

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

ВИПУСКНА РОБОТА

на тему:

Розробка конденсатного насоса

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

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

Виконавець роботи

Данільченко Андрій Вікторович
прізвище, ім'я, по-батькові

підпис, дата

Науковий керівник

К.Т.Н., доцент

науковий ступінь, учене звання

Панченко В.О.

прізвище, ім'я, по-батькові

підпис, дата

Суми 2022

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.
“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
до випускної роботи бакалавра студенту

Данільченку Андрію Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1. Тема роботи - «Розробка конденсатного насоса»**
затверджена наказом по університету від ___ " ___ " _____ 20__ р. № _____
- 2. Термін здачі студентом закінченої роботи - 31.05.2022 р.**
- 3. Вихідні дані до проекту:**
параметри насосу:
подача насоса $Q_n = 760 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H_n = 185 \text{ м}$, частота обертів
 $n_n = 1500 \text{ об/хв}$.
- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити):**
гідравлічні розрахунки, розрахунки з вибору електродвигуна, розрахунок кінцевого ущільнення, розрахунки на міцність, розрахунки з вибору підшипників.
- 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**
креслення робочого колеса (А1), складальне креслення насосу (А1), теоретична креслення робочого колеса (А1), креслення напрямного апарату (А1).

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Найменування етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика консольних насосів	до 21.04.2022	
2	Вибір конструктивної схеми насоса		
3	Опис конструкції вибраного насоса		
4	Гідравлічні розрахунки		
5	Теоретичне креслення робочого колеса		
6	Виконання розділу «Охорона праці»		Керівник
7	Виконання економічного розділу		Керівник
8	Оформлення звіту з практики		
9	Розрахунки з вибору електродвигуна	до 25.04.2022	
10	Розрахунок кінцевого ущільнення		
11	Розрахунки на міцність		
12	Розрахунки з вибору підшипників		
13	Креслення робочого колеса	до 30.04.2022	
15	Складальне креслення насоса	до 15.05.2022	Керівник
17	Оформлення РПЗ та графічних матеріалів	до 09.06.2022	
18	Представлення роботи керівнику. Внесення поправок.	до 10.06.2022	
19	Перевірка роботи на плагіат.	до 15.06.2022	
20	Час для попереднього захисту. Підготовка доповіді до захисту.	до 15.06.2022	
21	Розміщення роботи в репозитарій. Отримання рецензії.	до 20.06.2022	
22	Захист роботи в ЕК (згідно графіка захисту).	з 22.06.2022 до 26.06.2022	До захисту робота допускається після перевірки на плагіат

Дата видачі завдання - 01.02.2022 р.

Студент

(підпис)

Керівник

(підпис)

Панченко В.О.

(прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка: 80 с., 13 рисунків, 5 таблиць, 7 літературних джерел.

Тема дипломного проекту «Розробка конденсатного насоса»

Графічні матеріали: 4 аркуша формату А1:

креслення робочого колеса, складальне креслення насоса, теоретичне креслення відводу, монтажне креслення насосного агрегату

Мета проекту – розробка насосу для перекачування гарячого рідинного парового конденсату на параметри: подача $760 \text{ м}^3/\text{год}$, напір – 185 м.

Відповідно до поставленої мети було:

- обґрунтовано вибір конструктивної схеми насоса;
- виконано опис конструкції;
- виконано гідравлічні розрахунки;
- виконано розрахунки на міцність: вала, шпонкових з'єднань;
- вибрана з'єднувальна муфта.

У розділі з економіки розглянуто суть та характеристику потокового виробництва.

У розділі із охорони праці розглянуто нормування параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях.

Ключові слова: НАСОС, КОНДЕНСАТ, ПАРА, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ, ТИСК.

Зміст

Завдання.....	2
Реферат.....	3
Вступ.....	5
1.Вибір та опис вибраної схеми.....	6
1.1.1 Призначення та область застосування.....	6
1.1.2 Пристрій та принцип роботи.....	6
1.1.3 Опис конструкції насоса.....	7
1.2 Вибір конструктивної схеми.....	9
1.2.1 Вибір кількості ступеней та потоку насоса.....	9
1.2.2 Вибір вертикальної секції двокорпусної конструкції.....	10
2. Гідравлічний розрахунок.....	12
2.1 Розрахунок шнеко-відцентрової ступені насоса.....	12
2.2 Розрахунок та проектування відцентрового робочого колеса.....	17
2.3 Розрахунок направляючого апарату.....	45
3. Розрахунок на міцність.....	48
3.1 Розрахунок сили діючої на ротор насоса.....	48
3.2 Розрахунок вала на міцність.....	51
3.3 Розрахунок шпонкового з'єднання.....	54
3.4 Розрахунок довговічності підшипників.....	55
4. Розрахунок ущільнення.....	57
5. Вибір електродвигуна.....	60
6.Охорона праці.....	61
7. Економічна частина.....	69
Список літератури.....	79

					131.04ВР.000.00ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Розробка конденсатного насосу параметри $Q=760 \text{ м}^3/\text{год}$ и $H=185 \text{ м}$	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.	Данільченко							
Провер.	Панченко						4	
Реценз.						СумДУ, ГМс-81		
Н. Контр.	Алексеевко							
Утверд.								

Вступ

Однією із головних умов щодо необхідності забезпечення максимальної ефективності під час роботи пароконденсатної системи на підприємствах різних галузей є можливість повернення чистого конденсату в котельню для подальшого його використання у технологічному процесі. Із цією метою й застосовують конденсатні насоси.

Конденсатний насос належить до класу відцентрових динамічних лопатевих насосів та призначений для перекачування рідкого конденсату у пароводяних мережах електростанції (ТЕС, ТЕЦ, АЕС), що працюють на органічному або іншого типу паливі, а також інших технологічних рідин, схожих із конденсатом за в'язкістю, хімічною активністю та вмістом домішок (твердих частинок).

На сьогодні існує необхідність у створенні конденсатних насосів із параметрами: подача $Q=760 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H=185 \text{ м}$. У даній роботі було виконано розрахунки та проектування конденсатного насосу КсВ 760-185, призначеного для подавання конденсату відпрацьованої пари із теплообмінних апаратів температурою до 120°C .

Дане обладнання характеризується високим ступенем надійності та високим рівнем продуктивності і ефективності. Насос придатний до служби упродовж тривалого часу. Конденсатні насоси типу КсВ не вибагливі під час технічного обслуговуванні та експлуатації й дуже рідко виходять з ладу. Монтаж та експлуатація такого обладнання не становлять особливої проблеми, що надає додаткової привабливості конденсатним насосам даної серії.

Крім того слід зазначити, що відмінною особливістю конденсатного насоса є досить таки задовільна всмоктувальна здатність насоса та можливість працювати в умовах кавітації.

					131.04ВР.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

1. Вибір та опис вибраної конструкції

1.1.1 Значення та область його застосування

Конденсатні насоси призначені для подавання гарячого конденсату відпрацьованої пари із конденсатора турбіни до обезсолювального фільтру турбоустановок блоків АЕС з реактором та слугує як конденсатний електронасосний агрегат першого підйому. Агрегат належить до установки класу безпеки 3 (класифікуюче значення 3Н) за НП-001-97 (ПН АЭ Г-01-011-97), категорія сейсмостійкості Пб за ПН АЭ Г-5-006-87. Корпус насоса належить до установки групи С за ПН АЭ Г-7-008-89. Агрегат має бути виготовлений для експлуатації у кліматичному виконанні ТВ, категорії розміщення 3 (при нижньому значенні температури зовнішнього повітря плюс 5 °С и верхньому плюс 40 °С), в атмосфері типу III за ГОСТ 15150-69.

1.1.2. Пристрій і принцип роботи.

Електронасосний агрегат складається з насоса та електродвигуна. Привід насоса здійснюється через сполучну втулково-пальцеву муфту. Напрямок обертання ротора проти годинникової стрілки, якщо дивитися із боку двигуна. Насос відцентровий, вертикального виконання, багатоступеневий, з предвключеним шнековим ступенем, секційний з робочими колесами однобічного входу, положення робочих коліс на валу фіксується шпонкою.

У секціях встановлені напрямні апарати. Ротор насоса складається з валу, робочих коліс, втулки. Вал ущільнюється торцевих ущільненням. Осьові зусилля сприймають упорний підшипник та гідроп'ята.

Корисна потужність насосного агрегату витрачається на збільшення питомої енергії рідини.

Робота насоса заснована на силовій взаємодії лопастей робочого колеса з потоком рідини.

					131.04ВР.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

1.1.3. Опис конструкції насоса.

Насос відцентровий, вертикальний, 3-ступеневий. Конструкція насоса забезпечує:

- Підвищення к.к.д. завдяки збільшенню коефіцієнта швидкохідності;
- Зменшення питомого навантаження на ступені з метою збільшення терміну служби;
- Зменшення габаритів насоса;
- Можливість застосування підшипників ковзання, які працюють на перекачуваному середовищі та не потребують спеціального змащення.

Насос складається з наступних основних вузлів і деталей: корпусних частин, підшипникового вузла, робочих коліс, напрямних апаратів та перевідних трубок. Корпусні частини насоса - секції, напрямні апарати, кришка всмоктування і кришка нагнітання.

У секціях насоса встановлені напрямні апарати. Направні апарати фіксуються від проворота за допомогою циліндричних штифтів.

Підшипники насоса - радіальні та радіально-упорні підшипники кочення. Залишкове осьове навантаження сприймає гідроп'ята.

Робочі колеса - відцентрові з просторовою формою лопастей, виконані суцільно литими із наступним механічним обробленням. Разом із напрямними апаратами робочі колеса утворюють робочий ступінь насоса.

Привід насоса - електродвигун.

					7.090209.13ДП.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Таблиця 1.1 – Матеріали головних деталей насоса.

Назва деталі	Матеріал	
Секція	Сталь 20Х13Л	ГОСТ 977-88
Направямний апарат	Сталь 20Х13Л	ГОСТ 977-88
Корпус відводу	Сталь 20Х13Л	ГОСТ 977-88
Корпус підводу	Сталь 20Х13Л	ГОСТ 977-88
Вал	Сталь 30Х13	ГОСТ 5632-72
Колесо робоче	Сталь 12Х18Н9Т	ГОСТ 5632-72

1.2 Вибір конструктивної схеми насоса

1.2.1 Вибір кількості ступенів та потоків насоса

За заданими напором та подачею, а також предпопередньому розрахованому робочому колесу розраховуємо кількість ступеней:

$$i = \frac{H}{H_{cm}}$$
$$i = \frac{175}{56,3} = 3,11$$

Вибираємо однопотокову схему насоса: $j=1$.

Вибираємо частоту обертання вала насоса: $n=1500$ об/хв.

Коефіцієнт швидкості:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{60 \cdot j^{0,5} \cdot \left(\frac{H}{i}\right)^{0,75}}$$
$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1500 \cdot \sqrt{760}}{60 \cdot 1^{0,5} \cdot \left(\frac{185}{3}\right)^{0,75}} = 114$$

Попередньо розраховуємо ккд насоса:

$$\eta = \left[1 - \frac{0,42}{[\lg 3250(Q/n)^{1/3} \cdot 0,172]^2} \right] \left(\frac{1}{1 + A/n_s^{2/3}} \right) \left(\frac{1}{1 + B/n_s^{2/3}} \right)$$

где $A=0,5$, $B=400$ - коефіцієнт при $n_s=116$.

$$\eta = \left[1 - \frac{0,42}{[\lg 3250(760/1500)^{1/3} \cdot 0,172]^2} \right] \left(\frac{1}{1 + 0,5/114^{2/3}} \right) \left(\frac{1}{1 + 400/114^{2/3}} \right) = 0,895$$

Вага насоса

$$G_n = 10iD_2^\alpha$$

де i – число ступенів

$\alpha = 1,027$ – для однокорпусних насосів,

$\alpha = 1,16$ – для двукорпусних насосів.

Зовнішній діаметр робочого колеса:

$$D_2 = 19,1 \frac{(2gH/i)^{0,5}}{n} 10^3$$
$$D_2 = 19,1 \frac{(2 \cdot 9,81 \cdot 185/3)^{0,5}}{1500} 10^3 = 443 \text{ мм.}$$

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	131.04ВР.000.00ПЗ				

$$G_n = 10 \cdot 3 \cdot 0.443^{1.16} = 11.7 \text{ кН}$$

Потужність насоса:

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

$$N = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 760 \cdot 185}{3600 \cdot 0.895} = 428084 \text{ Вт.}$$

Колова швидкість робочого колеса:

$$U_2 = \frac{\pi D_2}{6 \cdot 10^4}$$

$$U_2 = \frac{3.14 \cdot 1500 \cdot 443}{6 \cdot 10^4} = 34.8 \text{ м/с.}$$

Розрахункові параметри насоса:

Параметр	Значення			
	3	1	3	1
Число ступенів, <i>i</i>	3	1	3	1
Частота обертоту ротора, <i>n</i> , об/хв.	1500	1500	3000	3000
Коефіцієнт швидкохідності, <i>n_s</i>	114	48	242	112
Зовнішній діаметр, <i>D₂</i> , м	443	752	224	371
Ширина робочого колеса на вході, <i>b₁</i> , мм	15	15	15	15
Ширина робочого колеса на виході, <i>b₂</i> , мм	40	40	40	40
Діаметр вхідної кромки, <i>D₀</i> , мм	280	280	280	280
Діаметр вала, мм	120	120	120	120
Діаметр втулки, мм	155	155	155	155
Подача, <i>Q</i> , м ³ /ч	760	760	760	760
Напір, <i>H</i> , м	185	185	185	185

За отриманими параметрами попередньо складаємо конструктивну схему насоса.

