

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему

“Живильний насос із паротурбінним приводом для АЕС

$Q=3480 \text{ м}^3/\text{год}$, $H=135 \text{ м}$; $n=1600 \text{ об/хв}$ ”

зі спеціальності **6.05050205- гідравлічні машини, гідроприводи
та гідропневмоавтоматика**

Виконавець роботи **Кругляк Андрій Андрійович**
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис, дата)

Науковий керівник

Ковальов Ігор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис, дата)

Суми 2019

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 67 с., 10 рисунків, 7 таблиць, 5 додатки, 7 літературних джерел.

Тема роботи «Живильний насос із паротурбінним приводом для АЕС $Q=3480 \text{ м}^3/\text{год}$, $H=135 \text{ м}$, $n=1600 \text{ об/хв}$ »

Графічні матеріали: складального креслення насоса(A1*5),монтажного креслення насоса(A1), теоретичного креслення колеса робочого(A3x3), креслення колеса робочого(A2x3), креслення ротора (A3*8), креслення кришки (A2*4), креслення торцевого ущільнення (A3x5), технологічний процес (A1x2).

Мета роботи – розроблення конструкції насоса для перекачування води.

Відповідно до поставленої мети:

- наведено опис конструкції;
- виконано гідравлічні розрахунки;
- виконано розрахунки підшипників;
- виконано розрахунки ущільнення
- виконано розрахунки на міцність;
- технологічний процес виготовлення колеса робочого

У розділі охорони праці розглянуто питання про принципи улаштування і розрахунок природної і штучної вентиляції.

У розділі економіки розглянуто питання про суть та характеристики потокового виробництва.

Ключові слова: НАСОС, КОНСТРУКЦІЯ, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ВИБІР ПІДШИПНИКІВ ТА УЩІЛЬНЕНЬ, РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Опис конструкції вибраного насоса.....	7
2. Гідрравлічні розрахунки.....	11
2.1 Розрахунок та проектування робочого колеса	11
Ошибка! Закладка не определена.1	
2.1.1 Визначення основних геометричних параметрів	11
Ошибка! Закладка не определена.1	
2.1.2 Проектування меридіанного перерізу.....	22
3. Розрахунок підшипників.....	32
4. Розрахунок ущільнення.....	36
5. Розрахунки на міцність.....	40
5.1 Розрахунок валу на статичну міцність.....	40
5.2 Розрахунок шпоночного з'єднання під колесом.....	44
5.3 Розрахунок шпильок кріплення кришки напірної.....	46
6. Розділ з охорони праці	49
7. Економічна частина.....	53
8. Технологія виробництва деталі.....	60
8.1. Визначення типу виробництва та його характеристика	60
8.2. Розробка технологічного процесу для виготовлення і обробки кришки напірної.....	61
ЛІТЕРАТУРА.....	68
Додаток А	

					6.050502.01BP.000.00ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кругляк			Літ.	Лист	Листів
Перев.		Ковальов				3	68
Реценз.					Пояснювальна записка СумДУ, ГМ-51-7		
Н. Контр.		Алексєєнко					
Затв.							

Вступ

Прогрес техніки передбачений планами розвитку народного господарства, вимагає відповідного розвитку і насособудування.

Насосами називаються гідравлічні машини для переміщення рідин шляхом підвищення енергії робочого середовища. Насоси широко застосовуються в нафтовій промисловості, де всі основні виробничі процеси пов'язані з переміщенням по трубопроводах різних рідин. Насоси перекачують воду нафту нафтопродукти, глинисті і цементні розчини, як холодні так і гарячі рідини

Створення нових галузей промисловості поставило конкретні задачі перед насособудування. Все це привело до розвитку могутньої бази насособудування в нашій країні.

Відповідальну роль виконують насоси в атомній енергетиці, також і в хімічній промисловості. Перед інженерами-гідравліками нашої країни лежать великі задачі по створенню нових високо економічних, відмінних підвищеними параметрами, малою питомою металоємністю, високим ступенем уніфікації. Це зажадає подальший розвиток дослідницьких, технологічних і проектно-конструкторських робіт у області насособудування.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 Опис конструкції вибраного насоса

Даний опис виконаємо на прикладі виготовлення турбонасосного агрегату типу «ПТА 3750-100».

Насос входить до складу живильного турбонасосного агрегату ПТА 3750-100-2 и призначений для подачі живильної води з деаератора в парогенератор блоку АЕС з реактором ВВЕР-1000 і турбіною К-1000-60 / 3000-2.

Не призначені для експлуатації у вибухо- та пожежонебезпечних приміщеннях згідно з « Правил будови електро установок »

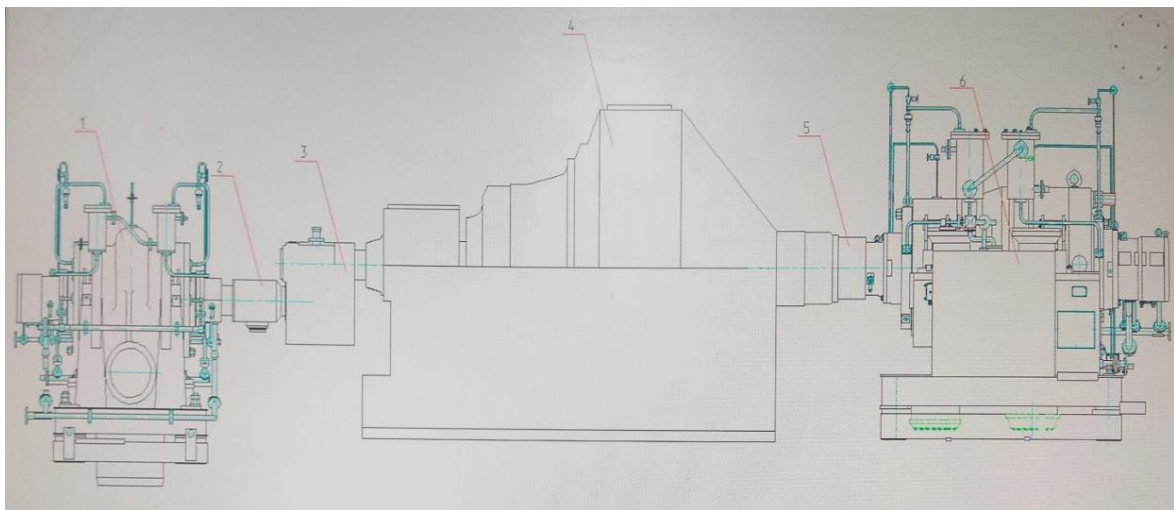


Рисунок 2.1 – Принципова схема агрегату

1 – бустерний насос; 2 – зубчаста муфта; 3 – редуктор; 4 – турбина;
5 – зубчаста муфта; 6 – головний насос.

Показники призначення агрегатів за перекачуваними і споживаними середовищами повинні відповідати вказаним в таблиці 2.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Таблиця 1 – Показник агрегата

Назва середовища	Назва показника	Значення показника
Поживна вода	Температура на вході в насос, °С, не більше	180
	Тиск на вході в насос, МПа (кгс/см ²), не більше	1,32 (13,3)
	Максимальний тиск на вході в насос при розгоні турбіни, МПа (кгс/см ²), не більше	3,32(33,85)

Показники призначення по параметрам в номінальному режимі вказані в таблиці 3.

Таблиця 2 – Показник насоса

Назва показника	Значення показника
Частота обертання насоса, с ⁻¹ (об/хв)	26,7 (1600)
Подача насоса, м ³ /с (м ³ /год)	0,958 (3480)
Напір насоса, м	135
Потужність (ρ=1000 кг/м ³), кВт: насоса	1280

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Примітки:

1 Допустиме виробниче відхилення по напору $\pm 3\%$ від номінального значення.

Показники технічної та енергетичної ефективності насосів і агрегатів в номінальному режимі приведені в таблиці 4.

Таблиця 3 - Показник технічної та енергетичної ефективності

Назва показника	Значення показника
Коефіцієнт корисної дії ($\rho=1000 \text{ кг/м}^3$), %, не менше: насоса	87
Примітки: 1 Максимальний к.к.д. насоса повинен розташовуватися в робочому інтервалі подач	

Конструктивні показники насосів і агрегатів приведені в таблиці 5.

Таблиця 5 - Конструктивні показники насоса

Назва показника	Значення показника
Маса, кг, не більше насоса	8200

1.1.2 Конструктивні особливості

Насос цетробіжний, горизонтальний, двухкорпусний, одноступеневий з робочим колесом двостороннього входу.

