau_{-1} = 0,58\sigma_{-1}, \text{ МПа} \quad 6.9$$

Тому:

$$\tau_{-1} = 0,58 \cdot 397,5 = 230,55 \text{ МПа}$$

Амплітудне та середнє напруження циклів знаходяться за формулами:

$$\sigma_a = \frac{M_{зг.max}}{0,1d_{\Pi}^3}, \text{ Мпа} \quad 6.10$$

Де d_{Π} – діаметр вала під підшипниками, $d_{\Pi} = 55 \text{ мм} = 0,055 \text{ м}$

Максимальний згинальний момент можна визначити з рис. 6.1:

$$M_{зг.max} = R_1 l_1 \quad 6.11$$

Звідси:

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$$M_{зг.мах} = 422,37 \cdot 0,191 = 80,67 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отже:

$$\sigma_a = \frac{80,67}{0,1 \cdot 0,055^3} = 4,84 \text{ МПа}$$

$$\sigma_m = \frac{4T}{\pi d_{II}^2}, \text{ МПа} \quad 6.12$$

Звідки:

$$\sigma_m = \frac{4 \cdot 2531}{3,14 \cdot 0,055^2} = 1,06 \text{ МПа}$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{M_{мах}}{0,2d^3} \quad 6.13$$

де $M_{мах}$ - момент опору агрегату при повному розгоні електродвигуна, що визначається за формулою:

$$M_{мах} = \frac{N_{мах}}{\omega} \quad 6.14$$

де $N_{мах}$ - максимальна потужність, $N_{мах} = 1,1 \text{ Н}$

$$N_{мах} = 1,1 \cdot 36895 = 40584,5 \text{ Вт}$$

Тоді:

$$M_{мах} = \frac{40584,5}{3140} = 12,9 \text{ Н}$$

Таким чином:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{12,9}{0,2 \cdot 0,055^3} = 0,193 \text{ МПа}$$

Масштабні коефіцієнти ε_σ , ε_τ визначають залежно від діаметра вала:

$$\varepsilon_\sigma = \varepsilon_\tau = 0,7$$

Звідси:

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

$$S_{\sigma} = \frac{397,5}{\frac{2,2}{0,7} \cdot 4,84 + 0,275 \cdot 1,06} = 25,64$$

$$S_{\tau} = \frac{230,55}{\frac{1,41}{0,7} \cdot 0,193 + 0,1 \cdot 0,193} = 568,83$$

$$S = \frac{25,64 \cdot 568,83}{\sqrt{25,64^2 + 568,83^2}} = 25,61 \geq 2,5$$

Отже, умова перевірного розрахунку вала виконується.

6.2 Розрахунок шпонкового з'єднання

6.2.1 Розрахунок на міцність шпонкового з'єднання вала з колесом

Вихідні дані для розрахунку:

- матеріал вала;
- Сталь 40Х;
- матеріал шпонки – Сталь 45.

Розміри шпонки під робочим колесом вибирають зі стандартного ряду залежно від діаметра вала, мм: $b \times h \times l$. Виходячи з діаметру валу, рівному 36 мм, обираємо шпонку призматичну з розмірами

$b = 10$ мм - ширина шпонки;

$h = 8$ мм - висота шпонки;

$l = 30$ мм - довжина шпонки

$t_1 = 5,0$ мм - глибина паза вала

$t_2 = 3,3$ мм - глибина паза втулки

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

$$\sigma_{зм} = \frac{2M_{\max}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} \quad 6.15$$

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

де $d = d_k = 0,036$ м – діаметр вала;

M_{max} - підставляється в Н·м;

l_p – робоча довжина шпонки, м:

$$l_p = l - b \quad 6.16$$

Звідки:

$$l_p = 30 - 10 = 20 \text{ мм}$$

Напруження на зминання шпонці складає:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 12,9}{0,036 \cdot 0,02 \cdot (0,008 - 0,005)} = 1,19 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження на зминання:

$$[\sigma_{зм}] = 0,56 \cdot \sigma_{0,2} \quad 6.17$$

де $\sigma_{0,2} = 343$ МПа - межа текучості матеріалу шпонки. Таким чином, допустиме напруження на зминання в шпонці рівне:

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

При розрахунку на зминання повинна виконуватися умова:

$$\sigma_{зм} \leq [\sigma_{зм}]$$

$$\sigma_{зм} = 1,19 \text{ МПа} < 192,08 \text{ МПа}$$

Таким чином, умова розрахунку на зминання шпонки виконується.

Перевірка шпонки на зріз, МПа:

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot \sigma_{зм}}{d \cdot l \cdot b} \quad 6.18$$

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 12,9}{0,036 \cdot 0,03 \cdot 0,01} = 2,38 \text{ МПа}$$

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При розрахунку шпонки на зріз повинна виконуватися умова:

$$\tau_{зр} \leq c \quad 6.19$$

де:

$$[\tau]_{зр} \approx 0,6[\sigma]_{зм}$$

Таким чином:

$$[\tau]_{зр} \approx 0,6 \cdot 192,08 = 115,25 \text{ МПа}$$

Звідки напруження на зріз в шпонці:

$$\tau_{зр} = 2,38 \text{ МПа} < 115,25 \text{ МПа}$$

Отже, умова розрахунку шпонки на зріз виконується.

Таким чином, шпонка підібрана правильно.

6.2.2 Розрахунок на міцність шпонкового з'єднання вала з напівмуфтою.

Вихідні дані для розрахунку:

- матеріал вала - Сталь 40Х;
- матеріал шпонки – Сталь 45.