Беручи до уваги досить велику вагу насоса вибираємо вертикальну схему насоса, щоб запобігти надмірному прогину вала

1.2.2 Вибираємо вертикальну секційну двокорпусну конструкцію

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

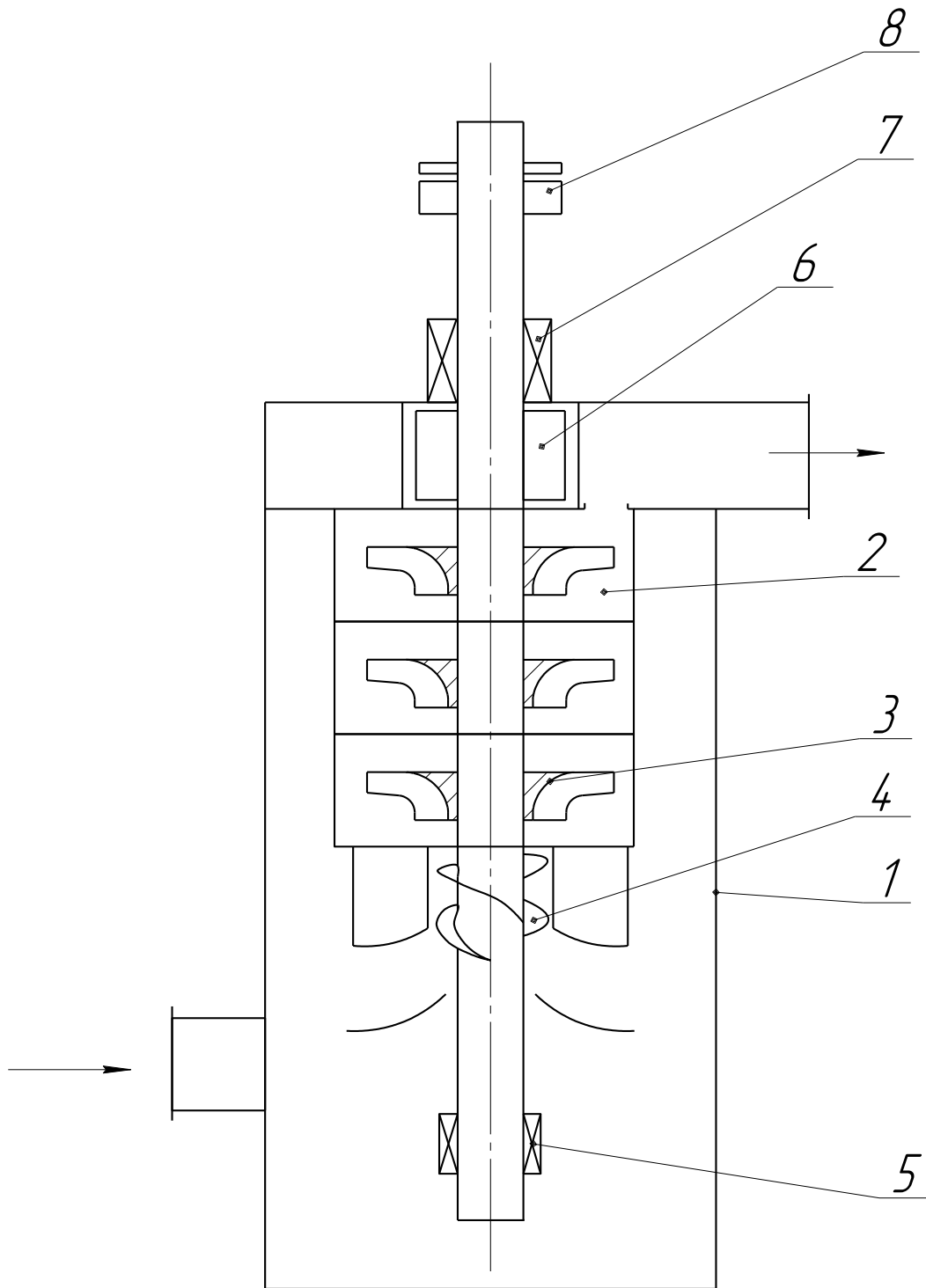


Рисунок 1 – Конструктивна схема насоса:

- 1,2 – зовнішній та внутрішній корпус; 3 – ротор; 4 - шнек;
 5 – підшипник радіальний; 6 – вузол врівноваження осьового зусилля;
 7 – кінцеве ущільнення; 8 – підшипник радіально-осьовий

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

131.04BP.000.00ПЗ

Лист

11

2. Гідравлічний розрахунок

2.1 Розрахунок шнеко-відцентрового ступеня насоса

Подача $Q=760 \text{ м}^3/\text{ч}$,
Напір $H=185 \text{ м}$,
Число обертів $n=1500 \text{ об/мин.}$,
Допустимий кавітаційний запас $\Delta h_g=2,5$
Температура перекачуваного конденсата до $160 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Вибираємо попередньо конструктивне виконання першого ступеня, виходячи зі значення допустимого кавітаційного коефіцієнта швидкохідості.

$$C_g = \frac{5,62 \cdot 1480 \cdot \sqrt{700}}{60 \cdot 2,5} = 1845$$

Приймаємо однопотоковий шнеко-відцентровий ступінь. Діаметр втулки шнека приймаємо рівним діаметру втулки ВРК:

$$d_{\text{вт}} = d_{\text{вт.к}} = 0,12 \text{ м}$$

3. Виконуємо оцінювання умови відсутності кавітаційної ерозії.

З метою підвищення кавітаційних-ерозійних властивостей шнека вибираємо тип профілю шнека - профіль із середньою лінією у вигляді дужки кола з виступом.

4. Визначаємо зовнішній діаметр шнека

$$D_{\text{ш}} = 0,12^2 = 0,371$$

Приймаємо $D_{\text{ш}} = 0,370 \text{ м}$.

5. Додатково уточнюємо умови роботи шнека без кавітаційної ерозії:

$$K_{ni} = U_{\text{ш}} \cdot D_{\text{ш}}^{1/2}$$

$$U_{\text{ш}} = \frac{\pi D_{\text{ш}} n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,37 \cdot 1500}{60} = 29,1 \text{ м/с}$$

Для води із температурой 50°C $K_n = 20$

$$K K_{ni} = 33,3 \cdot 0,37^{1/2} = 20,26; \text{ при } t^\circ\text{C} \quad K_n = 22.$$

$$K_{ni} = 20,26 < K_n = 24.$$

Отже, умова безерозійної роботи шнека виконується.

6. Визначаємо кут потоку на зовнішньому діаметрі шнека

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

$$\beta_{nu} = \arctg \frac{4Q_p}{\pi(D_{ш}^2 + d_{em}^2)U_{ш}} = \arctg \frac{4 \cdot 700}{3,14(0,43^2 + 0,3^2) \cdot 33,3 \cdot 3600} =$$

$$\arctg \frac{4 \cdot 760}{3,14 \cdot (0,37^2 + 0,155^2) 29,1 \cdot 3600} = 3,285$$

$$\arctg 0,0 < 7058 = 1^{\circ}32'$$

Для профілів із середньою лінією у вигляді дужки кола і з виступами кут атаки приймаються для розрахункового режиму при $d_{вт}=0,1 \dots 0,3$ м, $a=5^{\circ}$. Тоді

6. Визначаємо кут установлення лопаті в проміжних перерізах з умови постійності ходу гвинтової поверхні лопаті:

$$S_{ш} = 3,14 \cdot 0,43 \cdot tg 6^{\circ}32' = 0,155 \text{ м.}$$

Тоді біля втулки:

На середньому діаметрі

Де:

$$= \frac{0,43 + 0,3}{2} = 0,365$$

отже:

7. Вибираємо число лопатей і довжину лопаті. Число лопатей приймаємо рівним 3.

Довжина лопаті на зовнішньому діаметрі

Приймаємо

У втулки:

На середньому діаметре $l_{сри}$ визначаємо за результатами побудови проєкції лопаті в плані з умови радіального розміщення вихідної кромки.

Радіус заокруглення вхідної кромки

$$\rho = (0,25 \dots 0,31 \cdot D_{ш} = (0,25 \dots 0,3) \cdot 0,33 = 0,0825 \dots 0,099 \text{ м.}$$

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

131.04ВР.000.00ПЗ

9. Для шнеків із середньою лінією у вигляді дужки кола та із виступами геометричні параметри профілів вибираємо у відповідності з рекомендаціями.

Довжина виступу на зовнішньому діаметрі шнека

$$l_{\epsilon} = 0,305 \frac{\pi D_{\text{ш}}}{Z_{\text{ш}}} = 0,305 \frac{3,14 \cdot 0,33}{3} = 0,1062 \text{ м.}$$

Висота

$$h_{\text{в}} = 0,045 \frac{\pi D_{\text{ш}}}{Z_{\text{ш}}} = 0,045 \frac{3,14 \cdot 0,33}{3} = 0,0156 \text{ м.}$$

Кромка виступу розміщена радіально.

10. Перевіряємо, чи забезпечує шнек беззривну роботу ступеня. Для виконання цієї умови необхідне виконання нерівності.

$$H_{\text{ш}} = 0,195 \operatorname{tg} \alpha U_{\text{ш}}^2;$$

$$H_{\text{ш}} = 0,195 \cdot \operatorname{tg} 5^{\circ} \cdot 25,57^2 = 11,15 \text{ м.}$$

$$\Delta H_{\text{ш}} = (0,3 \dots 0,4) \cdot H_{\text{ш}};$$

$$\Delta H_{\text{ш}} = (0,3 \dots 0,4) \cdot 11,15 = 3,35 \dots 4,46 = 4,0 \text{ м.}$$

$$A = 1,5 \dots 1,8$$

$$= \frac{V_{\text{ш}}^2}{2g} + \lambda \frac{W^2}{2g};$$

$$W = \frac{2,56^2}{\frac{\sin 40^{\circ} 34'}{29^4}} = 33,4 \text{ м/с};$$

$$\lambda = 0,03;$$

$$\Delta h_{\text{kk}} = \left(\frac{5,62 n \sqrt{Q_p}}{C_{\text{kk}}} \right)^{\frac{4}{3}};$$

$$\Delta h_{\text{kk}} = \left(\frac{5,62 \cdot 1480 \cdot \sqrt{700}}{60 \cdot 1000} \right)^{\frac{4}{3}} = 5,66 \text{ м.}$$

$$\text{Тоді, } 1,98 = 12,23 - 4,0 = 1,5 \cdot 5,66;$$

$$8,04 = 9,12.$$

Отже, умова беззривної роботи ступеня виконується (шнек створює необхідний підпір для беззривної роботи ВРК).

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Розрахунок виконуємо в табличній формі:

Q	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	0,365	0,731	1,096	1,461	1,827	2,192	2,558	2,923	3,288	3,654
$W, м/с$	4,99	9,99	14,9	20,3	24,9	29,9	34,9	39,7	44,7	49,7
	0,042	0,170	0,379	0,693	1,055	1,521	2,073	2,697	3,416	4,221

11. Оцінюють вплив шнека на економічність ступені. Для цього використовуємо формулу (13):

$$\eta = \frac{\eta_k}{1 + \frac{H_{ш}}{H_k \left(\frac{\eta_k}{\eta_{ш}} - 1 \right)}} = \frac{0,82}{1 + \frac{11,15}{60 \left(\frac{0,82}{0,75} - 1 \right)}} = 0,81.$$

2.2 Розрахунок та проектування відцентрового робочого колеса

1. Визначення основних геометричних параметрів.

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

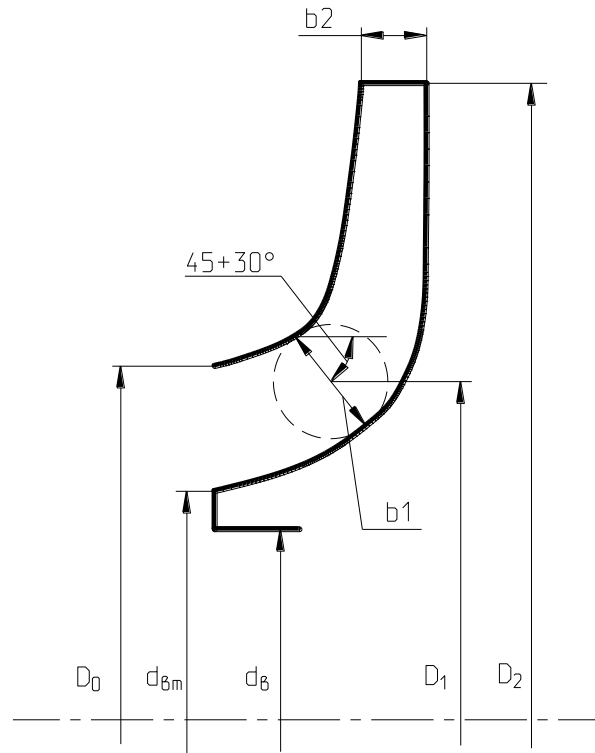


Рисунок 2.1. Меридіанний переріз

2. Вихідні дані для розрахунку.

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

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

Подача $Q = 760$ м³ / ч.

Напір $H = 61,7$ м.

Частота обертання $n = 1500$ об / хв.

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Коефіцієнт швидкохідності:

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

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1500 \cdot \sqrt{760}}{60 \cdot (61,7)^{0,75}} = 114$$

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

$$D_{1np} = K_{ex} \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}, \quad (2.2)$$

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

$$D_{1np} = 4,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{760}{3600 \cdot 1500}} = 0,234 м$$

Повний ККД насоса:

$$\eta = \eta_o \cdot \eta_r \cdot \eta_{мех'} \cdot \eta_{мех}, \quad (2.3)$$

де η_o – об'ємний ККД насоса;

η_r – гидравлічний ККД;

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

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

Об'ємний ККД:

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

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

$$\eta_o = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 114^{-2/3}} = 0,98$$

Гідравлічний ККД:

$$\eta_z = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2}, \quad (2.5)$$

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

$$\eta_z = 1 - \frac{0,42}{(\lg 234 - 0,172)^2} = 0,923$$

Внутрішній механічний ККД:

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

$$\eta_{мех'} = \frac{1}{1 + 820 \cdot 114^{-2}} = 0,951$$

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

$$\eta = 0,98 \cdot 0,951 \cdot 0,98 \cdot 0,923 = 0,843.$$

Потужність, споживана насосом:

$$N = \frac{\rho_{max} \cdot g \cdot Q_n \cdot H_n}{\eta}; \quad (2.7)$$

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 760 \cdot 185}{3600 \cdot 0,843} = 454490 \text{ кВт}$$

Подача р.к.

$$Q_{pk} = \frac{Q}{\eta_o} \quad (2.8)$$

$$Q_{pk} = \frac{760}{3600 \cdot 0,98} = 0,215 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Теоретичний напір р.к.

$$H_T = \frac{H}{\eta_z}, \quad (2.9)$$

$$H_T = \frac{61,7}{0,923} = 66,85 \text{ м}$$

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

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

$[\tau]$ – знижене допустиме напруження на кручення, Н/м².