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Вхідний і напірний патрубки насоса виконані під приварення до трубопроводів і спрямовані вертикально вниз.

Опорами ротора служать підшипники ковзання з примусовою змазкою від маслосистеми приводної турбіни.

Конструкцією насоса передбачена можливість випуску повітря з внутрішніх порожнин корпусу насоса.

На корпусах підшипников опор насоса повинні бути передбачені підготовлені місця, на які устанавлюються перехідні елементи для кріплення датчиків контролю вібраційного стану.

Насос оснащений системою автоматичного управління.

В якості приводу применяется парова турбіна.

Основні деталі насоса вионані з високохромірованою сталі.

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

2 Гідравлічні розрахунки

2.1 Розрахунок та проектування робочого колеса

2.1.1 Визначення основних геометричних параметрів

Меридіанний переріз відцентрового робочого колеса з основними геометричними параметрами приведено на рис. 4.1.

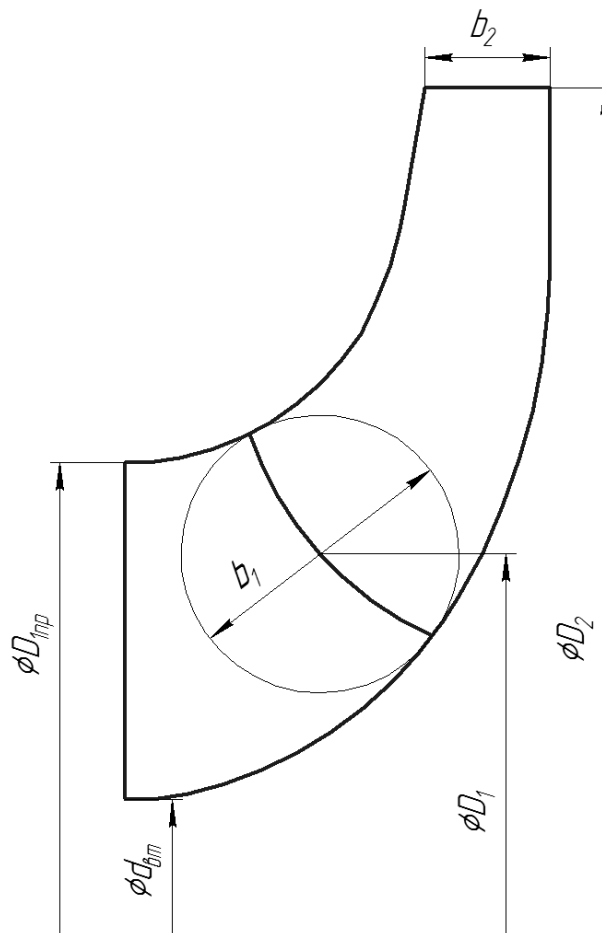


Рисунок 4.1 – Меридіональний переріз

Коефіцієнт швидкості[3]:

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \left(\frac{Q}{j}\right)^{0,5}}{\left(\frac{H_n}{i}\right)^{0,75}}, \quad (2.1)$$

де i – число ступеней

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1600 \cdot \left(\frac{0,96}{2}\right)^{0,5}}{\left(\frac{135}{1}\right)^{0,75}} = 102,515$$

Кавітаційний коефіцієнт швидкохідності:

$$C_{кр} = \frac{5,62 \cdot n \cdot \left(\frac{Q}{j}\right)^{0,5}}{\left(\frac{\Delta h_{дон}}{R}\right)^{0,75}},$$

(4.7)

де $\Delta h_{дон}$ - допустимий кавітаційний запас, м;

R – коефіцієнт запаса. Приймаємо $R = 1,2$.

$$C_{кр} = \frac{5,62 \cdot 1600 \cdot \left(\frac{0,96}{2}\right)^{0,5}}{\left(\frac{3,0}{1,2}\right)^{0,75}} = 3,144 \cdot 10^3$$

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

$$D_{1np} = k_{ex} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_p}{3600 \cdot n}}, \quad (2.2)$$

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

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Для забезпечення необхідного кавітаційного запасу виконуємо робоче колесо зі збільшеною воронкою. Приймаємо $k_{вх}=4.62$.

$$D_{1np} = 4.62 \cdot \sqrt[3]{\frac{3480}{3600 \cdot 1600}} = 0,310 м$$

Повний ККД насоса:

$$\eta = \eta_o \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta'_m \cdot \eta_m, \quad (2.3)$$

де η_o - об'ємний ККД;

η_{Γ} - гідравлічний ККД;

η'_m - внутрішній механічний ККД;

η_m - зовнішній механічний ККД.

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

$$\eta_o = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot (102.515)^{-2/3}} = 0,970$$

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{[\lg(D_{1np} \cdot 10^3) - 0,172]^2}, \quad (2.5)$$

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{[\lg(0,310 \cdot 10^3) - 0,172]^2} = 0,922$$

$$\eta'_m = \frac{1}{1 + 820 \cdot n_s^{-2}}, \quad (2.6)$$

$$\eta'_m = \frac{1}{1 + 820 \cdot (102.515)^{-2}} = 0,928$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$\eta_m = 0,95 \div 0,99$. Приймаємо $\eta_m = 0,99$.

Тоді $\eta = 0,970 \cdot 0,922 \cdot 0,928 \cdot 0,99 = 0,87$

Потужність, яка споживається насосом:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{3600 \cdot \eta}, \quad (2.7)$$

де $\rho = 886.9 \text{ кг/м}^3$ - густина води

$$N = \frac{886.9 \cdot 9,81 \cdot 3480 \cdot 135}{3600 \cdot 0,821} = 691,354 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Теоретичний напір робочого колеса:

$$H_m = \frac{H}{\eta_r}; \quad (2.8)$$

$$H_m = \frac{135}{0,922} = 146,433 \text{ м.}$$

Максимальна потужність на валу насоса:

$$N_{\max} = 1,1 \cdot N; \quad (2.9)$$

$$N_{\max} = 1,1 \cdot 691.354 \cdot 10^3 = 760,490 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

В першому наближенні діаметр вала визначаємо з розрахунку на кручення:

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

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

Приймаємо $[\tau] = 100 \cdot 10^5 \text{ Па}$

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

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

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

(2.11)

$$M = \frac{30 \cdot 760.490 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1600} = 4,539 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тоді:

$$d_g = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4,539 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 100 \cdot 10^5}} = 0,140 \text{ м}$$

Згідно ГОСТ 6636-69 приймаємо розмір вала $d_g = 140 \text{ мм}$

Діаметр втулки орієнтовно вибирають за залежністю:

$$d_{em} = (1,2 \div 1,25) \cdot d_g; \quad (2.12)$$

$$d_{em} = (1,2 \div 1,25) \cdot 140 = 0,1650 \text{ м}$$

Приймаємо $d_{em} = 0,1650 \text{ м}$.

Діаметр вхідної воронки робочого колеса визначають з виразу:

$$D_{1np} = \sqrt{D_0^2 - d_{em}^2}; \quad (2.13)$$

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

$$D_0 = \sqrt{0,310^2 + 0,1650^2} = 0,351 \text{ м}.$$

Швидкість на вході у робоче колесо знаходять з рівняння нерозривності:

$$V_0 = \frac{4 \cdot Q_{p.k.}}{\pi \cdot D_{1np}^2} \quad (2.15)$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

де $Q_{p.k.}$ – витрата, що проходить через робоче колесо, m^3/c .

$$Q_{p.k.} = \frac{Q}{\eta_o}; \quad (2.16)$$

$$Q_{p.k.} = \frac{3480}{3600 \cdot 0,970} = 0,498 m^3 / c$$

Тоді:

$$V_0 = \frac{4 \cdot 0,498}{3,14 \cdot 0,310^2} = 6,60 m / c$$

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

Визначимо діаметр, на якому розташована вхідна кромка лопаті:

$$D_1 = 0,8 \cdot D_0; \quad (2.17)$$

$$D_1 = 0,8 \cdot 0,351 = 0,258 m$$

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

$$V_{1m} = \psi_1 \cdot V'_{1m}, \quad (2.18)$$

де V'_{1m} - меридіанна швидкість без урахування стиснення, m/c ;

ψ_1 = коефіцієнт стиснення потоку на вході. $\psi_1 = 1,15 \div 1,3$. Приймаємо $\psi_1 = 1,216$.

$$V'_{1m} = V_0 = 6,603 m / c$$

$$V_{1m} = 1,216 \cdot 6,603 = 8,029 m / c.$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

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

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1u}}, \quad (2.19)$$

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

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60}; \quad (2.20)$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,258 \cdot 1600}{60} = 21,623 \text{ м/с}$$

V_{1u} – колова складова абсолютної швидкості на вході в робоче колесо.

$$V_{1u} = 0.$$

Тоді:

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{8,029}{21,623} = 20^\circ$$

Кут нахилу лопаті на вході в робоче колесо

$$\beta_1 = \beta_{1n} + \Delta\beta \quad (2.21)$$

Цей кут повинен знаходитись у границях $15 \div 30^\circ$ [3].