Розміри шпонки під робочим колесом вибирають зі стандартного ряду залежно від діаметра вала, мм: . Виходячи з діаметру валу, рівному 32 мм, обираємо шпонку призматичну з розмірами:

$b = 10$ мм - ширина шпонки;

$h = 8$ мм - висота шпонки;

$l = 40$ мм - довжина шпонки

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$t_1 = 5,0$ мм - глибина паза вала

$t_2 = 3,3$ мм - глибина паза втулки

Робоча довжина шпонки визначається за формулою (6.16):

$$l_p = 40 - 10 = 30 \text{ мм}$$

Напруження на зминання в шпонці визначається за формулою (6.15):

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 12,9}{0,032 \cdot 0,03 \cdot (0,008 - 0,005)} = 8,95 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження на зминання в шпонці за формулою (6.17) рівне:

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

При розрахунку на зминання повинна виконуватися умова (6.18):

$$\sigma_{зм} = 8,95 \text{ МПа} < 192,08 \text{ МПа}$$

Таким чином, умова розрахунку на зминання шпонки виконується.

Перевірка шпонки на зріз Напруження на зріз шпонки визначається за формулою (6.19):

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 12,9}{0,032 \cdot 0,04 \cdot 0,01} = 2,01 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження на зріз шпонки за формулою (6.21) рівне

$$[\tau]_{зр} \approx 0,6 \cdot 192,08 = 115,25 \text{ МПа}$$

При розрахунку шпонки на зріз повинна виконуватися умова (6.20):

$$\tau_{зр} = 2,01 \text{ МПа} < 115,25 \text{ МПа}$$

Отже, умова розрахунку шпонки на зріз виконується.

Таким чином, шпонка підібрана правильно.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

7 ВИБІР ПІДШИПНИКІВ ТА РОЗРАХУНОК НА ДОВГОВІЧНІСТЬ

За відомим діаметром підшипник $d_{п}$ за вибирають тип та марку підшипників, їх динамічну C (Н) та статичну вантажопідйомність C_0 (Н).

Тип – шарикопідшипник радіальний, однорядний важкої серії.
Позначення –411 ГОСТ 8338-75

$$C = 100 \text{ кН}$$

$$C_0 = 63 \text{ кН}$$

Розрахунок проводиться для більш навантаженої опори. Перед розрахунком необхідно визначитися з ресурсом роботи підшипника L_h . Середній ресурс підшипника дорівнює $L_h = 20000$ годин. Еквівалентне динамічне навантаження визначається за формулою:

$$P = (X \cdot F_r \cdot V + Y \cdot F_a) \cdot K_\delta \cdot K_T \quad 7.1$$

де $F_r = R_2 = 422,37 \text{ Н}$,

$F_a = T = 2070 \text{ Н}$ – радіальне та осьове навантаження, Н;

$V = 1$ - коефіцієнт обертання;

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

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

X , Y – коефіцієнти радіального та осьового навантаження відповідно. Визначаємо коефіцієнти радіального навантаження X і осьового навантаження Y для підшипника.

Обчислюємо відношення

$$\frac{F_a}{C_0} \quad 7.2$$

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{2070}{63000} = 0,032$$

Тоді визначаємо лінійною інтерполяцією допоміжний коефіцієнт осевого навантаження $e = 0,253$;

Обчислюємо відношення

$$\frac{F_a}{V \cdot Fr} \quad 7.3$$

$$\frac{2070}{1 \cdot 422,37} = 4,9$$

Оскільки відношення ($F_a / V \cdot Fr = 3,32$) $>$ ($e = 0,253$), приймаємо $X = 0,56$, $Y = 1,759$.

Тоді

$$P = (0,56 \cdot 422,37 \cdot 1 + 1,759 \cdot 2070) \cdot 1 \cdot 1 = 3877,65 \text{Н}$$

Розрахунковий ресурс підшипника для кулькових підшипників, год:

$$L_{hp} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \frac{10^6}{60n} \quad 7.4$$

Звідки:

$$L_{hp} = \left(\frac{100000}{3877,65}\right)^3 \frac{10^6}{60 \cdot 3000} = 95284,37 \text{ год.}$$

Умова довговічності підшипників:

$$L_{hp} \geq L_h$$

$$L_{hp} = 95284,37 \text{ год} > 20000 \text{ год}$$

Таким чином умова розрахунку підшипників на довговічність виконується. Тобто, підшипники обрані вірно.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

8 РОЗДІЛ 3 ОХОРОНИ ПРАЦІ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

8.1 Дія електричного струму на організм людини. Електричні травми.

З кожним роком зростає виробництво та споживання електроенергії, а відтак і кількість людей, які в процесі своєї життєдіяльності використовують (експлуатують) електричні пристрої та установки. Тому питання електробезпеки набувають особливої ваги.

Електробезпека - це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Аналіз виробничого травматизму показує, що кількість травм, спричинених дією електричного струму, є незначною і становить близько 1 %. Однак із загальної кількості смертельних нещасних випадків частка електротравм становить 20-40% і посідає одне з перших місць. Щороку в Україні від електричного струму гине приблизно 1500 осіб. Найбільша кількість випадків електротравматизму, в тому числі зі смертельними наслідками, стається при експлуатації електроустановок напругою до 1000 В, що пов'язано з їх поширенням і відносною доступністю практично для кожного, хто працює на виробництві. Випадки електротравматизму під час експлуатації електроустановок напругою понад 1000 В нечасті, що зумовлено незначним поширенням таких електроустановок і обслуговуванням їх висококваліфікованим персоналом.

Основними причинами електротравматизму на виробництві є:

- випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування;
- використання несправних ручних електроінструментів;
- застосування нестандартних або несправних переносних

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		64

- світильників напругою 220 чи 127 В;
- робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань;
 - доторкання до незаземлених корпусів електроустановок, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження чи пробією ізоляції;
 - недотримання правил будови, улаштування, безпечної експлуатації електроустановок та правил експлуатації електрозахисних засобів тощо.

Електроустаткування, з яким доводиться мати справу практично всім працівникам на виробництві, становить значну потенційну небезпеку ще й тому, що органи чуття людини не здатні на відстані виявляти наявність електричної напруги. У зв'язку з цим захисна реакція організму виявляється лише після того, як людина потрапила під дію електричної напруги.

Проходячи через організм людини, електричний струм справляє на нього термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію.

Термічна дія струму спричинює опіки окремих ділянок тіла, нагрівання кровоносних судин, серця, мозку та інших органів, через які проходить струм, що призводить до виникнення в них функціональних розладів.