3. Визначення діаметру вала і втулки р.к.

У першому наближенні діаметр вала визначається з розрахунку на кручення за формулою:

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Крутний момент:

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

де N_{\max} - максимальна потужність, Вт. $N_{\max} = 1,1 \cdot N = 1,1 \cdot 454 = 500$ кВт.

$$M = \frac{30 \cdot 500 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1500} = 3185 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Знижене допустиме напруження приймаємо $[\tau] = 80 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$

$$d_g = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3185}{3,14 \cdot 80 \cdot 10^5}} = 0,114 \text{ м}$$

Виходячи з конструктивних особливостей і особливостей складання насоса враховуючи розрахунки вала на критичну частоту обертання, приймаємо за ГОСТ 6636 - 69 $d_g = 0,120$ (м).

Діаметр втулки, орієнтовно вибирають:

$$d_{\text{вт}} = (1,2 \div 1,25)d_g \quad (2.12)$$

$$d_{\text{вт}} = 1,25 \cdot 0,120 = 0,150 \text{ м}$$

Приймаємо $d_{\text{вт}} = 0,155 \text{ м}$

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

$$D_{\text{вп}} = \sqrt{D_0^2 - d_{\text{вт}}^2} \quad (2.13)$$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

$$D_0 = \sqrt{D_{1np}^2 + d_{em}^2} \quad (2.14)$$

$$D_0 = \sqrt{0,232^2 + 0,155^2} = 0,279 \text{ м}$$

швидкість потоку на вході в р.к.

$$v_0 = \frac{4Q_{рк}}{\pi \cdot D_{1np}^2}, \quad (2.15)$$

де $Q_{рк}$ – подача р.к., м³/с.

$$v_0 = \frac{4 \cdot 0,215}{3,14 \cdot 0,279^2} = 3,52 \text{ м/с}$$

Задаємося положенням вхідної кромки лопаті насоса:

$$D_1 = 0,9 \cdot D_0 \quad (2.16)$$

$$D_1 = 0,9 \cdot 0,279 = 0,251 \text{ м}$$

У першому наближенні меридіан складову швидкості v'_{1m} без урахування стиснення потоку лопатями приймаються рівною v_0 . При вході потоку на лопаті меридіана складова абсолютної швидкості зростає і визначається з виразу:

$$v_{1m} = \psi_1 \cdot v'_{1m}, \quad (2.17)$$

де $\psi_1 = 1,15..1,3$ – коефіцієнт стиснення потоку на вході.

Приймаємо $\psi_1 = 1,15$.

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$v_{1m} = 1,15 \cdot 3,52 = 4,05 \text{ м/с}$$

Кут потоку на вході в лопаті розраховуємо з трикутника швидкостей:

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{v_{1m}}{U_1 - v_{u1}}, \quad (2.18)$$

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

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

Окружна швидкість на вході в р.к.:

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \quad (2.19)$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,249 \cdot 1500}{60} = 19,56 \text{ м/с}$$

Окружна складова абсолютної швидкості на вході

$$v_{1u} = \frac{0,12 \cdot \sqrt[3]{Q_{pk}^2 \cdot n}}{D_1} \quad (2.20)$$

$$v_{1u} = 0$$

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{4,05}{19,56} = 11^\circ 41'$$

Кут нахилу лопаті на вході в р.к.:

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

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

де $\Delta\beta = 3..8^\circ$ - кут атаки.

Кут атаки вводиться з метою зменшення гідравлічних витрат в області р. к. і поліпшення його кавітаційних якостей, приймаємо $\Delta\beta=5^\circ$.

$$\beta_1 = 11^\circ 41' + 5^\circ = 16^\circ 41'$$

5. Визначення числа лопатей та їх товщини.

Більшість відцентрових насосів різних розмірів що випускають і з високими техніко-економічними показниками мають число лопатей $z = 5..8$.

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

Виходячи з вищевказаного приймаємо товщину лопаті $S_1=S_2= 9$ мм, а число лопатей $z = 7$.

2.1.5. Уточнення коефіцієнта стиснення потоку.

Значення коефіцієнта стиснення потоку уточнюють за формулою:

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

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

$$t_1 = \frac{3,14 \cdot 0,252}{7} = 0,113 \text{ мм}$$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

$$\psi_1' = \frac{0,113}{0,113 - \frac{0,009}{\sin 16^\circ 41'}} = 1,38$$

Повинна виконуватися умова $|\psi_1' - \psi_1| \leq 0,01$.

$$|1,38 - 1,15| = 0,23 > 0,01.$$

Так як умова не виконується, то робимо друге наближення, задаємося $\psi_1'' = \psi_1' = 1,38$, тоді:

$$v_{1m} = 1,38 \cdot 3,52 = 4,86 \text{ м/с}$$

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{4,86}{19,56} = 13^\circ 57'$$

$$\beta_1 = 13^\circ 57' + 5^\circ = 18^\circ 57'$$

$$\psi_1'' = \frac{0,1118}{0,1118 - \frac{0,009}{\sin 18^\circ 57'}} = 1,374$$

$|1,374 - 1,38| = 0,006 < 0,01$. Умова виконується.

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

$$b_1 = \frac{Q_{pk}}{\pi \cdot D_1 \cdot v_{1m}} \quad (2.22)$$

$$b_1 = \frac{0,215}{3,14 \cdot 0,232 \cdot 4,52} = 0,045 \text{ м.}$$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

6. Визначення геометричних параметрів виходу з р.к.

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

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

де H_{pk} – напір р.к.

$$H_{pk} = \frac{H}{i} \quad (2.24)$$

$$D_2' = 19,68 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 61,7}}{1500} = 0,456 \text{ м}$$

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

$$v_{2m}' = (0,5 \div 1,0) v_{1m}' \quad (2.25)$$

$$v_{2m}' = 0,52 \cdot 4,52 = 2,35 \text{ м/с}$$

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

З трикутника швидкостей:

$$W_{2\infty} = \frac{v_{2m}'}{\sin \beta_2} = \frac{\psi_2 \cdot v_{2m}'}{\sin \beta_2}, \quad (2.26)$$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де ψ_2 - коефіцієнт стиснення перерізу потоку лопатями на виході з р.к.,

$$\psi_2 = 1,05 \div 1,1. \text{ Приймаємо } \psi_2 = 1,1.$$

Меридіана швидкість на виході з р.к.:

$$v_{2m} = \psi_2 \cdot v'_{2m} \quad (2.27)$$

$$v_{2m} = 1,1 \cdot 3,58 = 3,94 \text{ м/с}$$

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

$$W_1 = \frac{v_{1m}}{\sin \beta_1} = \frac{\psi \cdot v'_{1m}}{\sin \beta_1} \quad (2.28)$$

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

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

$$\frac{W_1}{W_{2\infty}} = 3,7 - 0,054 \cdot 114 + 4 \cdot 10^{-4} \cdot 114^2 - 0,98 \cdot 10^{-6} \cdot 114^3 = 1,19$$

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

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

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$\beta_2 = \arcsin\left(1,19 \cdot \frac{1,1}{1,31} \cdot \frac{3,1}{5,35} \cdot \sin 18,9^\circ\right) = 14,32^\circ$$

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

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

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

$$H_{T\infty} = \frac{H_{PK}}{\eta_z \cdot K_z}, \quad (2.32)$$

де - поправка на кінцеве число лопатей K_z .

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

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

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

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

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

$$\psi = (0,55 \div 0,65) + 0,6 \sin 14,32^\circ = 0,698 \div 0,798$$

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Приймаємо $\psi = 0,74$.

$$p = 2 \cdot \frac{0,74}{7} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0,232}{0,446}\right)^2} = 0,31$$

$$K_z = \frac{1}{1 + 0,31} = 0,763$$

$$H_{T\infty} = \frac{61,7}{0,923 \cdot 0,763} = 87,61 \text{ м}$$

$$U_2 = \frac{3,1}{2 \operatorname{tg} 12,68^\circ} + \sqrt{\frac{3,1^2}{(2 \operatorname{tg} 14,32^\circ)^2} + 9,81 \cdot 87,61} = 35,12 \text{ м/с}$$

$$D_2 = \frac{60U_2}{\pi \cdot n} \quad (2.36)$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 35,12}{3,14 \cdot 1500} = 0,443 \text{ м}$$

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

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

$$\psi_2' = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 0,009}{3,14 \cdot 0,443 \cdot \sin 14,32^\circ}} = 1,25$$

Повинна виконуватися умова $|\psi_2' - \psi_2| \leq 0,01$.

$$|1,25 - 1,1| = 0,15 > 0,01.$$

Так як умова не виконується, то робимо друге наближення, задаємося $\psi_1'' = \psi_1' = 1,19$, тоді

$$v_{2m} = 1,19 \cdot 3,2 = 3,72 \text{ м/с}$$

$$\beta_2 = \arcsin \left(1,29 \cdot \frac{1,19}{1,16} \cdot \frac{3,72}{6,25} \cdot \sin 24,32^\circ \right) = 17,12^\circ$$

$$U_2 = \frac{3,72}{2 \operatorname{tg} 17,12^\circ} + \sqrt{\frac{3,72^2}{(2 \operatorname{tg} 17,12^\circ)^2} + 9,81 \cdot 87,61} = 35,04 \text{ м/с}$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 35,04}{3,14 \cdot 1500} = 0,449 \text{ м}$$

$$\psi_2'' = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 0,003}{3,14 \cdot 0,449 \cdot \sin 17,12^\circ}} = 1,192$$

$|1,19 - 1,192| = 0,002 < 0,01$. Умова виконується.

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

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$b_2 = \frac{Q_{pk}}{\pi \cdot D_2 \cdot v_{2m}} \quad (2.38)$$

$$b_2 = \frac{0,215}{3,14 \cdot 0,449 \cdot 3,72} = 0,038 \text{ м.}$$

10. Проектування меридіанного перерізу робочого колеса.

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

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

11. Методика побудови меридіанного перерізу.

Обриси меридіанного перетину, що задовольняють застосованим вище вимогам, знаходять методом послідовних наближень:

- намічають попередньо (“на око”) контури крайніх ліній струму (рекомендується при цьому орієнтуватися на існуючі Р.К. n_s), подібних насосів (рис.2.1);

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- задають середню лінію каналу, яка являє собою геометричне місце центрів вписаних кіл (рис.2.2), зазвичай від входу до виходу р. к. тонкими лініями вписується 8-10 кіл;
- у зоні повороту потоку кола мають більшу щільність. Центри вписаних кіл нумерують 1,2,3...;
- Обчислюємо площі нормальних перерізів за формулами:

$$F_{ex} = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_{em}^2), \quad (2.39)$$

де F_{ex} - площа початкового нормального перерізу (на вході в р.к.), м².

$$F_{ex} = \frac{3,14}{4} (277^2 - 155^2) = 52448,2 \text{ мм}^2$$

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

де $F_{вых}$ - площа кінцевого нормального перерізу (на виході із р.к.), м².

$$F_{вых} = 3,14 \cdot 451 \cdot 38 = 53813,32 \text{ мм}^2$$

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

де F_i - площа проміжного нормального перерізу, м²;

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

b_i - діаметр вписаного кола, м.

Результати розрахунків зводимо в таблицю.

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

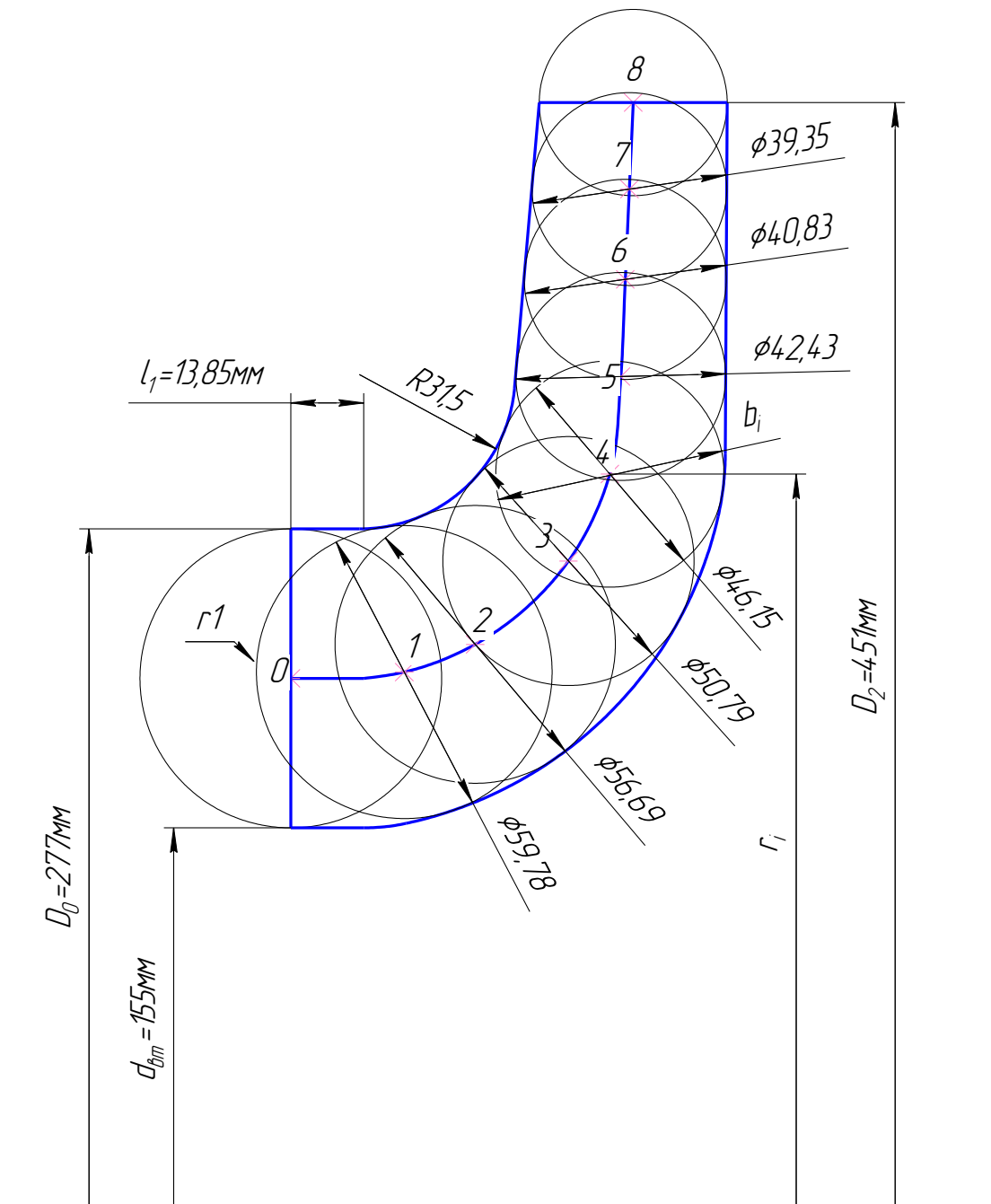


Рис. 2.2 – Меридіаний переріз

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

131.04ВР.000.00ПЗ

Лист

33

Таблиця 2.1 – Визначення площ меридіанного перерізу р.к.