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

Приймаємо $\Delta\beta = 2^\circ$. Тоді $\beta_1 = 20^\circ + 2^\circ = 22^\circ$

Визначимо число лопатей та їх товщину.

Існує рекомендація, що для чистих рідин число лопатей вибирають від 5 до 8 [2].

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Товщину лопаті робочого колеса вибирають орієнтовно від 3 до 4 мм.
Приймаємо $z = 6$ та $S_1 = 0.009$ м.

Після вибору числа лопатей та їх товщини уточнюємо значення ψ'_1 за формулою:

$$\psi'_1 = \frac{t_1}{t_1 - \frac{S_1}{\sin \beta_1}}, \quad (2.22)$$

де t_1 – крок встановлення лопаті.

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{z}; \quad (2.23)$$

$$t_1 = \frac{3,14 \cdot 0,258}{6} = 0,135 \text{ м}$$

Тоді:

$$\psi'_1 = \frac{0,135}{0,135 - \frac{0,009}{\sin 22^\circ}} = 1,216$$

Повинна бути забезпечена умова:

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

$$|1,216 - 1,216| = 0 < 0,01 \quad \text{- умова виконується.}$$

Ширину робочого колеса на вході знаходимо з рівняння нерозривності:

$$b_1 = \frac{Q_{p.k.}}{\pi \cdot D_1 \cdot V'_{1m}}; \quad (2.24)$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$b_1 = \frac{0,498}{3,14 \cdot 0,258 \cdot 8,029} = 0,093 \text{ м}$$

Визначимо геометричні параметри виходу з робочого колеса.

Значення зовнішнього діаметру робочого колеса у першому наближенні може бути визначено з основного рівняння роботи лопатевих насосів Ейлера для $V_{1n} = 0$ та $V_{2n} = 0,5U_2$.

$$D_2' = m_2 \cdot \frac{\sqrt{2g \cdot H}}{n}, \quad (2.25)$$

де $m_2 = 19,1$ при $n_s \leq 100$,

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

Так як $n_s = 102,515$, то

$$D_2' = 19,2 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 135}}{1600} = 0,620 \text{ м}$$

Кінцево D_2 визначаємо з урахуванням поправки на кінцеве число лопатей. Меридіанна складова швидкості без урахування стиснення на виході з РК:

$$V_{2m}' = (0,5 \div 1,0) V_{2m}', \quad (2.26)$$

Приймаємо $V_{2m}' = 5,923 \text{ м/с}$.

Меридіанна складова швидкості без урахування стиснення на виході з РК:

Коефіцієнт стиснення перерізу потоку лопатями на виході з РК приймаємо $\psi_2 = 1,033$ ($\psi_2 = 1,05 \div 1,1$).

$$V_{2m} = \psi_2 \cdot V_{2m}', \quad (2.27)$$

$$V_{2m} = 1,033 \cdot 5,923 = 6,118 \text{ м/с}$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Кут на виході з РК β_2 залежить від степені дифузорності

$$\beta_2 = \arcsin \left[\left(\frac{W_1}{W_2} \right) \cdot \frac{\psi_2}{\psi_1} \cdot \frac{V_{m2}}{V_{m1}} \cdot \sin \beta_1 \right], \quad (2.28)$$

де $\left(\frac{W_1}{W_2} \right)_{opt} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot n_s + 2,65,$ (2.29)

$$\beta_2 = \arcsin [1,378 \cdot 0,850 \cdot 0,897 \cdot 0,375] = 22^\circ$$

Проведемо уточнення наружного діаметра РК з урахуванням кінцевого числа лопатей.

Даний розрахунок виконують, використовуючи преобразоване основне рівняння Ейлера (вирішуючи його відносно швидкості U_2), після ряду підстановок у вигляді:

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{V_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + g \cdot H_{T\infty}}, \quad (2.30)$$

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

$$H_{T\infty} = \frac{H}{\eta_r \cdot k_z}, \quad (2.31)$$

де k_z – поправка на кінцеве число лопатей.

За формулою Пфлейдерера:

$$k_z = \frac{1}{1+p}, \quad (2.32)$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

де

$$p = 2 \cdot \frac{\psi}{z} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2} \quad (2.32)$$

Коефіцієнт ψ визначається в залежності від n_s . При $n_s < 150$ ($n_s = 102,515$):

$$\psi = (0,55 \div 0,65) + 0,6 \cdot \sin \beta_2; \quad (2.33)$$

$$\psi = 0,65 + 0,6 \cdot \sin 22^\circ = 0,875$$

$$p = 2 \cdot \frac{0,875}{6} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0,258}{0,620}\right)^2} = 0,352;$$

$$k_z = \frac{1}{1 + 0,352} = 0,740;$$

$$H_{T\infty} = \frac{135}{0,922 \cdot 0,740} = 197,944 \text{ м};$$

$$U_2 = \frac{6,118}{2 \operatorname{tg} 22^\circ} + \sqrt{\left(\frac{6,118}{2 \operatorname{tg} 22^\circ}\right)^2 + 9,81 \cdot 135} = 52,284 \text{ м/с}$$

Діаметр робочого колеса:

$$D_2 = \frac{60 \cdot 52,284}{3,14 \cdot 1600} = 0,624 \text{ м}$$

Уточнений коефіцієнт стиснення:

$$\psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot S}{2\pi \cdot D_2 \cdot \sin \beta_2}}; \quad (2.34)$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$\psi_2' = \frac{1}{1 - \frac{6 \cdot 0,009}{3,14 \cdot 0,624 \cdot \sin 22^\circ}} = 1,032$$

Повинна бути забезпечена умова:

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

$1,032 - 1,031 = 0,001 < 0,01$ - умова виконується.

Приймаємо $D_2 = 0,624$ м.

Ширину робочого колеса на виході знаходимо з рівняння нерозривності:

$$b_2 = \frac{Q_{p.k.}}{\pi \cdot D_2 \cdot V_{2m}}; \quad (2.35)$$

$$b_2 = \frac{0,498}{3,14 \cdot 0,624 \cdot 6,118} = 0,0415 \text{ м}$$

2.2.1 Проектування меридіанного перерізу

Будують меридіанний переріз за допомогою метода послідовних наближень[3].

а) Намічають спочатку «на око» контури крайніх ліній струму. Рекомендується при цьому орієнтуватись на існуючі робочі колеса подібних п.с.

б) Наносять середню лінію каналу, яка представляє собою геометричне місце центрів вписаних кіл, зазвичай від входу до виходу РК тонкими лініями вписується 8-10 кіл. У зоні повороту потоку кіл зазвичай розміщують густіше.

Центри вписаних кіл нумерують цифрами 1, 2, 3, ...

в) Вираховуємо площі нормальних перерізів за формулами:

- на вході

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$F_{ex} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_{sm}^2) \quad (2.36)$$

- на виході

$$F_{b_{вых}} = \pi D_2 b_2, \quad (2.37)$$

- проміжна

$$F_i = 2 \pi r_i b_i, \quad (2.38)$$

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

b_i - діаметр вписаного кола.

Таблиця 4.4 - Розрахунок площі проміжних нормальних перерізів

№ точки	$F_i, \text{мм}^2$	$b_i, \text{мм}$	$r_i, \text{мм}$	$\Delta l_i, \text{мм}$
1	75379	94	129,4	0
2	76426	94	129,4	59
3	82975	93	142	113
4	83315	78	170	152
5	81185	59	219	204
6	78508	51	245	231
7	77000	43	285	270
8	82136	23	156	313

Відстань Δl_i вздовж середньої лінії меридіанного перерізу від першої точки до кожної наступної (2, 3, ...) визначається по кресленню.