Електролітична дія струму характеризується розкладом (електролізом) крові та інших органічних рідин, що викликає суттєві порушення їх фізикохімічного складу.

Механічна дія струму загрожує ушкодженнями (розриви, розшарування тощо) різноманітних тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту.

Біологічна дія струму на живу тканину спричиняє небезпечне збудження клітин та тканин організму, що супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. Таке збудження може призвести до суттєвих порушень і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу.

Збудження тканин організму внаслідок дії електричного струму може бути прямим, коли струм проходить безпосередньо через ці тканини, та рефлекторним (через центральну нервову систему), коли тканини не знаходяться на шляху проходження струму.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

8.2 Види електричних травм. Причини летальних наслідків від дії електричного струму

Електротравма - це травма, яка спричинена дією електричного струму чи електричної дуги. За наслідками електротравми умовно поділяють на два види: місцеві електротравми, коли виникає локальне ушкодження організму, та загальні електротравми (електричні удари), коли уражається весь організм унаслідок порушення нормальної діяльності життєво важливих органів і систем. Приблизний розподіл електротравм за їх видами має такий вигляд: місцеві електротравми - 20 %; електричні удари - 25 %; змішані травми (сукупність місцевих електротравм та електричних ударів) - 55 %.

Характерними місцевими електричними травмами є електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні ушкодження та електрофтальмія.

Електричний опік - найбільш поширена місцева електротравма (близько 60 %), яка трапляється переважно у працівників, що обслуговують діючі електроустановки. Електричні опіки залежно від умов їх виникнення бувають двох видів: струмові (контактні), коли внаслідок проходження струму електрична енергія перетворюється на теплову, та дугові, які виникають унаслідок дії на тіло людини електричної дуги. Залежно від кількості виділеної теплоти та температури, а також розмірів дуги електричні опіки можуть уражати не лише шкіру, але й м'язи, нерви і навіть кістки. Такі опіки називаються глибокими і гояться вони досить довго.

Електричні знаки (електричні позначки) являють собою плями сірого чи блідо-жовтого кольору у вигляді мозоля на поверхні шкіри в місці її контакту зі струмовідними частинами.

Металізація шкіри - це проникнення у верхні шари шкіри найдрібніших часточок металу, що розплавляється внаслідок дії електричної дуги. Такого ушкодження зазвичай зазнають відкриті ділянки тіла - руки та обличчя.

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Ушкоджена ділянка шкіри стає твердою та шорсткою, однак за відносно короткий час вона знову набуває попереднього вигляду та еластичності.

Механічні ушкодження - це ушкодження, які виникають унаслідок судомних скорочень м'язів під дією електричного струму, що проходить через тіло людини. Механічні ушкодження виявляються у вигляді розривів шкіри, кровоносних судин, нервових тканин, а також вивихів суглобів і навіть переломів кісток.

Електроофтальмія - це ураження очей внаслідок дії ультрафіолетових випромінювань електричної дуги.

Найбільш небезпечним видом електротравм є електричний удар, який у більшості випадків (близько 80 %, включаючи й змішані травми) призводить до смерті потерпілого.

Електричний удар - це збудження живих тканин організму електричним струмом, що супроводжується судомним скороченням м'язів. Залежно від наслідків ураження електричні удари умовно поділяють на чотири ступеня:

I - судомні скорочення м'язів без втрати свідомості;

II - судомні скорочення м'язів з втратою свідомості, але зі збереженням дихання та роботи серця;

III - втрата свідомості та порушення серцевої діяльності чи дихання (або обох одночасно);

IV - клінічна смерть.

Клінічна смерть - це перехідний період від життя до смерті, що настає з моменту зупинки серцевої діяльності та легень і триває 6-8 хв, доки не загинули клітини головного мозку. Після цього настає біологічна смерть, унаслідок чого припиняються біологічні процеси у клітинах і тканинах організму і відбувається розпад білкових структур.

Якщо при клінічній смерті негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму та терміново розпочати надання необхідної допомоги

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		67

(штучне дихання, масаж серця), то існує висока імовірність щодо збереження йому життя.

Причинами летальних наслідків від дії електричного струму можуть бути зупинка серця чи його фібриляція (хаотичне скорочення волокон серцевого м'яза, що призводить до порушення кровообігу); припинення дихання внаслідок судомного скорочення м'язів грудної клітки, що беруть участь у процесі дихання; електричний шок (своєрідна нервово-рефлекторна реакція організму у відповідь на подразнення електричним струмом, що супроводжується розладами кровообігу, дихання, обміну речовин і т. ін.). Можлива також одночасна дія двох або навіть усіх трьох вищеназваних причин. Слід зазначити, що шоківий стан може тривати від кількох десятків хвилин до декількох діб. При тривалому шоківому стані зазвичай настає смерть.

Різні за величиною струми справляють відповідний вплив на організм людини. Розрізняють три основних порогових значення сили струму:

- пороговий відчутний струм - найменше значення електричного струму, при проходженні якого через тіло людини виникають відчутні подразнення;
- пороговий невідпускаючий струм - найменше значення електричного струму, яке зумовлює судомні скорочення м'язів руки, в котрій затиснутий провідник, що унеможливує самостійне звільнення людини від дії струму;
- пороговий фібриляційний (смертельно небезпечний) струм - найменше значення електричного струму, що спричинює при проходженні через тіло людини фібриляцію серця.

Струм (змінний та постійний) понад 5 А викликає миттєву зупинку серця, минаючи стан фібриляції.

Таким чином, чим більший струм проходить через тіло людини, тим більшою є небезпека ураження. Однак необхідно зазначити, що це твердження не є безумовним, оскільки небезпека ураження залежить також і від інших чинників, наприклад, від індивідуальних особливостей людини. Значення

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

прикладеної напруги U_p Впливає на наслідки ураження, оскільки згідно зі законом Ома визначає силу струму, що проходить через тіло людини.