№ точки	r, мм	l, мм	b, мм	F, м ²
1	110,35	24,01	60,14	52133
2	115,87	39,22	57,18	51776
3	132,84	63,15	51,26	51801
4	150,12	85,82	47,24	52245
5	170,33	105,56	43,18	52557
6	190,28	125,39	41,25	52987
7	208,67	144,36	40,27	53188

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

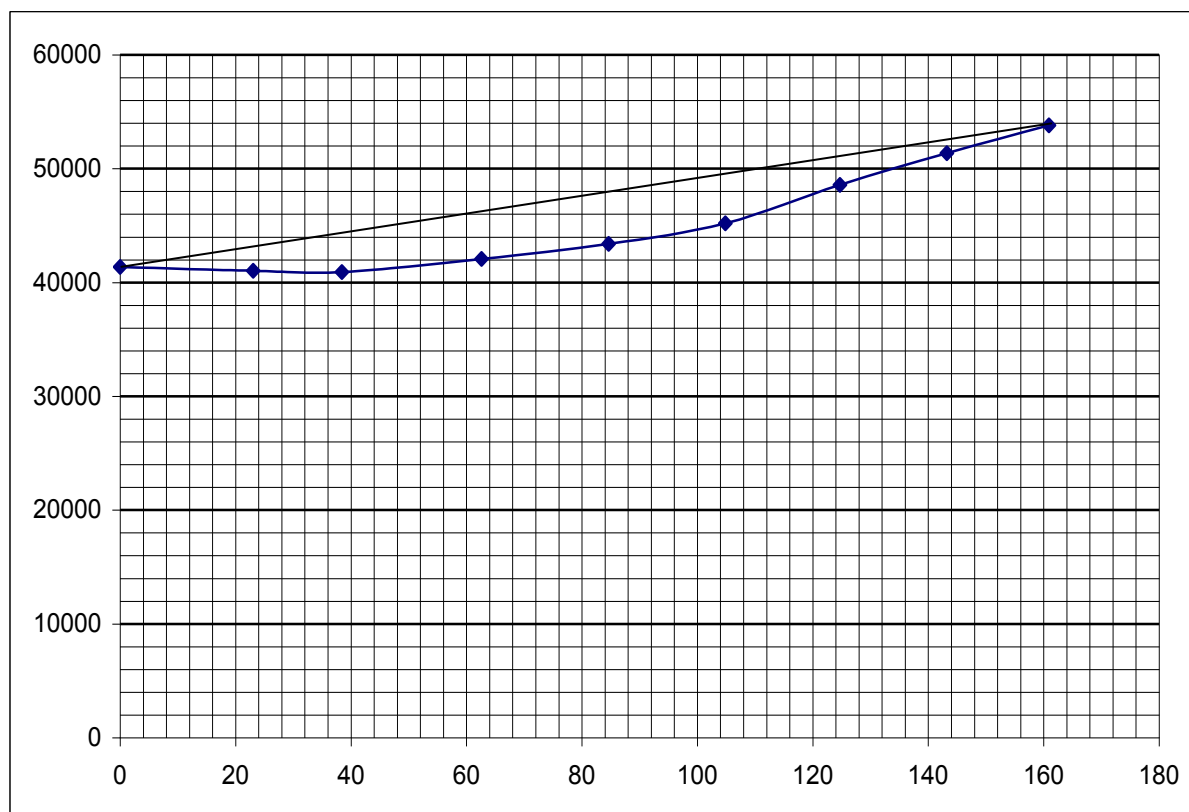


Рис. 2.3 – Графік зміни площ меридіанного перерізу р.к.

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

Під час проектування р. к. одержала поширення схема рівношвидкосного потоку, за якою меридіанна швидкість V_m приймається постійною вздовж нормалі. Практика показала, що розрахунок р. к. при $V_m = \text{const}$ вздовж нормалі досить добре забезпечує задані параметри. Розрахункові лінії струму необхідно проводити таким чином, щоб вони ділили меридіанний переріз р. к. на ділянки, по яким протікала б однакова витрата рідини. Кількість таких ділянок залежить від n_s . При $n_s < 150$: $k=2$; $n=3$, де k – кількість потоків; n – кількість ліній тока. Розбивка ліній струму наведена на малюнку 2.4.

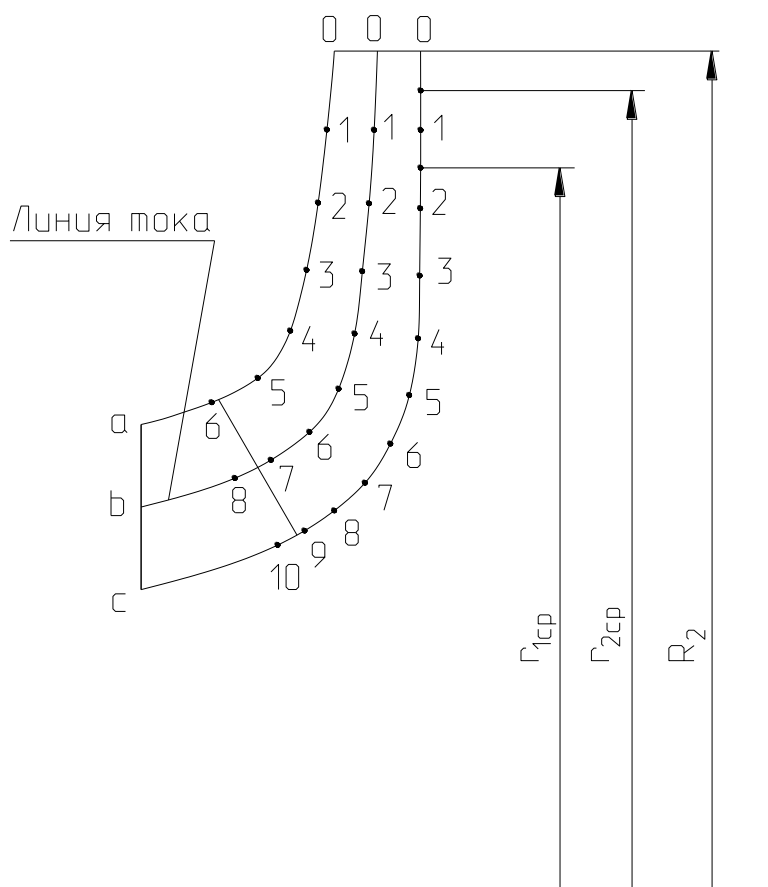


Рис. 2.4 – Розбивка ліній течії

13. Профільювання лопаті

Найбільш поширений спосіб профільювання лопатей - метод конформного відображення поверхні струму на розгортці поверхні обертання (циліндра). Профільювання лопаті здійснюється в наступній послідовності:

- будують конформу сітку на розгортці циліндра і конформного відображення координатної сітки на поверхні струму;
- профільюють поверхні лопаті на розгортці циліндра;
- будують меридіанний перетин поверхні лопаті на меридіанній поверхні р.к. і лопаті в плані.

Сітка на розгортці відображає циліндр, утворюється системою вертикальних і горизонтальних ліній (меридіанів та паралелей), проведених з відстанню між ними відповідно ΔS і ΔL .

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

де $R_{\text{кц}}$ – радіус конформного циліндра. Приймаємо

$$R_{\text{кц}} = 230 \text{ мм};$$

c – константа. Приймаємо $c = 15$.

$$\Delta L = \frac{225}{10} = 22,5 \text{ (мм)}$$

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

де $\Delta \varphi$ - кут між меридіан перетином відображає циліндр

($\Delta \varphi = 5 \div 10^\circ$), приймаємо $\Delta \varphi = 10^\circ$.

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$\Delta S = \frac{3,14 \cdot 225 \cdot 10}{180} = 39,3 \text{ (мм)}$$

Довжина координатної сітки у горизонтальному напрямку визначається кутом обхвату Θ . Для низьких n_s $\Theta=110 \div 80^\circ$. Приймаємо $\Theta=100^\circ$. Маємо всі дані для побудови координатної сітки.

Будуємо конформне відображення на поверхні струму:

a – покривний диск;

b – середньорозхідна лінія тока;

c – основний диск на відрізку ΔL по умові конформності:

$$\frac{r_{cpi}}{\Delta l} = \frac{R_{ки}}{\Delta L} = 10 = \text{const} \quad (2.44)$$

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

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

- кут нахилу лопасті β на кожній розрахунковій лінії струму повинен плавно збільшуватися або зменшуватися від кута β_1 до β_2 ;
- ділянка поверхні лопаті поблизу виходу з р. к. повинна мати постійний кут обхвату β з кожної розрахункової лінії струму по довжині, визначеної на розгортці циліндра величиною $\delta \geq 0,5 \cdot t$, где t - лінійний крок лопатей на розгортці циліндра, мм.

$$t = \frac{2\pi \cdot R_{ки}}{z} \quad (2.45)$$

$$t = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 225}{7} = 202 \text{ (мм)}$$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Кут обхват лопаті у плані має задовольняти умові:

$$\Theta \geq 0,5 \cdot t^\circ, \quad (2.46)$$

де $t^\circ = 360/z$; $t^\circ = 360/7 = 51^\circ$.

$$80^\circ > 1,5 \cdot 51^\circ = 76,5^\circ.$$

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

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

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

y_i - відповідна відстань на лінії струму.

13. Вибір положення вхідної кромки і визначення кутів входу.

Меридіанна швидкість: $V_{1ma} = V_{1mb} = V_{1mc} = 4,05$ м/с.

Визначимо колову швидкість за формулою:

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

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

$$D_{bxa} = 0,1385 \text{ м}; \quad D_{bxb} = 0,108 \text{ м}; \quad D_{bxc} = 0,0775 \text{ м}.$$

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$U_{1a} = \frac{3,14 \cdot 0,1385 \cdot 1480}{60} = 10,73 \text{ (м/с)}$$

$$U_{1b} = \frac{3,14 \cdot 0,108 \cdot 1480}{60} = 8,37 \text{ (м/с)}$$

$$U_{1c} = \frac{3,14 \cdot 0,0775 \cdot 1480}{60} = 6,01 \text{ (м/с)}$$

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

$$\beta'_{1n} = \arctg \frac{v'_{1m}}{U_1}, \quad (2.50)$$

$$\beta'_{1na} = \arctg \frac{3,69}{10,73} = 18,97^\circ$$

$$\beta'_{1nb} = \arctg \frac{3,69}{8,37} = 23,79^\circ$$

$$\beta'_{1nc} = \arctg \frac{3,69}{6,01} = 31,55^\circ$$

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

Знаходимо коефіцієнт стиснення потоку лопатями:

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

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

де t_1 - крок лопаті, м;

σ_1 - товщина лопаті уздовж кола $D_{\text{вх}}$, м.