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

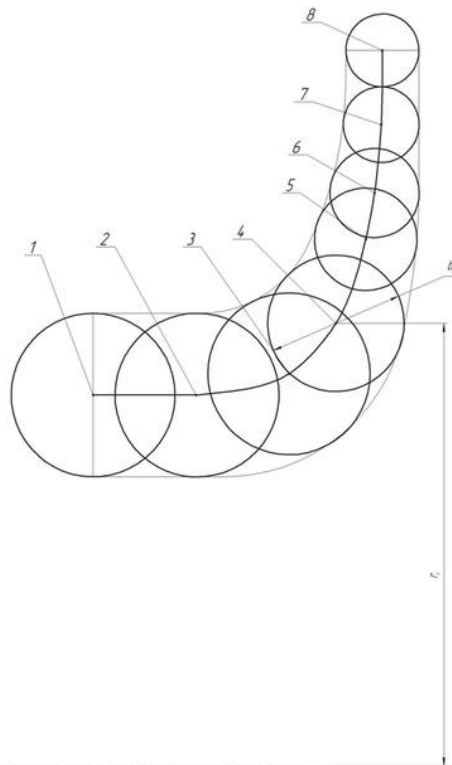


Рисунок 4.2 – До проектування меридіанного перерізу

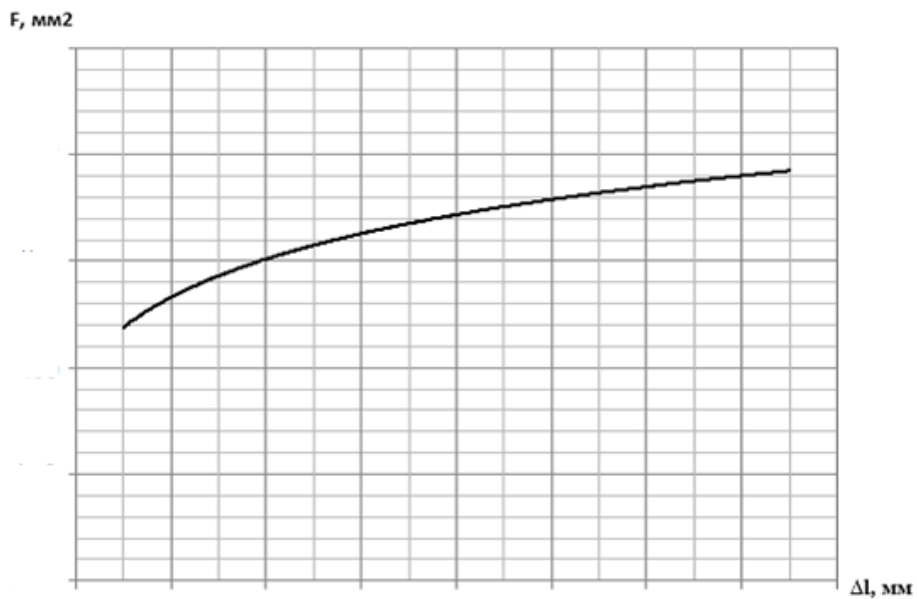


Рисунок 4.3 – Графік зміни площ меридіанного перерізу робочого колеса

2.2.2 Підготовка меридіанного перерізу робочого колеса для профілювання лопаті

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Для робочих коліс $n_s > 100$ рекомендується кількість потоків $k=3$, кількість розрахункових перерізів (ліній струму) $n=4$.

Очертання ліній току знаходимо методом послідовних наближень із положення рівношвидкісного потоку, який відповідає постійності меридіанної швидкості V_m вздовж даної нормалі.

Витрата через кожний розрахунковий переріз вздовж нормалі, m^3/c :

$$q = \frac{Q_{p.k.}}{3600K} = 2\pi \cdot V_m \cdot (r_{ц.т.} \cdot l)_k, \quad (2.39)$$

де l – довжина відрізка нормалі між сусідніми лініями, м;

$r_{ц.т.}$ – відстань ваги відрізка l до вісі робочого колеса, м.

Виходячи з того, що швидкість V_m вздовж нормалі постійна, то вищезгаданий вираз приймає вигляд:

$$r_{ц.т.} \cdot l = const$$

Тут:

$$\delta(r_{ц.т.} \cdot l) = r_{ц.т.} \cdot l - (r_{ц.т.} \cdot l)_{cp},$$

$$(r_{ц.т.} \cdot l)_{cp} = \frac{\sum r_{ц.т.}}{K},$$

$$\delta l = \frac{\delta(r_{ц.т.} \cdot l)}{r_{ц.т.}}. \quad (2.40)$$

За значеннями δl вносимо корективи в лінії струму і нормалі. Кореговку закінчуємо, якщо відхилення $\delta l/l \leq 0,05$.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 4.5 - Розрахунки до рівношвидкісного потоку

Линия тока	$r_{ум}$, мм	l , мм	$r_{ум} \times l, \text{мм}$ 2	$d (r_{ум} l)$	$d l \times l$	V_m , м/с
1	2	3	4	6	7	8
Нормаль №1						
<i>a</i>	199,3	23,0	4584,9	-81,1	-0,011	2,61
<i>b</i>						
<i>c</i>	171,2	28,0	4793,6	127,6	0,011	2,56
<i>d</i>						
	154,1	30,0	4,620	-46	-0,011	2,44

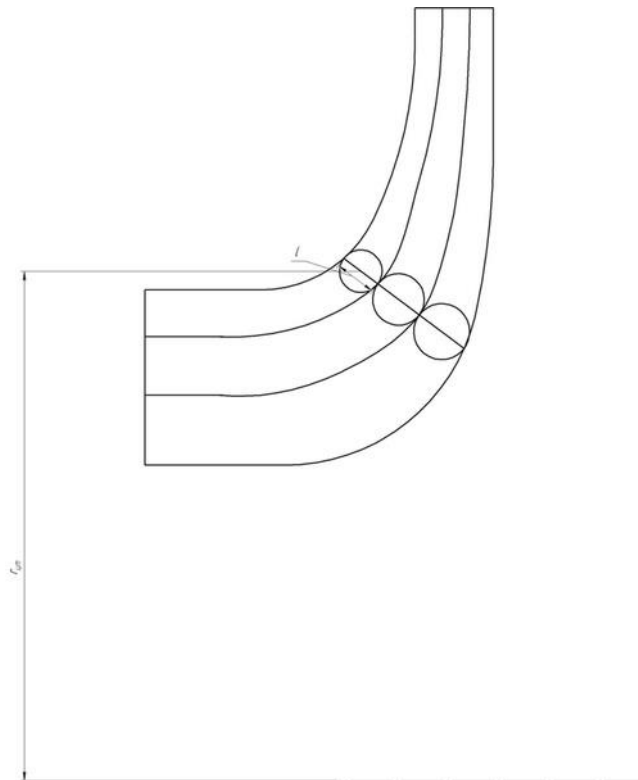


Рисунок 4.4 – Побудова ліній струму

2.2.3 Профілювання лопаті

Профілювання лопаті проводимо методом конформного відображення поверхні струму на розгортку поверхню циліндра обертання. При конформному відображенні кути лопаті зображують без спотворення, а відповідні лінійні розміри – пропорційні.

Для побудови координатної сітки на розгортці задаємося кутом $\Delta\varphi=10^\circ$ між меридіальними перерізами зображаемого циліндра, радіус якого приймаємо рівним[3]:

$$R_{к.ц.}=150 \text{ мм.}$$

Геометричні розміри ячійки розгортки:

$$\Delta L = \frac{R_{к.ц.}}{c}, \quad (2.41)$$

де $c=10$ – стала.

$$\Delta S = \frac{\pi \cdot R_{к.ц.} \cdot \Delta\varphi}{180^\circ} \quad (2.42)$$

Тоді:

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

$$\Delta S = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 10}{180^\circ} = 26,18 \text{ мм}$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Лінійний крок лопаті на розгортці циліндра:

$$t = \frac{2\pi \cdot R_{к.ц.}}{z}; \quad (2.43)$$

$$t = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 150}{7} = 134,64 \text{ мм}$$

$$t^\circ = \frac{360^\circ}{7} = 51,43^\circ$$

Кут охопту лопаті θ приймають в залежності від n_s , а також умови $\theta \geq 1,5t^\circ$, яка в нашому випадку має вигляд $\theta \geq 90^\circ$. Орієнтовно на $n_s=103$, приймаємо $\theta=210^\circ$.