Крім того, зі збільшенням прикладеної напруги зменшується опір тіла людини. Отже, чим вище значення напруги, тим більша небезпека ураження електричним струмом. Умовно безпечною для життя людини прийнято вважати напругу, що не перевищує 42 В змінного струму (в Україні така стандартна напруга становить 36 та 12 В), при якій не повинен статися пробій шкіри людини, що призводить до різкого зменшення загального опору її тіла.

Електричний опір тіла людини - залежить переважно від стану шкіри та центральної нервової системи. Загальний електричний опір тіла людини можна представити як суму двох опорів шкіри та опору внутрішніх тканин тіла. Найбільший опір проходженню струму чинить шкіра, особливо її зовнішній ороговілий шар (епідерміс), товщина якого становить близько 0,2 мм. Опір внутрішніх тканин тіла незначний і становить 300-500 Ом. У цьому можна переконатися, якщо до язика прикласти контакти батарейки; при цьому відчувається легке поштування. Якщо ці ж контакти прикласти до шкіри тіла, то відчутних подразнень не виникає, оскільки опір сухої шкіри (епідермісу) значно більший.

Загальний опір тіла людини змінюється в широких межах - від 1 до 100 кОм, а іноді й більше. Для розрахунків опір тіла людини умовно приймають рівним $R = 1$ кОм. При зволоженні, забрудненні та пошкодженні шкіри (потовиділення, порізи, подряпини тощо), збільшенні прикладеної напруги, площі контакту, частоти струму та часу його дії опір тіла людини зменшується до певного мінімального значення (0,5-0,7 кОм).

Опір тіла людини зменшується також при захворюваннях шкіри, центральної нервової та серцево-судинної систем, проявах алергічної реакції тощо. Тому нормативно-правові акти з охорони праці передбачають обов'язкові попередній та періодичні медичні огляди працівників (кандидатів у

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

працівники) для встановлення їх придатності щодо обслуговування діючих електроустановок за станом здоров'я.

Вид та частота струму

Вид та частота струму, що проходить через тіло людини, також впливають на наслідки ураження. Постійний струм приблизно в 4-5 разів безпечніший за змінний. Це пов'язано з тим, що постійний струм у порівнянні зі змінним промислової частоти такого ж значення викликає слабші скорочення м'язів та менш неприємні відчуття. Його дія, в основному, тепла. Однак слід зауважити, що вищезазначене стосовно порівняльної небезпеки постійного та змінного струму є справедливим лише для напруги до 500 В. При більш високих напругах постійний струм стає небезпечнішим, ніж змінний.

Частота змінного струму також відіграє важливе значення стосовно питань електробезпеки. Так, найбільш небезпечним вважається змінний струм частотою 20-100 Гц. При частоті меншій 20 або більшій за 100 Гц небезпека ураження струмом помітно зменшується. Струм частотою понад 500 кГц не може смертельно уразити людину, однак дуже часто спричинює опіки.

Тривалість дії струму на організм людини - істотно впливає на наслідки ураження: чим більший час проходження струму, тим швидше виснажуються захисні сили організму; при цьому опір тіла людини різко знижується і важкість наслідків зростає. Наприклад, для змінного струму частотою 50 Гц гранично допустимий струм при тривалості дії 0,1с становить 500 мА, а при дії протягом 1с - вже 50 мА.

Струм, ледь відчутний для одних людей, може бути невідпускаючим для інших. Для жінок порогові значення струму є приблизно в півтора разу нижчими, ніж для чоловіків.

Ступінь впливу струму істотно залежить від стану нервової системи та всього організму в цілому. Так, у стані нервового збудження, депресії, сп'яніння, захворювання (особливо при захворюваннях шкіри, серцевосудинної та центральної нервової систем) люди значно чутливіші до дії на них струму.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Важливе значення має також уважність та психічна готовність людини до можливої небезпеки ураження струмом. У переважній більшості випадків несподіваний електричний удар призводить до важчих наслідків, ніж при усвідомленні людиною існуючої небезпеки ураження.

Умови навколишнього середовища - можуть підвищувати небезпеку ураження людини електричним струмом. Так, у приміщеннях з високою температурою та відносною вологістю повітря наслідки ураження можуть бути важчими, оскільки значне потовиділення для підтримання теплобалансу між організмом та навколишнім середовищем призводить до зменшення опору тіла людини.

Відповідно до правил улаштування електроустановок приміщення за характером навколишнього середовища поділяються на:

- сухі, у яких відносна вологість повітря не перевищує 60%;
- вологі, у яких відносна вологість повітря знаходиться в межах 60- 75 %;
- сирі, у яких відносна вологість повітря перевищує 75 %;
- особливо вологі, у яких відносна вологість повітря наближається до 100 % (на стелі, стінах, обладнанні конденсується волога);
- гарячі, в яких температура повітря впродовж доби перевищує 35 °С;
- запилені, в яких за умовами виробництва утворюється пил у такій кількості, що він може осідати на проводах, проникати всередину споживачів електроенергії;
- з хімічно-активним середовищем, у якому постійно або впродовж тривалого часу виділяються агресивні випари або гази, що призводять до руйнування ізоляції та струмовідних частин електрообладнання.

Запилені приміщення поділяються на приміщення зі струмопровідним та неструмопровідним пилом.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

8.3 Допустимі значення струмів і напруг

Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту людей від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг дотику та струмів, що проходять через тіло людини.

Напруга дотику (доторкання) це напруга між двома точками електричного кола, до яких одночасно доторкається людина. Гранично допустимі значення напруги дотику та сили струму для нормального (безаварійного) та аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини по шляху "рука - рука" чи "рука - ноги" регламентуються ГОСТом 12.1.038-82

У разі виконання роботи в умовах високої температури (понад 25 °С) і відносної вологості повітря (понад 75 %) значення табл 8.1 необхідно зменшити у три рази.

Аварійний режим електроустановки означає, що вона має певні пошкодження, які можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій. Як видно із табл. 8.2, значення істотно залежать від тривалості дії струму.