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

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

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

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

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

Знаходимо кут (з урахуванням стиснення потоку лопатями):

$$\beta_{1н} = \operatorname{arctg} (\operatorname{tg} \beta_{1н}' \cdot 1/\psi_1) \quad (2.56)$$

Далі визначаємо кут атаки:

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_{1н} \quad (2.57)$$

Виконуємо розрахунок для лінії течії а:

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_{1a} = \frac{3,14 \cdot 138,5}{7} = 62,2 \text{ (мм)}$$

$$\lambda_a = 84^\circ$$

$$\varphi_{1.a} = \arctg(\operatorname{tg}18^\circ \sin 84^\circ) = 17,9^\circ$$

$$\sigma_{1a} = \frac{3}{\sin 17,9^\circ} = 9,76 \text{ (мм)}$$

$$\psi_{1a} = \frac{30,7 - 9,76}{30,7} = 0,68$$

$$\beta_{1.a} = \arctg(\operatorname{tg}8^\circ \cdot 1/0,68) = 11,6^\circ$$

$$\beta_{1.a} = 18^\circ; \Delta\beta_a = 6,4^\circ$$

Лінія течії b:

$$t_{1b} = \frac{3,14 \cdot 59}{7} = 26,4 \text{ (мм)}$$

$$\lambda_b = 88^\circ$$

$$\varphi_{1.b} = \arctg(\operatorname{tg}24^\circ \sin 88^\circ) = 23,99^\circ$$

$$\sigma_{1b} = \frac{3}{\sin 23,99^\circ} = 7,4 \text{ (мм)}$$

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$\psi_{1b} = \frac{26,4 - 7,4}{26,4} = 0,72$$

$$\beta_{1nb} = \arctg(\operatorname{tg}9,3^\circ \cdot 1/0,72) = 12,8^\circ$$

$$\beta_{1nb} = 24^\circ; \Delta\beta_b = 11,2^\circ$$

Лінія течії с:

$$t_{1c} = \frac{3,14 \cdot 49,6}{7} = 22,3 \text{ (мм)}$$

$$\lambda_c = 89^\circ$$

$$\varphi_{1nc} = \arctg(\operatorname{tg}32^\circ \sin 91^\circ) = 31,996^\circ$$

$$\sigma_{1c} = \frac{3}{\sin 31,996^\circ} = 5,7 \text{ (мм)}$$

$$\psi_{1c} = \frac{22,3 - 5,7}{22,3} = 0,74$$

$$\beta_{1nc} = \arctg(\operatorname{tg}11^\circ \cdot 1/0,74) = 14,7^\circ$$

$$\beta_{1nc} = 32^\circ; \Delta\beta_c = 17,3^\circ$$

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

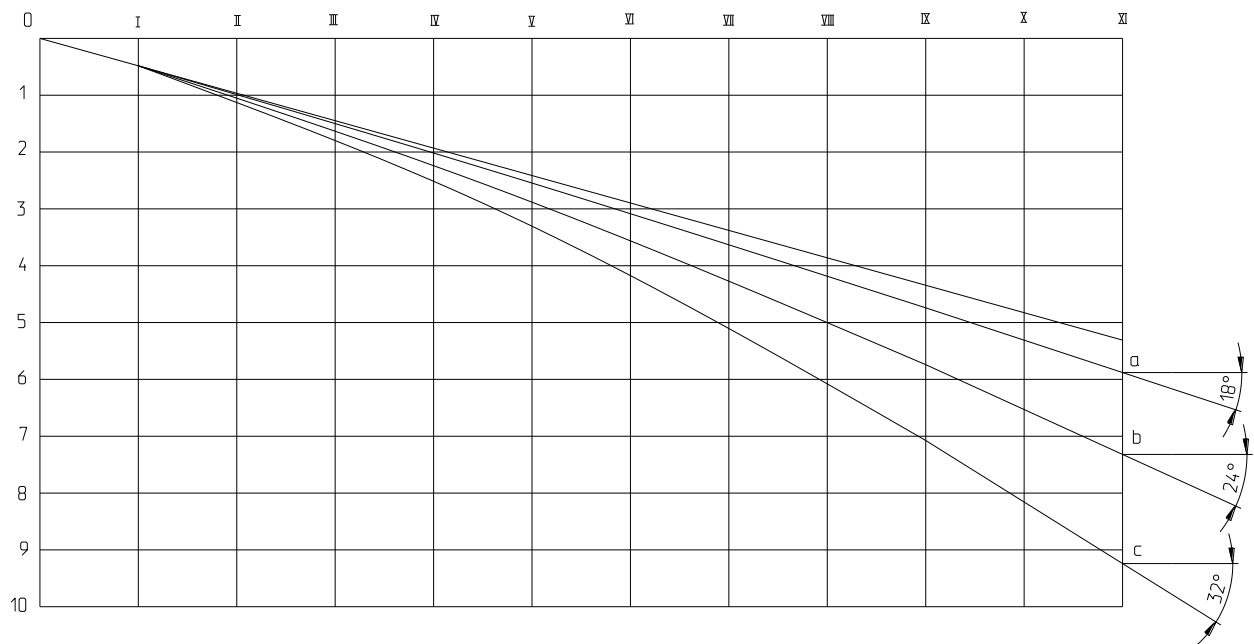


Рисунок 2.5 – Конформна діаграма

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

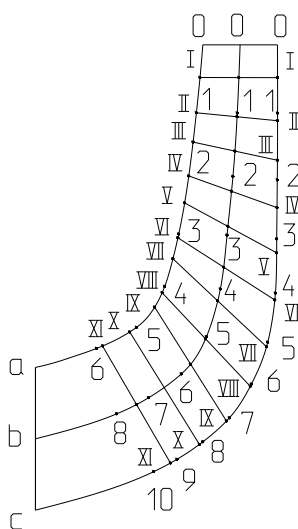


Рис. 2.6 – Меридіанний перерізу поверхні лопаті на меридіанній проекції робочого колеса

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

131.04ВР.000.00ПЗ

Лист

43

Меридіанним перерізом називають лінії перетину поверхні лопаті з площинами, що проходять через вісь р. к.. Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції здійснюється на основі конформної діаграми. Побудова допоміжного графіка призводить до похибок, у даному випадку для перенесення відповідних точок з конформної діаграми на лінії струму меридіан перетину використовується співвідношення (2.47).

Проекцію лопаті на площину, перпендикулярно осі обертання р. к., називають планом лопаті (рис. 2.7)

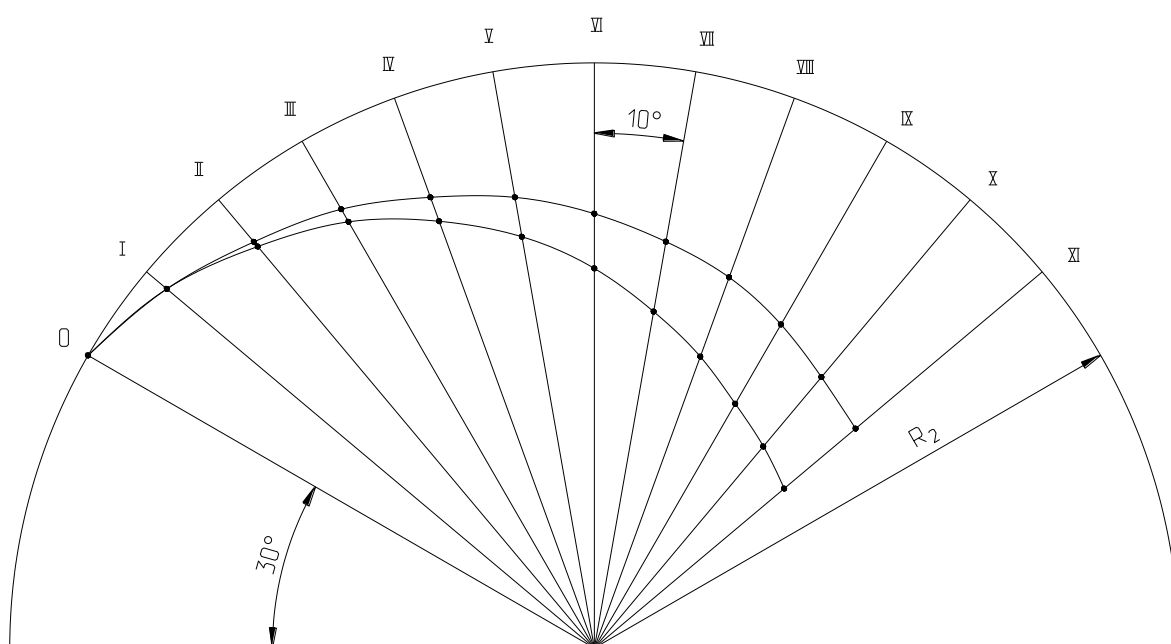


Рисунок 2.7 – Лопать у плані

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

2.3 Розрахунок напрямного апарату

1. Вихідні дані

Подача ступеня	$Q=760 \text{ м}^3/\text{год};$
Напір ступеня	$H=61,7 \text{ м};$
Зовнішній діаметр робочого колеса	$D_2=0,443 \text{ м};$
Ширина робочого колеса на виході	$b_2=0,040 \text{ м};$
Колова складова швидкості потоку на виході з робочого колеса	$V_{u2}=33,8 \text{ м/с};$
частота обертання робочого колеса	$n=1500 \text{ об/хв.}$

Діаметр початкового кола:

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

$$D_3 = 1,06 \cdot 0,451 = 0,478 \text{ м.}$$

Ширина напрямного апарату в меридіанному перерізі:

$$b_3 = 1,1 \cdot b_2 + 1,5$$

$$b_3 = 1,1 \cdot 0,38 + 1,5 = 43,3 \text{ мм.}$$

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

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

Визначаємо кут установки лопаті на вході:

Задаємося попередньо в першому наближенні товщиною лопатки на вході $\delta=3 \text{ мм}$, і кут на вході $\alpha_{3\text{л}}=5^\circ$.

Окружна швидкість на вході у н.а.:

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

$$V_{u3} = 34,99 \frac{0,451}{0,478} = 33,014 \text{ м};$$

Меридіанна швидкість:

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

$$V_{m3} = \frac{700}{3600 \cdot \pi \cdot 0,478 \cdot 0,0433} = 2,99 \text{ м/с.}$$

									Лист
									45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

131.04ВР.000.00ПЗ

Кут установки лопаті:

$$\alpha_{3л} = \arctg \frac{V_{m3}}{\left(1 - \frac{\delta \cdot z_{на}}{\sin \alpha_{3л} \cdot \pi \cdot D_3}\right) \cdot V_{u3}};$$
$$\alpha_{3л} = \arctg \frac{2,99}{\left(1 - \frac{0,003 \cdot 9}{\sin 5^0 \cdot \pi \cdot 0,478}\right) \cdot 33,014} = 5,08^0.$$
$$tg \alpha_{3л} = \mu \cdot tg \alpha_{3л};$$
$$tg \alpha_{3л} = 1,4 \cdot tg 5,08 = 7,09^0.$$

Проектуємо спіральну ділянку:

$$R'_3 = R_3 e^{\frac{2\pi}{z_{дв}} tg \alpha_{\phi}};$$
$$R'_3 = \frac{0,478}{2} e^{\frac{2\pi}{9} tg 7,09} = 0,261 \text{ м.}$$

Висота вхідного перерізу:

$$a_3 = (R'_3 - R_3) \cos \alpha_{3л} - \delta;$$
$$a_3 = (0,261 - 0,239) \cos 7,09 - 0,003 = 0,0188 \text{ м.}$$

Визначаємо розміри дифузорового каналу:

Довжина дифузорового каналу:

$$l_{диф} = 4,9 a_3;$$
$$l_{диф} = 4,9 \cdot 0,0188 = 0,0923 \text{ м.}$$

Площа входу дифузорового каналу:

$$F_4 = 2,8 \cdot F_3;$$
$$F_4 = 2,8 \cdot 0,0923 \cdot 0,0433 = 0,01119 \text{ м}^2;$$

Еквівалентний кут розширення дифузора:

$$\psi_{екв} = 2 \arctg \frac{\sqrt{\frac{F_4}{\pi}} - \sqrt{\frac{F_3}{\pi}}}{l_{диф}};$$
$$\psi_{екв} = 2 \arctg \frac{\sqrt{\frac{0,01119}{\pi}} - \sqrt{\frac{0,00399}{\pi}}}{0,0923} = 8^0.$$

Проектування підведеного каналу н.а.:

									Лист
									46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	131.04ВР.000.00ПЗ				

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

Кут установки лопатей зворотнього каналу приймаються $\alpha_{6\bar{e}} = 85^{\circ}$.

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

					131.04BP.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

3. Розрахунки на міцність

3.1 Сили, що діють на ротор насоса

1. Визначення осьової сили, що діє на ротор насоса

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

Загальне значення осьової сили:

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

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

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

T_2 – динамічне зусилля, що діє уздовж осі ротора

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

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

T_p – осьова сила, що виникає від ваги ротору.

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

$$T = 943.4 \cdot 9,81 \cdot 3,14 \cdot (0,305^2 - 0,155^2) \left[56,3 - \frac{154,9^2}{8 \cdot 9,81} \left(0,451^2 - \frac{0,305^2 + 0,155^2}{2} \right) \right] = 24074 \text{ H}$$

Під час аварійного зношування ущільнення виникає додаткова осьова сила T_1^* ,

спрямована у бік усмоктування.

Ця сила буде дорівнювати [1]:

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

Із креслення робочого колеса: $r_{y1} = 0,29$ м; $r_2 = 0,446$ м.

Колова швидкість на виході з робочого колеса: $U_2 = 35,76$ і / с .

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$T_1^* = 3,14 \cdot (0,451^2 - 0,31^2) \cdot \frac{943,4 \cdot 35,76^2}{8} \times$$

$$\times \left(\frac{0,451^2}{0,451^2 - 0,31^2} \cdot \ln \frac{0,451^2}{0,31^2} + \frac{0,451^2 + 0,31^2}{2 \cdot 0,451^2} - 2 \right) = 1500 \text{ Н}$$

Уздовж осі насоса діє також динамічна сила T_2 , обумовлена натіканням потоку, а також зміною осьового напрямку його руху на радіальний.

Сила T_2 дорівнює [1]:

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

де $B = 1$ - для радіальних коліс;

v_0 - швидкість на вході в робоче колесо, м/с, $v_0 = 5,1$ м/с

$$T_2 = \frac{943,4 \cdot 700}{3600} \cdot 4,9 = 898,9 \text{ Н}.$$

осьова сила, що діє в бік всмоктування на шнеці

$$T_{\text{шн}} = S \cdot \Delta p$$

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

$$T_{\text{шн}} = \pi(0,150^2 - 0,075^2) \cdot 17667 = 936 \text{ Н}$$

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

Δp - перепад тиску на шнеці.

Осьова сила, що діє в бік нагнітання на барабані

$$T_{\text{б}} = S \cdot \Delta p$$

Де S - площа барабану.