Для побудови конформного відображення координатної сітки на поверхні струму. розбиваємо всі розрахункові лінії струму по умовам конформності:

$$\frac{r_{срі}}{\Delta l_i} = \frac{R_{к.ц.}}{C} = 0,1r_{ср}, \quad (2.44)$$

де $r_{срі}$ – відстань від вісі РК до середини відрізка Δl_i на лінії струму.

$$\Delta l_i = \frac{r_{срі}}{c} = 0,1r_{срі} \quad (2.45)$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 4.6 – Розрахунки по розбивці ліній струму на відрізки Δl

	a		b		c		d	
	Δl_i ,	r_{cpi} ,	Δl_i ,	r_{cpi} ,	Δl_i ,	r_{cpi} ,	Δl_i ,	r_{cpi} ,
1	21.5	215	21.2	212	21.0	210	20.8	208
2	19.7	197	19.6	196	19.5	195	19.4	194
3	18.2	182	18.3	183	18.8	188	18.1	181
4	17.1	171	17.3	173	17.8	178	17.5	175
5			16.1	161	16.7	167	16.3	163
6			15.3	153	15.6	156	15.4	154
7					14.3	143	14.4	144
8					13.5	135	13.1	131
9							12.5	125
10							11.9	119

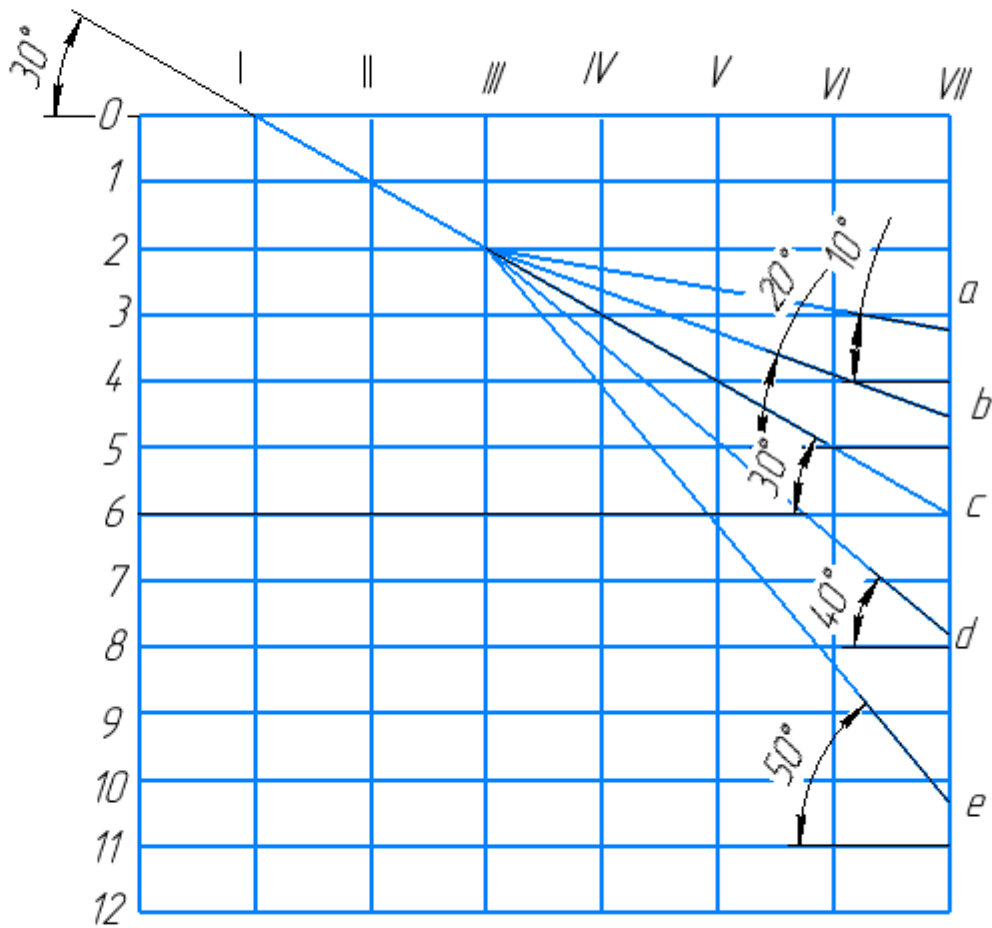


Рисунок 2.4.2 – Конформна діаграма

Задаємося кутами лопаті, з урахування кутів атаки $\beta_1 > \beta_{1n}'$:

a: $\beta_1=10^\circ$; b: $\beta_1=20^\circ$; c: $\beta_1=30^\circ$; d: $\beta_1=40^\circ$; e: $\beta_1=50^\circ$;

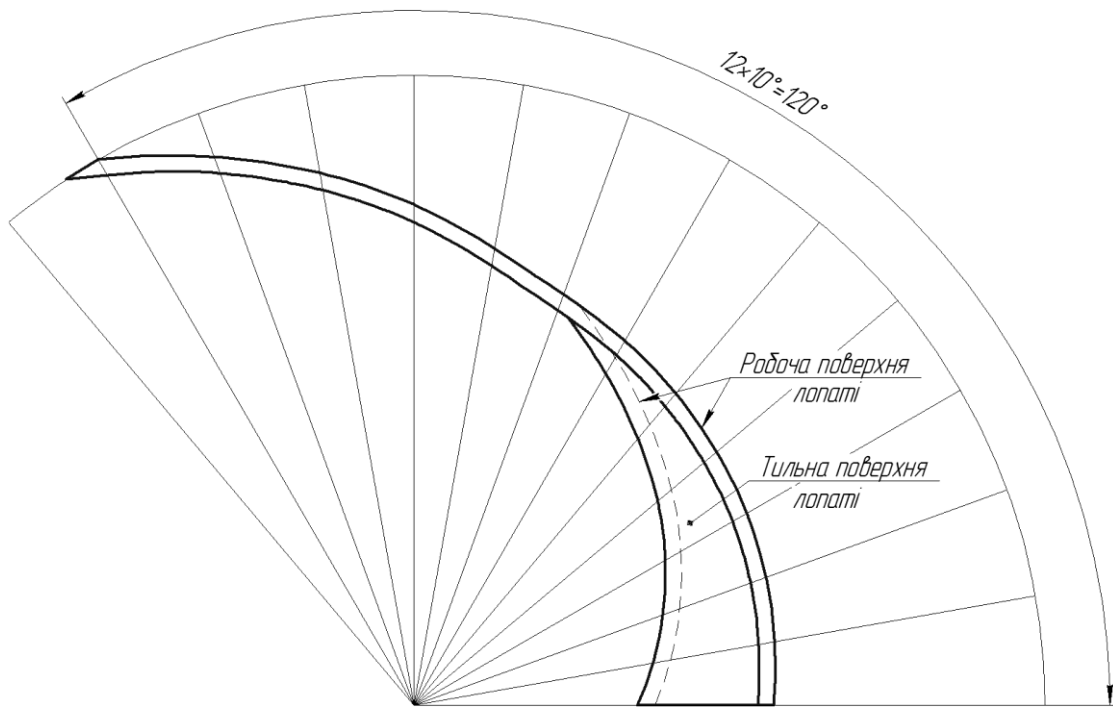


Рисунок 2.7 – Лопать в плані

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3. Розрахунок підшипників

3.1 Розрахунок реакцій в підшипниках

де G – вага ротора, Н;

R_A, R_B – реакції в підшипниках, Н;

M – момент на валу від двигуна, Н·м;

l_1 – відстань між підшипниками, м $l_1 = 1,580$;

l_2 – відстань між підшипником і центром мас ротора, м $l_2 = 0,700$;

l_3 – відстань між підшипником і точкою прикладення радіальної сили, м $l_3 = 0,785$;

l_4 – відстань від кінця вала до центра мас, м $l_4 = 1,052$;

Для підшипника A умову рівноваги

$$\Sigma M_A = R_B \cdot l_1 - M - G \cdot l_1 / 2 - F_k \cdot l_3 = 0, \quad (3.1)$$

Для підшипника B умову рівноваги

$$\Sigma M_B = R_A \cdot (l_1 + l_4) - M - G \cdot l_1 / 2 - F_k \cdot (l_1 - l_3) = 0, \quad (3.2)$$

Реакція в підшипнику A

$$R_A = \frac{F_k (l_1 - l_3) + M + G \cdot l_1 / 2}{l_1 + l_4}, \quad (6.3)$$

Реакція в підшипнику B

$$R_B = \frac{F_k \cdot l_3 + M + G \cdot l_1 / 2}{l_1}, \quad (6.4)$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$R_A = \frac{8865,8(1,580 - 0,785) + 4550 + 4560 \cdot 1,580 / 2}{1,580 + 1,052} = 5775,2 \text{ Н}$$

$$R_B = \frac{8865,8 \cdot 0,785 + 4550 + 4560 \cdot 0,700 / 2}{1,580} = 8294,7 \text{ Н}$$

Вибір підшипника та визначення номінальної довговічності проводяться по значенням еквівалентного динамічного навантаження P . Для радіальних підшипників це – стало радіальне навантаження, яке при прикладенні його до підшипника з обертаючимися внутрішнім та нерухомим зовнішнім кільцями забезпечує такий самий розрахунковий строк служби, як і при діючих умовах навантаження та обертання[6].