Гранично допустимі значення сили струму (змінного та постійного), що проходить через тіло людини при тривалості дії понад 1 с нижчі за пороговий невідпускаючий струм, тому за таких значень людина, доторкнувшись до струмовідних частин установки, здатна ще самостійно звільнитися від дії електричного струму.

Вид струму	Позначення	Тривалість дії струм, с					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	> 1.0
Змінний 50 Гц	$U_{\text{апт}}$	500	250	100	70	50	36
	I_a	500	250	100	70	50	6
Постійний	$U_{\text{дот}}$	500	400	250	230	200	40
	$I_{\text{л}}$	500	400	250	230	200	15

Таблиця 8.1. Гранично допустимі значення напруги дотику и та сили струму, що проходить через тіло людини при аварійному режимі електроустановки

8.4 Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом усі приміщення поділяються на три категорії:

- приміщення без підвищеної небезпеки;
- приміщення з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні приміщення.

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю в них однієї з наступних умов, що створюють підвищену небезпеку: високої відносної вологості повітря (перевищує 75 % протягом тривалого часу); високої температури (перевищує 35 °С протягом тривалого часу); струмопровідного пилу; струмопровідної підлоги (металевої, земляної, залізобетонної, цегляної та ін.); можливості одночасного доторкання до металевих елементів технологічного устаткування чи металоконструкцій будівлі, що з'єднані зі землею та металевих частин електроустаткування, які можуть опинитись під напругою.

Особливо небезпечні приміщення характеризуються наявністю однієї з умов, що створюють особливу небезпеку: дуже високої відносної вологості повітря (близько 100%), хімічно активного середовища; або одночасною наявністю двох чи більше умов, що створюють підвищену небезпеку.

Приміщення без підвищеної небезпеки характеризуються відсутністю умов, що створюють особливу або підвищену небезпеку.

Умови поза приміщеннями прирівнюються до особливо небезпечних.

Оскільки наявність небезпечних умов впливає на наслідки випадкового доторкання до струмовідних частин електроустаткування, то для ручних переносних світильників, місцевого освітлення виробничого устаткування та

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

електрифікованого ручного інструменту в приміщеннях з підвищеною небезпекою допускається напруга живлення не вище 42 В, а в особливо небезпечних приміщеннях і поза приміщеннями - не вище 12 В.

8.5 Безпечна експлуатація електроустановок Умови ураження людини струмом при доторканні до струмовідних частин електромереж

Якщо людина одночасно доторкається до щонайменше двох точок, між якими існує деяка напруга, і при цьому утворюється замкнуте електричне коло, то через тіло людини проходить електричний струм. Величина цього струму, а відтак і небезпека ураження людини, залежить від низки чинників: схеми під'єднання людини до електричного кола, напруги мережі, схеми самої мережі, режиму її нейтралі, якості ізоляції струмовідних частин від землі, ємності струмовідних частин відносно землі та ін.

За значенням номінальної напруги електромережі поділяються на:

- мережі з напругою понад 1000 В;
- мережі з напругою до 1000 В;
- мережі малої напруги (не вище 42 В змінного та 110 В постійного струму). За видом струму електромережі поділяються на мережі постійного і змінного струму (одно - та багатозаземлені). Найчастіше в промисловості застосовуються трифазні мережі з ізольованою нейтраллю (трьохпровідні) та з глухо-заземленою нейтраллю (чотирьохпровідні).

Глухозаземлена нейтраль - нейтраль генератора чи трансформатора, яка приєднана до заземлювального пристрою безпосередньо або через апарати з малим опором.

Ізольована нейтраль - це нейтраль трансформатора чи генератора, яка не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через апарати з великим опором (трансформатори напруги, компенсаційні котушки тощо). Найбільш характерними є дві схеми під'єднання людини до електричного кола: між двома фазами електричної мережі (двофазне доторкання) та між однією фазою та землею (однофазне доторкання).

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

8.6 Технічні способи та засоби захисту

Технічні способи та засоби захисту (ТСЗЗ) поділяють на:

- ТСЗЗ при нормальних режимах роботи електроустановок (ізоляція струмовідних частин, забезпечення недоступності неізольованих струмовідних частин, попереджувальні сигналізація, знаки та написи, застосування малих напруг, захисне розділення електромереж, вирівнювання потенціалів);

- ТСЗЗ при переході напруги на металеві нормально неструмовідні частини електроустановок (захисні заземлення, занулення, вимикання); - електрозахисні засоби та запобіжні пристосування. - ТСЗЗ при нормальних режимах роботи електроустановок

8.6.1 Ізоляція струмовідних частин

Забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм. Розрізняють робочу, додаткову, подвійну та посилену ізоляцію.

Робочою називається ізоляція струмовідних частин електроустановки, яка забезпечує її нормальну роботу та захист від ураження струмом.

Додатковою називається ізоляція, яка застосовується додатково до робочої і у випадку її пошкодження забезпечує захист людини від ураження струмом.

Подвійною називається ізоляція, яка складається з робочої та додаткової. Наприклад, додаткова ізоляція досягається шляхом виготовлення корпусів та рукояток електроустаткування із діелектричних матеріалів (пластмасові корпуси ручних електрифікованих інструментів, побутових електропристроїв тощо).

Посиленою називається покращена робоча ізоляція.

Забезпечення недоступності неізольованих струмовідних частин передбачає застосування захисних огорожень, блокувальних пристроїв та

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

розташування неізолюваних струмовідних частин на недосяжній висоті чи в недоступному місці.

Захисні огороження можуть бути суцільними та сітчастими. Суцільні огороження (корпуси, кожухи, кришки і т. ін.) застосовуються в електроустановках з напругою до 1000 В, а сітчасті (огорожі, бар'єри) - до і вище 1000 В. Вони повинні встановлюватись на відстані до струмопровідних частин не менше за припустиму.

Якщо під час експлуатації електроустановок передбачений періодичний доступ (для оглядів, технічного обслуговування, ремонтів) до їх огорожених зон, в яких знаходяться неізолювані струмові дні частини, то дверцята, кришки, двері цих огорожень повинні мати блокувальні пристрої. Останні забезпечують зняття напруги зі струмовідних частин у разі відкриття огороження та спробі проникнути в небезпечну зону. Блокувальні пристрої за принципом дії поділяються на механічні, електричні та електронні.