Δp - перепад тиску на барабані.

$$T_{\text{б}} = \pi(R_{\text{б}}^2 - r_{\text{б}}^2) \cdot \Delta p_{\text{б}}$$

$$T_{\text{б}} = \pi(0,1275^2 - 0,0675^2) \cdot 1573308 = 69800 \text{ Н}$$

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

$$T_p = mg$$

де $m=489$ кг - маса ротора

$$T_p = 489 \cdot 9,81 = 4798 \text{ Н}.$$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Максимальна осьова сила, що діє на робоче колесо:

$$T_{oc} = T_1 \pm (T_1^{1*} - T_2) + T_{ши} - T_{\bar{o}} + T_p$$

$$T_{oc} = 3 \cdot 25132 + (1617 - 931) + 882 - 70158 + 4798 = 7982 \text{ Н}$$

2. Визначення радіальної сили

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

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

де K_R – безрозмірний коефіцієнт радіальної сили;

D_2 – зовнішній діаметр робочого колеса, $D_2 = 0,445$ м;

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

Коефіцієнт K_R залежить від n_s . При $n_s = 114$ $K_R = 0,52$.

Максимальна сила буде за режиму $Q = 0$.

$$R = 0,53 \cdot 1 \cdot 943,4 \cdot 9,81 \cdot 170 \cdot 0,451 \cdot 0,04 = 15042,7 \text{ Н}$$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

3.2 Розрахунок валу на міцність

1. Розрахунок валу на міцність здійснюється за максимальної потужності.

Розрахунок валу на статичну потужність дозволяє визначити запаси міцності і порівняти їх з мінімально припустимими значеннями.

Матеріал валу – Сталь 45 ГОСТ 1050 – 88.

Характеристика матеріалу.

- межа міцності $\sigma_y = 600 \text{ МПа}$;
- границя текучості $\sigma_T = 350 \text{ МПа}$;
- межа втоми при вигині $\sigma_{-1} = 270 \text{ МПа}$;
- межа втоми при крутінні $\tau_{-1} = 160 \text{ МПа}$.

Потужність насосу:

$$N = \frac{\rho_{\max} \cdot g \cdot Q_H \cdot H_H}{\eta};$$

$$N = \frac{943,4 \cdot 9,81 \cdot 700 \cdot 56,3}{3600 \cdot 0,818} = 123.856 \text{ кВт}$$

Крутний момент на валу,

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

де N_{\max} - максимальна потужність, Вт. $N_{\max} = 1,1 \cdot N = 1,1 \cdot 325 = 358 \text{ кВт}$.

$$M = \frac{30 \cdot 136.241 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1480} = 716 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Понижене допустиме напруження приймаємо $[\tau] = 190 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$d_{\epsilon} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 716}{3,14 \cdot 180 \cdot 10^5}} = 0,06 \text{ м}$$

2. Визначаємо згинальний момент:

$$M_{изг} = 0,1 \cdot M_{кр},$$

$$M_{изг} = 0,1 \cdot 716 = 71,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

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

де d – діаметр вала, під шпонкою, м;

b – ширина шпонки, м;

h – висота шпонки, м.

$$W_{кр} = \frac{3,14 \cdot 0,06^3}{16} - \frac{0,008 \cdot 0,004 \cdot (0,06 - 0,004)^2}{2 \cdot 0,06} = 41,5 \cdot 10^{-6}.$$

Момент опору згину:

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

$$W_{изг} = \frac{3,14 \cdot 0,06^3}{32} - \frac{0,008 \cdot 0,004 \cdot (0,06 - 0,004)^2}{2 \cdot 0,06} = 20,3 \cdot 10^{-6}.$$

4. Визначаємо дотичне напруження:

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

$$\tau_{кр} = \frac{716}{41,5 \cdot 10^{-6}} = 17,3 \text{ МПа}.$$

5. Визначаємо нормальне напруження:

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

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

$$\sigma_{изг} = \frac{71.6}{20.3} = 3.53 \text{ МПа.}$$

Еквівалентне напруження:

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

$$\sigma_{екв} = \sqrt{(3.53 \cdot 10^6)^2 + 3 \cdot (17.3 \cdot 10^6)^2} = 30.2 \text{ МПа.}$$

Запас по статичній міцності:

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

$$n = \frac{350 \cdot 10^6}{30.2 \cdot 10^6} = 11.5.$$

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

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

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

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

					131.04BP.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

3.3 Розрахунок шпонкового з'єднання валу з колесом

Вихідні дані для розрахунку.

Матеріал валу - Сталь 40Х.

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

Матеріал шпонки - Сталь 45.

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

Матеріал колеса - 20Х13Л.

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

Крутний момент на валу $M_{кр} = 3147$ Нм.

Розмір шпонки під робочим колесом, мм $b \times h \times l = 20 \times 10 \times 50$.

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

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

де l_p – робоча довжина шпонки;

t_1 – глибина паза валу;

h - висота шпонки;

d - діаметр валу.

$d = 120$ мм, $t_1 = 4.7$ мм, $h = 11$ мм.

$$\sigma_{CM} = \frac{2 \cdot 2811}{0,12 \cdot 0,040 \cdot (0,011 - 0,0047)} = 186 \text{ МПа}.$$

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

Допустиме напруження зминання:

$$[\sigma_{CM}] = 0,56 \cdot \sigma_{0,2};$$

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

Умова міцності виконується.

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

3.4 Розрахунок довговічності підшипників

Попередньо приймаємо в опорах два радіально-упорні шарикопідшипники важкої вузької серії 46314 ГОСТ 831-75, з такими параметрами: $d=70$ мм; $D=150$ мм;

- динамічна вантажопідйомність – $C=131$ кН;

- статична вантажопідйомність – $C_0=86,5$ кН.

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{8246}{15042.7} = 0,55,$$

$e = 0,8$

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

Визначаємо еквівалентне навантаження:

$$P_E = V \cdot F_r \cdot K_\delta \cdot K_T,$$

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

F_r – радіальне навантаження, $F_r=R/2=8177$ Н;

K_δ – коефіцієнт безпеки, $K_\delta=1$;

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

$$P_E = 1 \cdot 7512 \cdot 1 \cdot 1,05 = 7888 \text{ Н}$$

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

$$L = \frac{10^6}{60 \cdot 1480} \left(\frac{127000}{7888} \right)^3 = 47000 \div$$

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

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Розрахунок радіально упорного підшипника. Розрахунок довговічності підшипника. Сила що діє на підшипник: $R=7512\text{Н}$, приймаємо радіально упорний шарикопідшипник 314 ГОСТ 8338-75, з такими параметрами:

$$d=70 \text{ мм};$$

$$D=150 \text{ мм};$$

- динамічна вантажопідйомність – $C=106 \text{ кН}$;

- статична вантажопідйомність – $C_0=59 \text{ кН}$.

Визначаємо еквівалентне навантаження:

$$P_E = V \cdot F_r \cdot K_\delta \cdot K_T,$$

де V – коефіцієнт обертання, $V=1$;

F_r – навантаження, $R = 8177 \text{ Н}$;

K_δ – коефіцієнт безпеки, $K_\delta=1$;

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

$$P_E = 1 \cdot 7512 \cdot 1 \cdot 1,05 = 7888 \text{ Н}$$

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

$$L = \frac{10^6}{60 \cdot 1480} \left(\frac{107000}{7888} \right)^3 = 34050 \text{ ч}$$

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

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

4. Розрахунок ущільнень

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

Витоки в ущільненнях:

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

де μ - коефіцієнт витрати шпарини, $\mu=0,5$;

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

p – перепад тиску на шпарини.

Перепад тиску на передньому ущільненні робочого колеса: $P_p = \gamma \cdot H_{\text{пот}} - P_{\text{п}}$,

де γ - питома вага рідини, Н/м^3 ;

$H_{\text{пот}}$ - потенційний напор, м .

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

де H - напір ступеня, м.

g – прискорення вільного падіння;

ω - частота обертання ротора, рад/с;

R_2 – радіус робочого колеса, м.

$$H_{\text{ном}} = 56,3 \cdot \left(1 - \frac{9,81 \cdot 56,3}{154,9^2 \cdot 0,451} \right) = 53,43 \text{ (м)}$$

Визначаємо падіння статичного натиску в пазусі переднього ущільнення першої ступені:

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

де R_1 – діаметр переднього ущільнення, м;

ρ - щільність рідини, перекачуваної насосом, кг/м^3 .

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

$$P_{II} = 943.4 \cdot 154.9^2 \cdot \frac{0,2255^2 - 0,1805^2}{8} = 51695 \text{ (Па)}$$

Тоді перепад тиску на передньому ущільненні робочого колеса першої ступені:

$$P_p = 9,81 \cdot 887 \cdot 49,96 - 60137 = 396654 \text{ (Па)}$$

Витоки в ущільненні:

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

$$q = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 0.1805 \cdot 0.0002 \sqrt{\frac{2 \cdot 442787}{943.4}} = 0.0035 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначаємо падіння статичного тиску в пазусі переднього ущільнення проміжних ступенів:

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

де R_1 – діаметр переднього ущільнення, м;

ρ - густина рідини, перекачуваної насосом, кг/м .

$$P_{II} = 943.4 \cdot 154.9^2 \cdot \frac{0,2255^2 - 0,1485^2}{8} = 81484 \text{ (Па)}$$

Тоді перепад тиску на передньому ущільненні робочого колеса проміжної ступені:

$$P_p = 9,81 \cdot 887 \cdot 49,96 - 79637 = 396723 \text{ (Па)}$$

Витрата шпарини:

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

$$q = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 0.1485 \cdot 0.0002 \sqrt{\frac{2 \cdot 412998}{943.4}} = 0.0028 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Перепад тиску на міжступеневому ущільненні визначається по формулі:

$$P_{II} = \gamma \cdot (H - H_{ном}) + P_m,$$

									Лист
									58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

131.04ВР.000.00ПЗ

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

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

$$P_m = 943.4 \cdot 154.9^2 \cdot \frac{0,2255^2 - 0,0735^2}{8} = 128595 \text{ (Па)}$$

$$P_r = 9,81 \cdot 943.4 \cdot (56.4 - 53.43) + 128595 = 156082 \text{ (Па)}$$

Витрата шпарини:

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

$$q = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 0.0735 \cdot 0.0002 \sqrt{\frac{2 \cdot 156082}{943.4}} = 0.00084 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Перепад тиску на барабані:

$$P_o = \gamma \cdot H_n,$$

де H_n – напір насосу, м.

$$P_o = 9,81 \cdot 943,4 \cdot 170 = 1573308 \text{ Па}$$

Витрата шпарини:

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

$$q = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 0.1275 \cdot 0.0002 \sqrt{\frac{2 \cdot 1573308}{943.4}} = 0.0046 \text{ м}^3/\text{год.}$$

					131.04ВР.000.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

5.Вибір електродвигуна

Виходячи з споживаної потужності насоса вибираємо електродвигун асинхронний трифазний з короткозамкнутим ротором обдувається вертикальні вибухозахищені серії ВАОВ призначений для приводу нафтових підпірних насосів типу НПВ

Основні технічні характеристики електродвигуна:

Тип електро-двигуна	Потуж-ність кВт	Напру-га В	Частота обертів (синхр.), об/хв	ККД, %	cosφ	Ммах Мном	Мпуск Мном	Іпуск Іном	Момент інерції двигуна кг*м ² ротора
ВАОВ 500 S-4	400	6000	1500	94,1	0,87	1,15	6,1	2,4	8,1

					131.04BP.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		60

6 Охорона праці

Нормування параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях

Виробниче приміщення – це замкнений простір у спеціально призначених спорудах або будинках, у яких на постійній основі (по змінах) або періодично (упродовж якоїсь частини робочого дня) працівники (персонал) здійснюють свою трудову діяльність.

Робоча зона – це простір у виробничому приміщенні, в якому знаходяться робочі місця, у яких працівники (персонал) перебувають на постійній або непостійній (тимчасовій) основі.

Робоче місце – це місце, у якому працівники (персонал) перебувають у процесі своєї трудової діяльності на постійній або непостійній (тимчасовій) основі.

Постійне робоче місце – це таке місце у виробничому приміщенні, на якому працюючий (працівник) знаходиться більше ніж 50 % від свого робочого часу або більше ніж дві години постійно (безперервно). Якщо при цьому він виконує свою роботу в різних частинах робочої зони виробничого приміщення, то уся ця робоча зона буде вважатися його постійним робочим місцем.

Непостійне робоче місце – це таке місце виробничого приміщення, на якому працівник (працюючий) знаходиться менше ніж 50 % від свого робочого часу або менше ніж дві години постійно (безперервно).

Мікроклімат виробничих приміщень – це такі умови внутрішнього середовища виробничих приміщень, які безпосередньо впливають на тепловий обмін робітників (персоналу) з оточенням за рахунок конвекції, кондукції, теплового випромінювання і випаровування вологи. Ці умови буде визначати поєднання температури, відносної вологості і швидкості руху повітря усередині приміщення, температури поверхонь, які оточують людину, й інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення.

					131.04BP.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

Оптимальні мікрокліматичні умови – це таке унікальне поєднання різних параметрів мікроклімату виробничого приміщення, які під час тривалого й систематичного впливу на людину та стан її здоров'я забезпечують тривале зберігання нормального теплового стану організму людини без активізації механізмів його терморегуляції. Вони стабільно забезпечують відчуття теплового та іншого комфорту людини та створюють передумови для забезпечення високого та стабільного рівня працездатності.

Допустимі мікрокліматичні умови – це таке унікальне поєднання параметрів мікроклімату виробничого приміщення, які під час тривалого й систематичного впливу на організм людини можуть викликати зміни теплового стану організму робітника, які досить швидко минають без наслідків та нормалізуються і супроводжуються тимчасовим напруженням механізмів терморегуляції людини в допустимих межах її фізіологічної адаптації. При цьому абсолютно не виникає критичних ушкоджень або порушень стану здоров'я людини, але можуть спостерігатися певні тимчасові дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття людини та зниження працездатності працівника.

Теплий період року – це такий період календарного року, який можна охарактеризувати середньодобовою температурою зовнішнього середовища вище від +10 °С.

Холодний період року це такий період календарного року, який може бути характеризований середньодобовою температурою зовнішнього повітря, яка дорівнює +10 °С і нижче.

Середньодобова температура зовнішнього повітря – це середня величина температури зовнішнього повітря, яку вимірюють у певні визначені години доби через однакові (заздалегідь встановлені) інтервали часу. Її приймають за повідомленнями метеорологічної служби.