Для даної розрахункової схеми для підшипника «А» застосовуємо радіальний опорно-упорний підшипник ковзання, а для «В» радіально-опорний підшипник ковзання.

3.1 розрахунок на довговічність

Вхідні данні:

Діаметр вкладиша підшипника, м $d = 0,155$ м

Довжина вкладиша підшипника, м $L = 0,130$ м

Температура мастила: $t = 40^\circ$

Реакції в опорах: $R_A = 9340,9$ Н; $R_B = 8697,3$ Н.

Допустиме навантаження, Н/м²:

$$K_{a(b)} = \frac{R_{a(b)}}{L \cdot d} \quad (4.4)$$

$$K_a = \frac{9340,9}{0,13 \cdot 0,155} = 463568,2 \text{ Н/м}^2$$

$$K_b = \frac{8697,3}{0,13 \cdot 0,155} = 431627,8 \text{ Н/м}^2$$

Швидкість ковзання, м/с:

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$V = \pi \cdot d \cdot \frac{n}{60} \quad (4.5)$$

$$V = 3,14 \cdot 0,155 \cdot \frac{3120}{60} = 25,3 \text{ м/с}$$

Потужність споживана підшипником:

$$N_{a(b)} = 0,735 \cdot \left[0,15 \cdot V + \left(\frac{V}{25} \right)^2 \right] + \left(3 + \sqrt{\frac{V}{50}} \right) \cdot R_{a(b)} \cdot V \cdot 10^{-6} \quad (4.6)$$

$$N_a = 0,735 \cdot \left[0,15 \cdot 25,3 + \left(\frac{25,3}{25} \right)^2 \right] + \left(3 + \sqrt{\frac{25,3}{50}} \right) \cdot 0,236 = 4,334 \text{ Н}$$

$$N_b = 3,682 \text{ Н}$$

$$q_{a(b)} = 1,6 \cdot \frac{N_{a(b)}}{60} \cdot 10^{-3} \quad (4.7)$$

$$q_a = 1,6 \cdot \frac{4,334}{60} \cdot 10^{-3} = 0,116 \cdot 10^{-3}$$

$$q_b = 0,0982 \cdot 10^{-3}$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

4. Розрахунок ущільнення

Система ущільнення вала насоса конструктивно виконана у вигляді торцевого ущільнення з автономним контуром циркуляції, що складається з дефлектора і виносного теплообмінника змієвидного типу. Камера торцевого ущільнення відокремлена від порожнини насоса вбудованим термобарером з водяним охолодженням

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 5.1

Частота обертання ротора, с^{-1}	N	26.6
Тиск рідини в камері ущільнення, МПа	P	3,32
Загальне зусилля пружини, Н	F	1060
Коефіцієнт тертя	f_T	0,008
Коефіцієнт тиску	K_p	0,5
Коефіцієнт теплоізоляції пари тертя	$C\omega$	0,65
Коефіцієнт теплопровідності кілець тертя, $\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$	Λ	160
Допускаємий витік, $\text{м}^3/\text{г}$	Q_y	$0,75 \cdot 10^{-4}$

Продовження таблиці 5.1

Внутрішній діаметр торцевого ущільнення поверхні, м	D1	0,193
Зовнішній діаметр торцевого ущільнення поверхні, м	D3	0,221
Діаметр гідравлічного врівноваження, м	D4	0,200
Внутрішній діаметр обертової обойми, м	D5	0,160
Зовнішній діаметр обертової обойми, м	D2	0,240
Зазор між обертовою обоймою і корпусом насоса, м	B	0,001
Довжина обертового диска, м	L	0,052
Параметри термобарера:		
площа теплообміну з рідиною, що перекачується, м^2	S_n	0,109
товщина стінки термобарера, м	δ_1	0,1098

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

коефіцієнт теплопровідності термобарера, Вт/м·°С	λ_1	26
Площа вхідного перетину відвода дефлектора, м ²	Sd	0,00068
Коефіцієнт витрат	Kd	0,026
Параметри рідини в камері ущільнення: допустима температура, °С густина, кг/м ³ теплоємність, Дж/кг·°С кінематична в'язкість, м ² /с	[tk] ρ C1 ν	80 971,8 4195 $0,363 \cdot 10^{-6}$
Параметри перекачуємої рідини: температура, °С густина, кг/м ³ теплоємність, Дж/кг·°С	t _н ρ_n C _н	183 883,7 4419,6
Параметри охолоджуючої рідини теплообмінника: температура, °С густина, кг/м ³ теплоємність, Дж/кг·°С витрата, м ³ /г	t ₃ ρ_3 C ₃ Q ₃	45 990,2 4180 5,5
Параметри охолоджуючої рідини термобарера: температура, °С густина, кг/м ³ теплоємність, Дж/кг·°С витрата, м ³ /г	t ₃ ρ_3 C ₃ Q _{2b}	45 990,2 4180 4,5

Площа контакту ущільнюючих поверхонь

$$S = \pi \frac{(D_3^2 - D_1^2)}{4} \quad (5.1)$$

$$S = 3,14 \frac{(0,221^2 - 0,193^2)}{4} = 0,0091 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт гідравлічного урівноваження

$$K_y = \pi \frac{(D_3^2 - D_4^2)}{4S} \quad (5.2)$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$K_y = 3,14 \frac{0,221^2 - 0,200^2}{4 \cdot 0,0091} = 0,763$$

Питоме навантаження на ущільнюючу поверхонт

$$P_k = (K_y - K_p)P + \frac{F}{S \cdot 10^6} \quad (5.3)$$

$$P_k = (0,763 - 0,5)3,32 + \frac{1060}{0,091 \cdot 10^6} = 0,989 \text{ МПа}$$

Швидкість ковзання

$$V = \omega \frac{D_1 + D_3}{4} \quad (5.4)$$

$$V = 310,9 \frac{0,193 + 0,221}{4} = 35,225 \text{ м/с}$$

Потужність тертя ущільнюючої поверхні

$$N_o = 2\pi\mu\omega^2 \left[\frac{D_3 + D_1}{4} \right]^2 \frac{D_3 - D_1}{2} \frac{10^{-3}}{h} \quad (5.5)$$

$$N_o = 2 \cdot 3,14 \cdot 3,53 \cdot 10^{-4} \cdot 310,9^2 \left[\frac{0,221 + 0,193}{4} \right]^2 \cdot \frac{0,221 - 0,193}{2} \cdot \frac{10^3}{5,8 \cdot 10^{-6}} =$$

$$= 0,691 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості рідини в камері ущільнення

$$\mu = \rho\nu \quad (5.6)$$

$$\mu = 971,8 \cdot 0,363 \cdot 10^{-6} = 3,53 \cdot 10^{-4} \text{ Нс/м}^2$$

Торцевий зазор між ущільнюючими поверхнями

$$h = \sqrt[3]{\frac{6\mu \frac{D_3 - D_1}{2} \frac{Q_y}{3600}}{\pi \frac{D_3 + D_1}{4} P \cdot 10^6}} \quad (5.7)$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$h = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 3,53 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,221 - 0,193}{2} \cdot \frac{0,74 \cdot 10^{-4}}{3600}}{3,14 \cdot \frac{0,221 + 0,193}{4} \cdot 3,32 \cdot 10^6 \cdot 10^6}} = 5,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Потужність дискового тертя

$$N_g = N_{тр} + N_{ц} \quad (5.8)$$

$$N_g = 2,442 + 0,146 = 2,588 \text{ кВт}$$

де

$N_{тр}$ – потужність дискового тертя торцевих поверхонь

$N_{ц}$ – потужність дискового тертя циліндричної поверхні

Потужність тертя в торцевом ущільнювачі

$$N_M = N_o + N_g + N_k \quad (5.9)$$

$$N_M = 0,691 + 2,588 + 0,839 = 4,118 \text{ кВт}$$

Потужність конвективного теплообміну

$$N_k = \frac{C_n \rho_n (t_n - t_k) Q_y}{3600 \cdot 1000} \quad (5.10)$$

$$N_k = \frac{4419,6 \cdot 883,7 (183 - 80) \cdot 0,74 \cdot 10^{-4}}{3600 \cdot 1000} = 0,839 \text{ кВт}$$