Розташування неізолюваних струмовідних частин на недосяжній висоті чи у недоступному місці забезпечує безпеку без захисних огорожень та блокувальних пристроїв. Обираючи необхідну висоту підвісу проводів під напругою, враховують можливість випадкового доторкання до них довгих струмопровідних елементів, інструменту чи транспорту. Так, висота підвісу проводів повітряних ліній електропередач відносно землі при лінійній напрузі до 1000 В повинна бути не меншою ніж 6 м. Розташування неізолюваних струмовідних частин у спеціальних приміщеннях чи комірках, що зачиняються на ключ (знімну ручку), обмежує доступ до них сторонніх осіб.

Попереджувальні сигналізація, знаки та написи.

Є пасивними засобами захисту, які не усувають небезпеки ураження, а лише інформують про й наявність. Попереджувальна сигналізація може бути світловою (лампочки, світлодіоди і т. ін.) та звуковою (зумери, дзвінки, сирени). На виробництві широко використовують світлову сигналізацію для попередження про наявність напруги на тих чи інших частинах

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

електроустаткування. Наприклад, при подачі напруги на електроустаткування на пульті керування загоряється сигнальна лампочка "Мережа".

Мала напруга застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. До малих напруг належать номінальні напруги, що не перевищують 42 В змінного струму та 110 В постійного струму. За таких напруг струм, що може пройти через тіло людини, є дуже малим і вважається відносно безпечним. Однак гарантувати цілковиту безпеку неможливо, тому поряд з малою напругою використовують й інші способи та засоби захисту.

Малі напруги застосовують у приміщеннях з підвищеною небезпекою (напруга до 42 В включно) та в особливо небезпечних приміщеннях (напруга до 12 В включно) для живлення ручних електрифікованих інструментів, переносних світильників, для місцевого освітлення на виробничому устаткуванні.

Джерелами такої напруги можуть слугувати батареї гальванічних елементів, акумулятори, трансформатори і т. ін. На рис. 3.22 наведено схему знижувального трансформатора, що містить металевий корпус і, магнітопровід 2, екран 3, обмотки низької 4 та високої 5 напруги.

Для захисту від переходу високої напруги в мережу низької напруги вторинну обмотку трансформатора приєднують до нульового проводу або заземлюють (так само як металевий корпус і екран трансформатора).

Для унеможливлення випадкового приєднання електрообладнання з малою напругою живлення до мережі більш високої напруги штепсельні вилки та розетки відповідних напруг мають свої конструктивні відмінності. Отже, застосування малих напруг суттєво зменшує небезпеку ураження електричним струмом, однак при цьому зростає значення робочого струму, а відтак і переріз провідників, що, в свою чергу, збільшує витрати кольорових металів (міді, алюмінію). Крім того, при малих напругах істотно зростають втрати електроенергії в мережі, що обмежує її протяжність.

										Лист
										77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	6.131.01ВР.000.00 ПЗ					

У силу вищеназваних обставин малі напруги мають обмежене використання в електронезбезпечних приміщеннях (особливо небезпечних і з підвищеною небезпекою) і застосовуються лише для живлення переносного електрообладнання, яке, на відміну від стаціонарних електроустановок, експлуатується в більш важких умовах (зазнає механічних впливів, змін температури, вологості тощо).

Вирівнювання потенціалів є способом зниження напруг дотику та кроку між точками електричного кола, до яких можливе одночасне доторкання людини або на яких вона може одночасно стояти. Вирівнювання потенціалів досягається шляхом штучного підвищення потенціалу опорної поверхні ніг до рівня потенціалу струмовідної частини, а також при контурному заземленні. Вертикальні заземлювачі в контурному заземленні (рис. 3.23) розміщуються як по контуру, так і всередині захищеної зони і з'єднуються сталевими полосами. У разі замикання струмовідних частин на корпус, що приєднаний до такого контурного заземлення, ділянки землі всередині контура набувають високих потенціалів, які наближаються до потенціалу заземлювачів. Завдяки цьому максимальні напруги дотику та кроку Іп знижуються до допустимих значень.

Чим протяжніша та розгалуженіша електромережа, тим меншим є її опір ізоляції та більшою ємність відносно землі. Отже, якщо таку електромережу розділити на низку невеликих мереж (дільниць) такої ж напруги, які мають незначну ємність та великий опір ізоляції, то при цьому значно підвищується безпека експлуатації електроустановок.

8.7 Технічні способи та засоби захисту при переході напруги на нормально неструмовідні частини електроустановок

Захисне заземлення застосовують у мережах з напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю та в мережах напругою вище 1000 В з будь-яким режимом нейтралі джерела живлення.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання зі землею або з її еквівалентом металевих частин електроустановки, які нормально не перебувають під напругою, але можуть опинитись під нею в аварійних режимах.

Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих конструктивних частинах електроустановки (наприклад, унаслідок замикання на корпус фази при пошкодженні її ізоляції) забезпечити захист людини від ураження електричним струмом у разі її доторкання до таких частин. Це досягається шляхом зниження до безпечних значень напруг дотику та кроку.

Заземлювальним пристроєм називають сукупність конструктивно з'єднаних заземлювальних провідників та заземлювача. Заземлювач - провідник або сукупність електрично з'єднаних провідників, які перебувають у контакті зі землею або її еквівалентом. Заземлювачі бувають природні та штучні. Як природні заземлювачі використовують електропровідні частини будівельних і виробничих конструкцій, а також комунікацій, які мають надійний контакт із землею (водогінні та каналізаційні трубопроводи, фундаменти будівель і т. ін.).

Захисне занулення - застосовується в чотирьохпровідних мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю. Відповідно до ПУЕ, занулення корпусів електроустановок використовується в тих випадках, що й захисне заземлення.

Занулення - це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним проводом металевих частин електроустановки, які нормально не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею в аварійних режимах роботи.