Категорія робіт – це таке нормоване розмежування робіт працівника за їх важкістю на основі загальних (повних) енерговитрат організму людини.

					131.04ВР.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

Легкі фізичні роботи (категорія I) поєднують у собі такі види діяльності працівників, за яких витрата енергії людини буде дорівнювати 105-140 Вт (90-120 ккал/год.) - категорія Ia та 141-175 Вт (121-150 ккал/год.) - категорія Ib. До категорії Ia слід віднести роботи, які виконують у положенні сидячи і які не потребують значного фізичного напруження людини. До категорії Ib відносять такі роботи, які виконують у положенні сидячи, стоячи або які будуть пов'язані із ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням працівника.

Фізичні роботи середньої важкості (категорія II) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 176-232 Вт (151-200 ккал/год.) - категорія IIa та 233 - 290 Вт (201-250 ккал/год.) - категорія IIб. До категорії IIa належать роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів або предметів в положенні стоячи або сидячи і потребують певного фізичного напруження. До категорії IIб належать роботи, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням, переміщенням невеликих (до 10 кг) вантажів та супроводжуються помірним фізичним напруженням.

До важких фізичних робіт (категорія III) належать види діяльності, за яких витрати енергії будуть становити 291-349 Вт (251-300 ккал/год.). До категорії III належать такі роботи, які пов'язані із постійним переміщенням та перенесенням значних (понад 10 кг) вантажів, які будуть потребувати значних та тривалих фізичних зусиль працівника.

Санітарні норми мікроклімату виробничого приміщення поширюються на умови мікроклімату в межах робочої зони виробничих та іншого типу приміщень підприємств, закладів, установ та ін., незалежно від виду їх форми власності та структурного підпорядкування.

Санітарні норми регламентують (встановлюють) нормативні величини оптимальних та гранично припустимих показників мікроклімату та встановлюють (регламентують) вимоги щодо методів визначення (вимірювання) мікрокліматичних параметрів виробничого (та іншого) приміщення та їх оцінювання.

					131.04BP.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

Санітарні норми не можуть бути поширені на параметри мікроклімату підземних та гірничих виробок (шахт, копалень), рухомих транспортних засобів, тваринницьких та птахівницьких ферм, приміщень призначених для зберігання різноманітної сільськогосподарської продукції, холодильників, складів тощо, а також для тих приміщень, у яких параметри їхнього мікроклімату встановлюються відповідно до діючих у даній галузі технологічних вимог.

Вимоги до параметрів мікроклімату

Мікрокліматичні умови виробничих (та інших) приміщень характеризуються наступними показниками:

- температура навколишнього повітря та повітря усередині виробничого приміщення;
- відносна вологість повітря усередині виробничого приміщення;
- швидкість руху повітря усередині виробничого приміщення;
- інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення усередині виробничого приміщення;
- температура поверхонь усередині виробничого приміщення.

За ступенем свого впливу на тепловий стан працівника мікрокліматичної умови можна поділити на оптимальні та гранично допустимі.

Для параметрів робочої зони виробничих (та інших) приміщень встановлюються оптимальні та гранично допустимі мікрокліматичні умови з урахуванням категорії важкості виконуваної працівником роботи та періоду календарного року. За умови одночасного виконання в робочій зоні виробничого приміщення робіт різної категорії їхньої важкості рівні показників мікроклімату виробничого приміщення обов'язково повинні бути встановлені із урахуванням найбільш чисельної за кількістю групи працівників підприємства (установи).

					131.04ВР.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

Оптимальні умови мікроклімату

Оптимальні умови мікроклімату виробничого приміщення встановлюються для постійних робочих місць працівників установи (закладу, організації тощо).

Показники температури повітря в робочій зоні виробничого приміщення по висоті та по горизонталі, а також упродовж усієї робочої зміни не повинні виходити за гранично встановлені межі нормованих величин оптимальної температури повітря виробничого приміщення для даної категорії важкості робіт.

Температура усіх внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля) виробничого приміщення, технологічного та іншого обладнання (екрани тощо), зовнішніх поверхонь різноманітного технологічного обладнання та устаткування, огорожуючих конструкцій не повинна виходити більш ніж на 2 °С за встановлені нормативами граничні значення оптимальних величин температури повітря виробничого приміщення для даної категорії важкості робіт.

Під час виконання різного виду робіт операторського типу, пов'язаних із значним нервово-емоційним напруженням в кабінетах, пультах чи постах керування різними технологічними та іншими робочими процесами, в залах обчислювальної техніки та інших виробничих приміщеннях мають бути дотримані встановлені нормативами оптимальні умови мікроклімату виробничого приміщення (температура повітря у виробничому приміщенні 22-24 °С, відносна вологість у виробничому приміщенні 60-40 %, швидкість руху повітря у виробничому приміщенні не більш ніж 0,1 м/сек.).

Допустимі умови мікроклімату

Допустимі (нормовані) величини мікрокліматичних умов у виробничому приміщенні встановлюються у тих випадках, коли на робочих місцях виробничого приміщення не можна забезпечити оптимальні (нормовані) величини мікроклімату виробничого приміщення за технологічними вимогами даного типу

					131.04ВР.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

виробництва, технічною недосяжністю бажаного результату та економічно обґрунтованою (у встановленому порядку) недоцільністю.

Величини показників (маркерів), які характеризують допустимі мікрокліматичні умови у виробничому приміщенні, встановлюються для постійних (довготривалих) і непостійних (нетривалих) робочих місць виробничого приміщення.

Перепад температури повітря виробничого приміщення по висоті робочої зони за умови забезпечення гранично допустимих умов мікроклімату виробничого приміщення не повинен бути більше ніж 3 °С для всіх категорій робіт у виробничому приміщенні, а по горизонталі робочої зони виробничого приміщення та упродовж усієї робочої зміни – виходити за межі гранично допустимих температур у виробничому приміщенні для даної категорії важкості та складності роботи на даному виробництві.

Температура усіх внутрішніх поверхонь виробничих приміщень (стіни, підлога, стеля), а також температура усіх зовнішніх поверхонь технологічного та іншого устаткування (приладів) або його захисних обладнань (екранів тощо) не повинна виходити за межі гранично допустимих (нормованих) величин температури повітря виробничого приміщення для даної категорії важкості та складності робіт.

Інтенсивність теплового опромінення працівників у виробничому приміщенні від нагрітих поверхонь технологічного та іншого виробничого устаткування (обладнання, пристроїв тощо), освітлювальних приладів на виробництві, інсоляція від зашкленних огорожень виробничої будівлі не повинна перевищувати 35,0 Вт/м² - при опроміненні від 50% та більше від поверхні тіла, 70 Вт/м² - при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50%, та 100 Вт/м² - при опроміненні не більше від 25% поверхні тіла працівника на виробництві.

За наявності джерел випромінювання з інтенсивністю 35,0 Вт/м² і більше температура внутрішнього повітря на постійних (довготривалих) робочих місцях виробничого приміщення не повинна перевищувати встановлених (нормованих)

					131.04ВР.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66

верхніх меж оптимальних значень для теплого періоду календарного року, на непостійних робочих місцях виробничого приміщення – верхніх меж гранично допустимих значень для постійних (довготривалих) робочих місць виробничого приміщення.

За наявності у виробничому приміщенні відкритих джерел випромінювання (нагрітий метал, нагріте скло, відкрите полум'я) допускається інтенсивність теплового опромінення до 140,0 Вт/м². Величина опромінюваної площі виробничого приміщення у такому випадку не повинна перевищувати 25 % від поверхні тіла працюючого персоналу за умови обов'язкового використання персоналом (працівниками) індивідуальних засобів їхнього захисту (спецодяг, окуляри, щитки тощо).

У виробничих приміщеннях підприємств (організацій, установ тощо), які розташовані у районах із середньою максимальною температурою найбільш жаркого місяця вище від 25 °С згідно з БНіП «Будівельна кліматологія» допускаються відхилення від нормованих величин показників мікроклімату виробничого приміщення, для даної категорії важкості та складності робіт, але не більше ніж на 3 °С. При цьому швидкість руху повітря у виробничому приміщенні повинна бути збільшена на 1,1 м/сек., а відносна вологість повітря у виробничому приміщенні має бути знижена на 5 % при підвищенні температури у виробничому приміщенні на кожний градус вище від верхньої межі гранично допустимих (нормованих) температур повітря у виробничому приміщенні.

У всіх виробничих приміщеннях підприємства (організації, установи тощо), в яких не можна встановити гранично допустимі (нормовані) величини мікроклімату виробничого приміщення через технологічні вимоги до даного конкретного виробничого процесу, технічну недосяжність (неможливість) або економічно обгрунтовану (розраховану за встановленою методологією) недоцільність передбачаються організаційні та інші заходи щодо захисту персоналу (працівників) від можливого перегрівання та охолодження.

					131.04ВР.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

Основні вимоги до засобів нормалізації мікроклімату та теплозахисту

Нормалізація (приведення до встановлених нормативами показників) несприятливих мікрокліматичних умов у виробничому приміщенні здійснюють за допомогою цілого заздалегідь визначеного комплексу заходів та способів, до яких належать: будівельно-планувальні заходи, організаційно-технологічні заходи, санітарно-технічні та інші заходи колективного захисту працівників (персоналу). Для профілактики перегрівань та переохолоджень працівників (персоналу) використовують засоби індивідуального захисту працівників (персоналу), медико-біологічні та інші.

Нормовані (встановлені) параметри мікроклімату на робочих місцях у виробничому приміщенні мають бути досягнені, в першу чергу, за рахунок проведення раціонального планування виробничих та інших приміщень і оптимального розміщення на їх території устаткування (обладнання) з тепло-, холодо- та вологовиділеннями. Для зменшення величини термічних навантажень на працюючих у виробничому приміщенні передбачається максимальна механізація, автоматизація та дистанційне керування технологічними та іншими процесами і устаткуванням (обладнанням).

У виробничих приміщеннях із значними площами застелених поверхонь будівлі (споруди) передбачаються встановлені заходи щодо захисту від перегрівання працівників (персоналу) під час попадання прямих сонячних променів в теплий період календарного року (орієнтація віконних прорізів схід-захід, улаштування жалюзі тощо), від радіаційного охолодження – в зимовий період календарного року (екранування робочих місць). За температури внутрішніх поверхонь огорожуючих конструкцій споруди (будівлі), застелення нижче або вище від гранично допустимих величин робочі місця у виробничому приміщенні повинні бути віддалені від них на відстань не менше ніж 1 м.

					131.04ВР.000.00ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

7 Економічна частина

Суть та характеристика потокового виробництва

Потокова організація виробничого процесу – це така форма організації виробничого процесу, за якої виробничі операції завжди виконуються у наперед визначеній, заздалегідь установленій чіткій визначеній послідовності; мають рівновеликі за обсягом завдання по випуску (виробництву) предметів праці (продукції) за той самий календарний період і виконуються завжди одночасно. На підприємстві (організації, установі) застосовується виробничий потік з вільним виробничим темпом – агрегатно-груповий потік. Ця система організації виробничих потоків завжди характеризується підвищеною змінюваністю асортименту (кількості) виробничої продукції (предметів праці), застосуванням агрегованого виробничого устаткування. Зміна виробничих моделей в агрегатно-груповому виробничому потоці не спричинює обов'язкової перебудови робочих місць на виробничому підприємстві (організації, установі), а обмежується зміною виробничих пристосувань, переміщенням одного або декількох виконавців (працівників, робітників) з одного робочого місця у межах виробництва, на інше робоче місце у межах виробництва.

Потокове виробництво продукції (предметів праці) – це найбільш ефективна (результативна) форма організації виробництва предметів праці по масовому випуску продукції (предметів праці), що забезпечує значне зростання продуктивності (ефективності) праці працівників (робітників), безперервність виробничого (робочого) процесу і найвищий (максимальний) рівень його якості.

Особливість організації потокового типу виробництва продуктів праці на сучасному етапі розвитку виробництва є керування (управління) великими колективами людей (працівників) і динаміка розвитку галузей промислового виробництва продуктів праці, тобто швидка заміщуваність видів (типів, варіантів) продукції (предметів праці).

					131.04ВР.000.00ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потоковий тип виробництва зазвичай полягає в об'єднанні машин (обладнання, пристосувань тощо), що виробляють аналогічний (однаковий) вид або тип виробничої продукції (предметів праці). Зазвичай розрізняються два варіанти об'єднання машин (обладнання, механізмів): група виробничих машин і виробничі (промислові) лінії.

Якщо говорити про яку-небудь групу виробничих машин (механізмів, обладнання), то йдеться про промислове устаткування (обладнання), розміщене залежно від послідовності проведення промислових технологічних операцій.

Коли йдеться про яку-небудь технологічну виробничу лінію, то зазвичай промислове технологічне устаткування розміщують по прямій лінії у споруді; виробничі цехи – на рівнобіжні лінії, які зазвичай спеціалізуються на визначеному (конкретному) промисловому товарі (або типах промислових товарів).

Під час організації потокового промислового виробництва зазвичай необхідно враховувати тривалість замовлення виробництва промислової продукції, обсяг випуску промислової продукції, визначити категорію якості промислової продукції і реальний технічний рівень виробничих (технологічних) ланок на підприємстві. Під час використання на підприємстві потокового типу виробництва частіше використовують потокові промислові (технологічні) лінії.

Потокова технологічна (виробнича) лінія – це група робочих місць у межах підприємства, що розташовані в суворій послідовності з урахуванням операцій технологічного (виробничого) циклу підприємства, за якими закріплені певні виробничі (технологічні) операції. Декілька потокових технологічних ліній складають виробничий цех підприємства.

Основні визначальні характеристики потокової виробничої (технологічної) лінії:

1. Закріплення за кожним виробничим робочим місцем на підприємстві тільки однієї технологічної операції по виготовленню групи деталей або складанню виробничої продукції.

					131.04ВР.000.00ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Розташування робочих місць на підприємстві по ходу виробничої (технологічної) лінії.