Загальна потужність тепловиділення в камері ущільнення

$$N_m = 8,153 \text{ кВт}$$

Потужність теплового потоку в камеру ущільнення зі сторони перекачуваної рідини

$$N_B = \frac{\lambda_1 S_n (t_n - t_k)}{1000 \delta_1} \quad (5.11)$$

$$N_B = \frac{26 \cdot 0,109 (183 - 80)}{1000 \cdot 0,1098} = 4,678 \text{ кВт}$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Коефіцієнт теплопередачі від трубки зміювика до охолоджуючої рідини:

$$K_2 = 1418 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

Нагрів охолоджуючої рідини в контурі циркуляції

$$DT_m = \frac{N_m \cdot 1000 \cdot 3600}{C_3 \nu_3 Q_3} \quad (5.12)$$

$$DT_m = \frac{8,153 \cdot 10^3 \cdot 1000 \cdot 3600}{4180 \cdot 990,2 \cdot 5,5} = 1,8^\circ \text{C}$$

Нагрів в камері ущільнення

$$DT_k = \frac{N_m \cdot 1000 \cdot 3600}{C_1 \nu_1 Q_d} \quad (5.13)$$

$$DT_m = \frac{8,153 \cdot 10^3 \cdot 1000 \cdot 3600}{4195 \cdot 971,8 \cdot 0,675} = 10,6^\circ \text{C}$$

Витрата рідини через камеру ущільнення

$$Q_d = K_d S_d V_d \quad (5.14)$$

$$Q_d = 0,026 \cdot 0,00068 \cdot 40,84 = 0,675 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Переферійна окружна швидкість обійми\

$$V_d = \pi \omega D_2 \quad (5.15)$$

$$V_d = 3,14 \cdot 310,9 \cdot 0,240 = 40,84 \text{ м} / \text{с}$$

Температурний напір зовнішнього теплообмінника

$$DT_2 = \frac{1000 N_m}{K_2 f_t} \quad (5.16)$$

$$DT_2 = \frac{1000 \cdot 8,153 \cdot 10^3}{1418 \cdot 0,008} = 10,2^\circ \text{C}$$

Середня температура в камері ущільнення

$$t_k = t_3 + DT_2 + 0,5 DT_k \quad (5.17)$$

$$t_k = 45 + 10,2 + 0,5 \cdot 10,6 = 60,5^\circ \text{C}$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

5 Розрахунок на міцність

5.1 Розрахунок вала на статичну міцність

Вихідні дані:

Матеріал вала	Сталь 40ХФА
Границя міцності σ_{σ} , МПа	900
Границя текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	800
Границя втоми при згинанні σ_{-1} , МПа	$0,5\sigma_{\sigma} = 450$
Границя втоми при крученні τ_{-1} , МПа	$0,29\sigma_{\sigma} = 261$
Крутний момент $M_{кр}$, Н*мм	$4550 \cdot 10^3$

Вал знаходиться в умовах сумісної дії згинання та кручення. Найнебезпечнішим є переріз під робочим колесом, яке послаблене шпоночним пазом[8].

Номінальна дотична напруга в перерізах вала визначається за формулою.

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p}, \quad (7.1)$$

де W_p - момент опору крученню, м³.

Напруга згинання визначається за формулою:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W}, \quad (7.2)$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

де $M_{и} = 0,1 M_{кр}$ – згинаючий момент, Нм.

$$M_{и} = 0,1 \cdot 4550 = 455 \text{ Нм}$$

W – момент опору переріза вала згинанню, м^3

Моменти опору крученню та згинанню вала переріза, який послаблений шпоночним пазом, визначається згідно формулам:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b \cdot \frac{h}{2} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right)}{2d}, \quad (7.3)$$

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b \cdot \frac{h}{2} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right)^2}{2d}, \quad (7.4)$$

де $d = 141$ мм - діаметр вала під колеса;

$b = 32$ мм - ширина шпоночного пазу;

$h = 11$ мм - глибина пазу.

Після підстановки чисельних значень в (7.3) та (7.4), отримуємо:

$$W_p = \frac{3,14 \cdot 141^3}{16} - \frac{32 \cdot \frac{11}{2} \cdot \left(141 - \frac{11}{2}\right)^2}{2 \cdot 141} = 526797,7 \text{ мм}^2;$$

$$W = \frac{3,14 \cdot 141^3}{32} - \frac{12 \cdot \frac{11}{2} \cdot \left(141 - \frac{11}{2}\right)^2}{2 \cdot 141} = 270768 \text{ мм}^2.$$

Підставляємо отримані дані:

$$\tau = \frac{4550 \cdot 10^3}{526797,7} = 8,63 \text{ МПа};$$

$$\sigma_u = \frac{455 \cdot 10^3}{270768} = 1,66 \text{ МПа}.$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
						38
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запас міцності по статичній несучій здатності:

$$n = \frac{\sigma_{0,2}}{\sqrt{\sigma_u^2 + 4\tau^2}} \geq [n], \quad (7.5)$$

де $[n] = 2,2$ при $\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_\sigma} = \frac{800}{900} = 0,89$

$$n = \frac{800}{\sqrt{2,67^2 + 4 \cdot 12,8^2}} = 46 > 2,2 \quad - \text{ умова виконується}$$

Запас міцності за межею стомлення:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}, \quad (7.6)$$

де n_σ - запас міцності по нормальним напругам;

n_τ - запас міцності по доточним напругам.

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma \cdot \beta} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m}; \quad (7.7)$$

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau \cdot \beta} \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_m}, \quad (7.8)$$

де k_σ, k_τ - ефективні коефіцієнти концентрації;

$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$ - коефіцієнти, які враховують масштабний фактор;

ψ_σ, ψ_τ - коефіцієнти, які враховують вплив асиметрії циклу напруг;

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\sigma_a, \tau_a, \sigma_m, \tau_m$ - амплітуда та середнє значення напруг циклу.

$$\sigma_a = \sigma_u = 1,66 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\tau_a = 0,25 \cdot \tau_m = 0,25 \cdot 8,63 = 2,15 \text{ МПа};$$

$$\sigma_m = 0$$

$$\tau_m = \tau = 8,63 \text{ МПа};$$

$$\psi_\sigma = 0,05;$$

$$\psi_\tau = 0.$$

Підставляємо у формулу

$$n_\sigma = \frac{450}{\frac{2}{0,68} \cdot 2,67 + 0,05 \cdot 0} = 63,7;$$

$$n_\tau = \frac{261}{\frac{1,9}{0,74} \cdot 3,2 + 0 \cdot 12,8} = 35,3.$$

Тоді
$$n = \frac{63,7 \cdot 35,3}{\sqrt{63,7^2 + 35,3^2}} = 30,9.$$

Запас міцності для валів: $n > 2,5$

$30,9 > 2,5$ – умова виконується.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

5.2 Розрахунок шпоночного з'єднання під колесом

Вихідні дані для розрахунку:

Розмір шпонки, м, $b \times h$	0,160x0,032
Матеріал шпонки	Сталь 30X13
Границя текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	540
Матеріал колеса	Сталь 20X13Л
Границя текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	441
Матеріал вала	Сталь 40ХФА
Границя текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	800
Крутний момент $M_{кр}$, Нм	4550

Крутний момент, який передається шпоночним з'єднанням:

$$M'_{кр} = \frac{M_{кр}}{i}, \quad (7.9)$$

де i – число ступіней.

$$M'_{кр} = \frac{4550}{1} = 4550 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Напруження зім'яття в шпоночному з'єднанні визначається за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{d \cdot l_p \cdot t}, \quad (7.10)$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

де d - діаметр вала під колесом, м;

l_p - робоча довжина шпонки, м;

t - висота шпоночного паза в ступиці колеса $t = 8 - 5 = 3$ мм.