Нульовий захисний провід - це провід, який з'єднує частини, що підлягають зануленню, з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму або її еквівалентом.

Захисне вимикання застосовується як основний або додатковий захисний засіб у будь-яких електроустановках, але особливо тоді, коли з різних причин

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

важко забезпечити ефективно заземлення чи занулення, а також коли є висока імовірність випадкового доторкання до струмопровідних частин. Такі умови частіше за все виникають у пересувних електроустановках, а також у стаціонарних, що розташовані в районах з поганою провідністю ґрунту. Захисне вимикання є незамінним засобом для ручних електроінструментів, які у значній кількості застосовують у багатьох галузях виробництва.

Захисне вимикання - це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки (до 0,2 с) у разі виникнення в ній небезпеки ураження струмом.

8.8 Електрозахисні засоби та запобіжні пристосування

Електрозахисні засоби - це технічні вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Залежно від призначення електрозахисні засоби поділяються на ізолювальні, огорожувальні та запобіжні.

Ізолювальні електрозахисні засоби - призначені для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою та від землі, якщо людина одночасно доторкається до землі чи заземлених частин електроустановок та струмопровідних частин чи металевих конструктивних елементів (корпусів), які опинилися під напругою.

Розрізняють основні та додаткові ізолювальні електрозахисні засоби.

- До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких упродовж тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки, і тому ними дозволяється доторкатись до струмовідних частин, що знаходяться під напругою. До них належать: при роботах у електроустановках з напругою до 1000 В - діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, ізолювальні кліщі, покажчики напруги, інструменти з ізолювальними рукоятками,

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

електровимірювальні кліщі; а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В

- ізолювальні штанги, електровимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги, покажчик напруги для фазування. - Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості й призначені для підсилення захисної дії основних засобів. Тому вони застосовуються лише одночасно з основними засобами. До додаткових ізолювальних електрозахисних засобів належать: при роботах у електроустановках з напругою до 1000 В

- діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки тощо; при роботах у електроустановках з напругою понад 1000 В - діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки та інші засоби захисту.

Огороджувальні електрозахисні засоби (Щити, ширми, екрани, плакати електробезпеки) призначені для захисту працівників, котрі виконують роботи в електроустановках, від випадкового доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмовідних частин, що знаходяться під напругою, а також для тимчасового огороження входів у комірки, камери та проходів у приміщення, в які вхід працівникам заборонений.

Запобіжні електрозахисні засоби та пристосування призначені: для захисту персоналу від випадкового падіння з висоти (запобіжні пояси, страхувальні канати); для забезпечення безпечного піднімання на висоту (ізолювальні драбини, кігті-лази монтерські); для запобігання нещасним випадкам при помилковому або самочинному увімкненні комутаційних апаратів або при наведеній напрузі (переносне заземлення); для захисту від світлової, теплової, механічної дії електричної дуги (захисні окуляри, щитки, спецодяг, каски, захисні рукавички тощо).

Електрозахисні ізолювальні засоби застосовуються в закритих електроустановках, а в суху погоду - у відкритих. Забороняється виконувати

					6.131.01BP.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

роботи із використанням основних електрозахисних засобів у відкритих електроустановках під час дощу, снігопаду, туману тощо.

8.9 Організаційні та технічні заходи електробезпеки

До роботи на електроустановках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли інструктаж та навчання з безпечних методів праці, перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади чи роботи, яку вони виконують та кваліфікаційної групи з електробезпеки, і які не мають протипоказань, визначених Міністерством охорони здоров'я України.

З метою профілактики професійних захворювань, нещасних випадків та забезпечення безпеки праці працівники, що обслуговують діючі електроустановки, в обов'язковому порядку проходять попередній (при прийнятті на роботу) та періодичні (термін обумовлений професією та характеристикою роботи) медичні огляди.

Роботи в електроустановках стосовно їх організації поділяються на такі, що виконуються:

- за нарядом-допуском;
- за розпорядженням;
- у порядку поточної експлуатації.

Безпека робіт у діючих електроустановках досягається наступними організаційними заходами:

- затвердження переліку робіт, що виконуються за нарядами, розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації;
- призначення осіб, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- оформлення нарядом, розпорядженням або затвердженням переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- підготовка робочих місць;
- допуск до роботи, нагляд під час виконання робіт; - переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв у роботі та її закінчення.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Робота в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяється на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них;
- без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

До технічних заходів, які необхідно виконувати в діючих електроустановках для забезпечення безпеки робіт належать:

При проведенні робіт зі зняттям напруги в діючих електроустановках:

- вимкнення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергії;

- механічне блокування приводів апаратів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, що забезпечує електропостачання, та інші заходи, що унеможливають випадкову подачу напруги до місця проведення робіт;

- вивішування заборонних плакатів на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

- перевірка відсутності напруги на струмовідних частинах, які слід заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом;

- встановлення заземлення (увімкнення заземлюваних ножів);

- встановлення переносних заземлень);

- огороження робочих місць або струмовідних частин, що залишаються під напругою, і вивішування на огороженнях плакатів безпеки;

При проведенні робіт без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них:

- виконання робіт за нарядом не менш ніж двома працівниками із застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом, із забезпеченням безпечного розташування працівників, використовуваних механізмів та пристосувань;

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

При проведенні робіт без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою, є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмовідних частин на відстань, меншу від допустимої, тому передбачати технічні та організаційні заходи для запобігання такому наближенню не потрібно.

8.10 Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом

Після припинення дії електричного струму на людину необхідно викликати лікаря, а до його прибуття надати потерпілому необхідну допомогу. Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому перебуває потерпілий. Для оцінки стану потерпілого перевіряють наявність у нього свідомості, дихання, пульсу. Потерпілий, після звільнення від дії електричного струму, зазвичай може перебувати в одному з трьох станів:

- при свідомості;
- непритомний, однак у нього є дихання та пульс;
- у стані клінічної смерті (відсутнє дихання та не прощупується пульс).