3. Після закінчення чергової технологічної операції на наступне робоче місце готові деталі передають по одній за один раз.

4. Синхронізація продовження кожної виробничої операції у межах сучасного технологічного процесу на потоковій лінії виробництва. Тобто усі заплановані операції обов'язково повинні бути кратні такту виробничої (технологічної) лінії на підприємстві.

5. Механізація передавання готових деталей та виробів та їхніх груп з одного робочого місця у межах виробництва на інше робоче місце у межах виробництва.

6. Замкнутий характер виробництва (технологічного процесу), який включає у собі всі види (типи) роботи з виготовлення запланованих деталей та виробів на даному конкретному виробництві.

Потокові лінії на виробництві (підприємстві) можуть відрізнятися одна від одної за такими характерними характеристиками (ознаками):

– номенклатура промислових виробів, що виготовляються на даному конкретному підприємстві;

– рівень безупинності виробничого процесу на даному конкретному підприємстві;

– рівень механізації та автоматизації виробничого процесу на даному конкретному підприємстві;

– умови наладки обладнання виробничого процесу на даному конкретному підприємстві.

Під час організації поточкових ліній на даному конкретному підприємстві розраховуються:

– такт виробничого процесу на даному конкретному підприємстві;

– число робочих місць та робітників (працівників) на потоковій лінії виробничого процесу на даному конкретному підприємстві;

					131.04BP.000.00ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- синхронізація технологічних операцій виробничого процесу на даному конкретному підприємстві;
- середні та максимальна швидкість руху та максимальна довжина робочої стрічки конвеєру виробничого процесу на даному конкретному підприємстві;
- виробничі нормативи виробничого процесу на даному конкретному підприємстві.

Основними напрямками поліпшення (покращення) роботи потокових технологічних ліній на підприємстві можуть бути:

- зниження простоїв технологічного обладнання на даному конкретному підприємстві;
- своєчасне подавання необхідної сировини і основних та допоміжних матеріалів на даному конкретному підприємстві;
- раціоналізація робочих місць технологічного потоку на даному конкретному підприємстві;
- поліпшення умов праці робітників (працівників) на робочих місцях на даному конкретному підприємстві;
- синхронізація роботи технологічного потоку на даному конкретному підприємстві;
- введення багатостатного обслуговування робочого процесу виробництва деталей і суміщення робочих професій на даному конкретному підприємстві.

Під час організації виробничих ділянок на даному конкретному підприємстві в умовах технологічного потоку велике значення має правильний вибір транспортних засобів на даному конкретному підприємстві – найефективнішими технологічними транспортними засобами є конвеєри на даному конкретному підприємстві.

Існують три основні види технологічних конвеєрів: безперервний конвеєр, пульсуючий конвеєр і розподільний конвеєр. Пульсуючий технологічний конвеєр зазвичай характеризується тим, що технологічний виріб знімається з виробничої

					131.04ВР.000.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

лінії і обробляється на конкретному робочому місці, потім технологічний виріб повертається на виробничу лінію, що здійснює його автоматичне транспортування на інше робоче місце у межах конкретного виробництва. Обов'язковою умовою роботи цієї технологічної лінії є рівність такту сумі часу, витраченого на оброблення технологічної деталі, і часу на її транспортування у межах конкретного діючого виробництва.

Для успішної організації потокового типу виробництва в часі застосовується три основні види руху предметів праці на виробництві: послідовний вид руху, рівнобіжний вид руху і змішаний вид руху предметів праці.

Послідовний (упорядкований) вид руху предметів праці (деталей) на виробництві має максимальний час складання виробів і, як наслідок, найвищу собівартість виготовлення промислових виробів.

Рівнобіжний вид рухів предметів праці (деталей) має мінімальний (найменший за величиною) час складання усіх видів руху предметів праці (деталей) на виробництві, але зазвичай потребує обов'язкової кратності часу оброблення конкретного виду (типу) виробу на всіх технологічних операціях виробничого процесу, а краще – їхньої рівності. Собівартість при цьому є мінімальна.

Змішаний вид руху предметів праці (деталей) має середній час складання конкретного типу (виду) виробу порівняно з рівнобіжним видом руху і послідовним видами руху і середнє за величиною значення своєї собівартості. При цьому виді (типи) промислових деталі можуть передаватися у межах технологічного процесу як поштучно, так і певними серіями або ж партіями, що зазвичай виключає можливі недоліки за тривалістю їхнього складання і неприпустимому перезавантаженню або недозавантаженню робочих місць на виробництві, що характерно для перших двох видів руху предметів праці.

Потоковий метод організації на виробництві можна застосовувати за умови обов'язкового дотриманням таких необхідних умов:

					131.04BP.000.00ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а) обсяг випуску промислової продукції досить великий і не змінюється протягом тривалого календарного періоду часу на даному конкретному промисловому виробництві;

б) конструкція виробу обов'язково має бути технологічна, окремі вузли і деталі технологічного виробу піддаються транспортуванню у межах виробництва, виріб можна розділяти на окремі конструктивно-складальні технологічні одиниці, що особливо важливо для організації технологічного потоку зі складання на даному конкретному промисловому виробництві;

в) витрати робочого часу за технологічними операціями може бути встановлено з достатньою їхньою точністю, максимально синхронізовано і зведено до єдиної базової величини; забезпечується стійка безперервна подача до робочих місць технологічних основних та допоміжних матеріалів, деталей, складальних вузлів та одиниць; можливе повне завантаження технологічного устаткування на даному конкретному промисловому виробництві.

Організація потокового типу виробництва зазвичай пов'язана з проведенням низки попередніх інженерних розрахунків і підготовчих робіт, які пов'язані з апаратурно-механічним оснащенням технологічного виробництва та узгодження усіх його основних та допоміжних елементів на даному конкретному промисловому виробництві.

Вихідним моментом на даному конкретному промисловому виробництві за проектування обсягу випуску продукції є такт потоку на даному конкретному промисловому виробництві.

Такт на промисловому виробництві – це такий визначений проміжок часу між запуском (або випуском) двох або більше суміжних технологічних виробів на виробничій лінії на даному конкретному промисловому виробництві. Такт може бути як середнім так і робочим на даному конкретному промисловому виробництві.

Середній такт виробничого потоку – це визначений календарний період часу між двома окремими послідовними випусками або запусками промислової

					131.04ВР.000.00ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукції на поточній технологічній лінії на даному конкретному промисловому виробництві.

Для забезпечення максимально повного завантаження технологічного устаткування і безперервності протікання технологічного виробничого процесу на даному конкретному промисловому виробництві в потоковому виробництві на даному конкретному промисловому виробництві здійснюється синхронізація (вирівнювання) операцій у часі на даному конкретному промисловому виробництві.

Після того як на даному конкретному промисловому виробництві досягнуто синхронізацію операцій на потоковій лінії на даному конкретному промисловому виробництві, складається план-графік її роботи на даному конкретному промисловому виробництві, що полегшує контроль на даному конкретному промисловому виробництві за використанням устаткування і робітників на даному конкретному промисловому виробництві.

Однією з основних умов на даному конкретному промисловому виробництві безперервної і ритмічної роботи поточних ліній на даному конкретному промисловому виробництві є організація міжопераційного транспорту на даному конкретному промисловому виробництві. У потоковому виробництві на даному конкретному промисловому виробництві транспортні засоби на даному конкретному промисловому виробництві використовуються не тільки для переміщення виробів на даному конкретному промисловому виробництві, а й для регулювання на даному конкретному промисловому виробництві такту роботи і розподілу предметів праці на даному конкретному промисловому виробництві між рівнобіжними робочими місцями на даному конкретному промисловому виробництві на лінії на даному конкретному промисловому виробництві.

Вибір транспортного засобу на даному конкретному промисловому виробництві залежить від габаритів на даному конкретному промисловому виробництві, маси оброблюваних деталей на даному конкретному промисловому

					131.04BP.000.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

виробництві, типу і кількості устаткування на даному конкретному промисловому виробництві, такту, ступеня синхронізації операцій на даному конкретному промисловому виробництві.

Проектування потоку на даному конкретному промисловому виробництві завершується розробленням раціонального планування лінії на даному конкретному промисловому виробництві. В процесі планування на даному конкретному промисловому виробництві необхідно дотримуватися таких вимог на даному конкретному промисловому виробництві: передбачити зручні підходи до робочих місць для ремонту й обслуговування лінії на даному конкретному промисловому виробництві, забезпечити безперервне транспортування деталей до різних робочих місць на лінії на даному конкретному промисловому виробництві; виділити майданчики на даному конкретному промисловому виробництві для нагромадження заділу і підходу до нього на даному конкретному промисловому виробництві; передбачити на лінії робочі місця на даному конкретному промисловому виробництві для виконання контрольних операцій на даному конкретному промисловому виробництві.

Метод групової організації виробництва на даному конкретному промисловому виробництві застосовується у випадку обмеженої номенклатури конструктивно і технологічно однорідних виробів на даному конкретному промисловому виробництві, виготовлених повторюваними партіями на даному конкретному промисловому виробництві. Суть методу на даному конкретному промисловому виробництві полягає в зосередженні на ділянці на даному конкретному промисловому виробництві різних видів технологічного устаткування для оброблення групи деталей на даному конкретному промисловому виробництві за уніфікованим технологічним процесом на даному конкретному промисловому виробництві.

Характерними ознаками на даному конкретному промисловому виробництві організації виробництва є: подетальна спеціалізація виробничих підрозділів на даному конкретному промисловому виробництві; запуск деталей у

					131.04BP.000.00ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на даному конкретному промисловому виробництві виробництво партіями за спеціально розробленими графіками на даному конкретному промисловому виробництві; паралельно-послідовне проходження на даному конкретному промисловому виробництві партій деталей за операціями на даному конкретному промисловому виробництві; виконання на ділянках (у цехах) на даному конкретному промисловому виробництві технологічно завершеного комплексу робіт на даному конкретному промисловому виробництві.

Метод організації на даному конкретному промисловому виробництві синхронізованого виробництва інтегрує ряд традиційних функцій організації виробничих процесів на даному конкретному промисловому виробництві: оперативного планування на даному конкретному промисловому виробництві, контролю складських запасів на даному конкретному промисловому виробництві, управління якістю продукції на даному конкретному промисловому виробництві. Суть методу на даному конкретному промисловому виробництві зводиться до відмови від виробництва на даному конкретному промисловому виробництві продукції великими партіями і створення безперервно-потокowego багатопредметного виробництва на даному конкретному промисловому виробництві, в якому на даному конкретному промисловому виробництві на всіх стадіях виробничого циклу на даному конкретному промисловому виробництві необхідний вузол або деталь на даному конкретному промисловому виробництві поставляється до місця наступної операції на даному конкретному промисловому виробництві точно в необхідний час на даному конкретному промисловому виробництві.

Поставлена мета на даному конкретному промисловому виробництві реалізується за допомогою створення групових на даному конкретному промисловому виробництві, багатопредметних поточкових ліній і використання на даному конкретному промисловому виробництві принципу витягування в управлінні ходом виробництва на даному конкретному промисловому виробництві. Основними правилами на даному конкретному промисловому

					131.04BP.000.00ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництві організації виробничого процесу на даному конкретному промисловому виробництві в цьому випадку є:

– виготовлення технологічної продукції дрібними партіями на даному конкретному промисловому виробництві;

– формування серій виробничих деталей і застосування на даному конкретному промисловому виробництві групової технології з метою скорочення виробничого часу налагодження технологічного устаткування на даному конкретному промисловому виробництві;

– перетворення технологічних складів виробничих матеріалів і виробничих напівфабрикатів на буфер-склади на даному конкретному промисловому виробництві;

– перехід від цехової технологічної структури промислового виробництва до предметно-спеціалізованих підрозділів на даному конкретному промисловому виробництві;

– передача основних функцій управління виробничим процесом безпосередньо виконавцям (робітникам).

					131.04ВР.000.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Список літератури

1. Ржебаева Н.К., Ржебаев Э.Е. Расчет и конструирование центробежных насосов: Учебное пособие – Сумы: Изд-во СумГУ, 2009. – 220с.
2. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. Пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов/С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 416с. ил.
3. Справочник конструктора-машиностроителя. В3-х т. Т.2 – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. -584с., ил.
4. Методичні вказівки до виконання курсового та дипломного проектування зі спеціальності 05050205 «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика» /укладачі: Е. В. Колісніченко, В.О.Панченко. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 48с.
5. Методичні вказівки до виконання курсового проекту зі спеціальності «Розрахунок та проектування консольного насоса з використанням теорії подібності» / укладачі: Е. В. Колісніченко, В. О. Панченко. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 37 с.
6. Технологія машинобудування: конспект лекцій / Укладач О.У. Захаркін. - Суми: Вид-во СумДУ, 2010.-260с.
7. Насосы консольные типа К, 1К, 2К [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.agrovodcom.ru/konsol_pump.php.
8. Економіка підприємства [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://pidruchniki.com/15220122/ekonomika/virobnichiy_tsikl_yogo_harakteristika_struktura.
9. Параметры та види вібрації, її дія на організм людини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://pidruchniki.com/15800119/bzhd/parametri_vidi_vibratsiyi_diya_organizm_lyudini.

									Арк.
									79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	131.04ВР.000.00ПЗ				

- 10.Шварцбурд Б.И. «Технология производства гидравлических машин»,
Москва, «Машиностроение», 1978г. – 352с.
- 11.Горбачевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии
машиностроения: [Учеб. Пособие для машиностроит. спец. вузов].- 4-е изд.,
перераб. И доп.,- Мн.:Выш. Школа, 1983.-256 с, ил.
- 12.Михайлов А.К. Малюшенко В.В. Лопасные насосы. Теория, расчет и
конструирование. М., «Машиностроение» 1977.
- 13.Биргер И.А. и др. Расчёт на прочность деталей машин: Справочник/ И.А.
Бюргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Иосилевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.:
Машиностроение, 1979.-702с.
- 14.Справочник металлиста. Под редакцией Чернавского. Том 1. М.;
Машиностроение, 1976, 768с.

					131.04ВР.000.00ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		