Якщо потерпілий при свідомості, то його необхідно покласти на підстилку з тканини чи одягу, створити приплив свіжого повітря, розстібнути одяг, що стискає та перешкоджає диханню, розтерти та зігріти тіло і забезпечити спокій до прибуття лікаря. Потерпілому, що знаходиться в непритомному стані, треба дати понюхати нашатирний спирт або збризнути обличчя холодною водою. Коли потерпілий прийде до тями, дати йому випити 15-20 крапель настоянки валеріани та гарячого чаю.

За відсутності ознак життя (дихання та пульсу) потрібно негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію (СЛР); адже імовірність успіху тим менша, чим більше часу минуло від початку клінічної смерті. До заходів СЛР належать штучне дихання та непрямий (закритий) масаж серця. Штучне дихання виконується способом "з рота в рот" або "з рота в ніс". Людина, яка надає допомогу, робить видих зі своїх легень у легені потерпілого

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		84

безпосередньо в його рот чи ніс; у повітрі, що видихається людиною є ще досить кисню. Попередньо потерпілого необхідно покласти спиною на тверду рівну поверхню, звільнити від одягу, що стискає (розстебнути комір сорочки, пасок, послабити краватку), підкласти під лопатки невеликий валик з будь якого матеріалу (можна з одягу), відхилити голову максимально назад.

Перш ніж розпочати штучне дихання, необхідно переконатися в прохідності верхніх дихальних шляхів, які можуть бути закриті запалим язиком, сторонніми предметами, накопиченим слизом.

При проведенні штучного дихання слід бути уважним: коли у потерпілого з'являються перші ознаки слабкого поверхневого дихання, необхідно до нього пристосувати ритм штучного дихання.

Необхідно зазначити, що існують спеціальні засоби для штучного дихання, які, перш за все, дозволяють уникнути прямого контакту між ротом потерпілого та ротом рятівника. Саме ця обставина іноді створює своєрідний психологічний бар'єр у не підготовленого рятівника. Для того, щоб не завдати шкоди потерпілому, рятівник повинен уміти користуватись такими засобами. Загалом, застосування спеціальних засобів штучного дихання не суттєво сприяє підвищенню якості реанімації та, найголовніше, призводить до втрати часу, що може іноді виявитись вирішальним для життя потерпілого.

У випадку зупинки серця, яку можна визначити за відсутністю у потерпілого пульсу на сонній артерії та розширенням або у разі фібриляції серця.

При необхідності проведення непрямого масажу серця потерпілого кладуть спиною на тверду поверхню (підлога, стіл), оголюють його грудну клітку, розстібають пасок. Рятівник стає ліворуч або праворуч від потерпілого, поклавши на нижню третину грудної клітки кисті рук (одна на одну), енергійно (поштовхами) натискає на неї. Натискати потрібно досить різко, використовуючи при цьому масу власного тіла, і з такою силою, щоб грудна

									Лист
									85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

клітка прогиналась на 4-5 см у бік хребта. Необхідна частота становить 60-65 натиснень на хвилину.

Масаж серця необхідно поєднувати зі штучним диханням. Якщо СЛР виконує одна людина, то заходи щодо рятування потерпілого необхідно проводити в такій послідовності: після двох глибоких вдубань у рот чи ніс зробити 15 натиснень на грудну клітку, потім знову повторити два вдубання і 15 натиснень для масажу серця і т. ін. Якщо допомогу надають двоє рятівників, то один повинен робити штучне дихання, а інший - непрямий масаж серця, причому під час вдубання повітря масаж серця припиняють Після одного вдубання повітря в легені потерпілого необхідно п'ять разів натиснути на його грудну клітку.

Заходи щодо оживлення можна вважати ефективними, якщо звузились зіниці; шкіра почала рожевіти (у першу чергу, шкіра верхньої губи); при масажних поштовхах явно відчувається пульс на сонній артерії. Штучне дихання та непрямий масаж серця необхідно виконувати доти, поки у потерпілого повністю не відновиться дихання та робота серця або поки не прибуде швидка медична допомога.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герман, В.Ф. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра: для студ. спец. 131 "Прикладна механіка" освітня програма "Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика" усіх форм навчання / В. Ф. Герман, О. Г. Гусак, В. О. Панченко. — Суми : СумДУ, 2018. — 32 с.
2. Гусак, О. Г. Теорія гідромашин : навч. посіб. / О. Г. Гусак, В. О. Панченко. — Суми : СумДУ, 2022. — 158 с.
3. Колісніченко, Е. В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту зі спеціальності «Розрахунок та проектування консольного насоса з використанням теорії подібності» : для студ. напрямку 050502 «Інженерна механіка» спец. 6.050502 «Гідравлічні і пневматичні машини» денної та заочної форм навчання / Е. В. Колісніченко, В. О. Панченко. – Суми : СумДУ, 2011. – 37 с.
4. Кондусь, В. Ю. Лопатеві насоси : навч. посіб. / В. Ю. Кондусь, О. І. Котенко. — Суми : СумДУ, 2021. — 293 с.
5. Колісніченко, Е. В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту зі спеціальності на тему «Розрахунок і проектування відвідних пристроїв» : для студ. напрямку 6.050502 «Інженерна механіка» спец. 7.05050205 «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика» денної та заочної форм навчання / Е. В. Колісніченко, С. О. Лугова, В. О. Панченко. – Суми : СумДУ, 2013. – 27 с.
6. Панченко, В. О. Методичні вказівки до практичної роботи з теми «Зрівноважування осьової сили у відцентровому насосі» з дисципліни «Розрахунок і конструювання насосів» : для студ. спец. 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика») / В. О. Панченко. – Суми : СумДУ, 2018. – 27 с.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

7. Панченко, В. О. Підконтрольна 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.
8. Охорона праці в галузі : навчальний посібник / П. С. Атаманчук, В. В. Мендерецький, О. П. Панчук, Р. М. Білик ; Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. — К. : ЦУЛ, 2013. — 322 с.

					6.131.01ВР.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		88