$$l_p = l - b, \quad (7.11)$$

$$l_p = 0,160 - 0,032 = 0,128 \text{ м.}$$

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 4550}{0,141 \cdot 0,128 \cdot 0,003} = 168,07 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження зминання для матеріалу (шпонка, вал, колеса), який має найширшу границю текучості, визначається за формулою:

$$[\sigma_{зм}] = \frac{\sigma_{0,2}}{n}, \quad (7.12)$$

$$[\sigma_{зм}] = \frac{441}{1,5} = 294 \text{ МПа,}$$

де $n = 1,5$ - коефіцієнт запасу міцності:

Умова міцності на зминання:

$$\sigma_{зм} = 168,07 \text{ МПа} < [\sigma]_{зм} = 294 \text{ МПа} \quad - \text{ умова виконується.}$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
						42
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Розрахунок шпильок кріплення кришки напірної

Вихідні данні

шпилька М80х4

кількість шпильок $z=20$

матеріал – сталь 35ХМ ГОСТ 4543-71

межа текучості $\sigma_{0,2}^{50^{\circ}C} = 588$ МПа

матеріал корпусу 06Х12Н3Д ту 108.1425-86

допустимий тиск насосу $p_k=33,85$ кгс/см²(3,32МПа)

тиск на вході в насос $p_n=29,6$ кгс/см²(2,9МПа)

6.3.1 Розрахунок зусилля початкової затяжки шпильок

Гідростатичні зусилля в робочих умовах і при гідравлічному випробуванні

$$P_p = F_2 \cdot p_k \quad (6.11)$$

$$P_p = 6284,4 \cdot 33,85 = 212727 \text{ кгс} (2127270 \text{ Н})$$

де $F_2 = 6284,4$ см²- площа проекції на площину горизонтального роз'єму поверхні кришки, що знаходиться під дією тиску.

$$P_r = (F_1 + F_2) \cdot p_r \quad (6.12)$$

$$P_r = (6284,4 + 6343,5) \cdot 29,6 = 373756 \text{ кгс} (3737860 \text{ Н})$$

де $F_1 = 6343,5$ см²- площа проекції на площину горизонтального роз'єму поверхні корпусу, що знаходиться під дією тиску.

Зусилля на прокладці, що забезпечує герметичність в робочих умовах та при гідравлічних випробуваннях, приймається більшим із значень:

$$P_{np} = F_{np} \cdot m \cdot p_r \quad (6.13)$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$P_{np} = 19717 \cdot 1.6 \cdot 29,6 = 933797 \text{ кгс} (9337970 \text{ Н})$$

$$P_{np} = F_{np} \cdot q_{omin} \quad (6.14)$$

де $F_{np} = 19717 \text{ см}^2$ - площа прокладки

$m = 1,6$ – прокладковий коефіцієнт для паронітової прокладки

$q_{omin} = 100 \text{ кгс/см}^2$ – мінімальне значення тиску ущільнення

Зусилля початкової затяжки шпильок, що забезпечує герметичність в робочих умовах, та в умовах гідравлічних випробувань

$$Q_o = P_{np} + (1 - \chi) \cdot P_r \quad (6.15)$$

$$Q_o = 933797 + (1 - 0.1) \cdot 373756 = 1270178 \text{ кгс} (12701780 \text{ Н})$$

де $\chi = 0,1$ - коефіцієнт навантаження.

Момент на ключі при затяжці шпильок

$$M_{кл} = k \cdot \frac{Q_o}{z} \cdot d_o \quad (6.16)$$

$$M_{кл} = 0.2 \cdot \frac{1270178}{20} \cdot 8,0 = 101614 \text{ кгс/см} (1016140 \text{ Нм})$$

де $k = 0,2$ – середнє значення коефіцієнта тертя різьби без змазки,

$d_o = 8,0 \text{ см}$ – зовнішній діаметр різьби.

6.3.2 Розрахунок навантажень

Зусилля в шпильці від механічних навантажень в робочих умовах

$$Q_{ум} = Q_o + \chi \cdot P_p \quad (6.17)$$

$$Q_{ум} = 1270178 + 0.1 \cdot 212727 = 1291451 \text{ кгс} (12914510 \text{ Н})$$

Площа перетину шпильки по внутрішньому діаметру різьби

$$f = 0.785 \cdot d_1^2 \quad (6.18)$$

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f = 0.785 \cdot 7,567^2 = 44,9 \text{ см}^2$$

де $d_1 = 7,567$ см – внутрішній діаметр різьби.

Напруження розтягування в шпильках, що викликається дією механічних навантажень в робочих умовах:

$$\sigma_p = \frac{Q_{шт}}{z \cdot f} \quad (6.19)$$

$$\sigma_p = \frac{1291451}{20 \cdot 44,9} = 1438 \text{ кгс/см}^2 (144 \text{ МПа})$$

Середні дотичні напруження в різьбі корпусу, що викликані дією механічних навантажень:

$$\tau_p = \frac{Q_{шт}}{z \cdot \pi \cdot d_0 \cdot h \cdot k_m} \quad (6.20)$$

$$\tau_p = \frac{1291451}{20 \cdot 3.14 \cdot 8,0 \cdot 9,9 \cdot 0.87} = 298,5 \text{ кгс/см}^2 (29,9 \text{ МПа})$$

де $d_0 = 8,0$ см – зовнішній діаметр різьби

$h = 9,9$ см – висота робочої частини різьби в корпусі

$k_m = 0,87$ – коефіцієнт повноти метричної різьби

6.3.3 Оцінка міцності

Номінальне допустиме навантаження для матеріалу шпильок:

$$[\sigma_H]' = \frac{\sigma_{0,2}^{50^{\circ}\text{C}}}{n_{0,2}} \quad (6.21)$$

де $n_{0,2} = 2$ – коефіцієнт запасу міцності.

$$[\sigma_H]' = \frac{6000}{2} = 3000 \text{ кгс/см}^2 (300 \text{ МПа})$$

Допустиме напруження різьби корпусу на зріз приймаємо:

$$[\tau] = 0,8 \cdot [\sigma] \quad (6.22)$$

де $[\sigma] = 588$ МПа – допустиме напруження 06Х12Н3Д при розтягуванні.

$$[\tau] = 0,8 \cdot 588 = 471 \text{ МПа}$$

Умова міцності шпильок і умова міцності різьби корпусу виконується.

$$\sigma_p = 238 \text{ МПа} < [\sigma_H]' = 300 \text{ МПа}$$

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$\tau_p = 29,9 \text{ МПа} < [\tau] = 47 \text{ МПа}$$

6. Розділ з охорони праці

Принцип улаштування і розрахунок природної вентиляції

У природній вентиляції повітрообмін здійснюється внаслідок різної об'ємної ваги повітря всередині і зовні приміщення.

Природна вентиляція може бути:

а) неорганізованою, що здійснюється через нещільності в будівельних конструкціях;

б) організованою (канальною або безканальною).

При аерації природний обмін повітря в будівлях здійснюється за рахунок теплового тиску. Розглянемо як він утворюється.

Зобразимо розріз виробничого приміщення, що має нижні і верхні прорізи.

Температура повітря усередині цеху $t_{вн}$ внаслідок виділення надлишків явної теплоти буває, як правило, вище за температуру зовнішнього повітря $t_з$. Отже, об'ємна вага зовнішнього повітря більше об'ємної ваги повітря всередині цеху. Це обумовлює наявність різниці тиску зовнішнього і внутрішнього повітря.

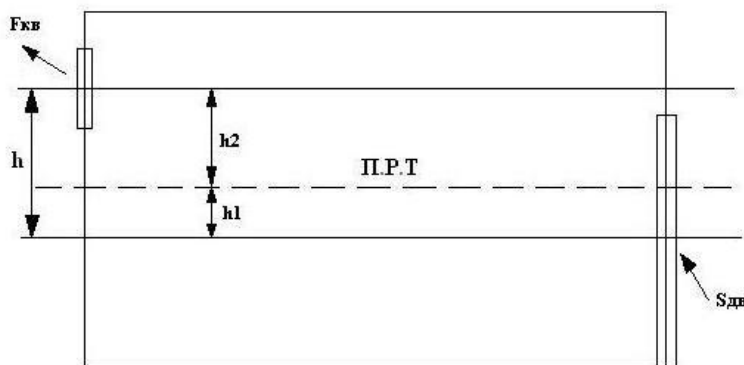


Рисунок 1 - Схема утворення теплового тиску

П.Р.Т. — площина рівних тисків; $F_{кв}$ - площа кватирки, м^2 ;
 $S_{дв}$ - площа дверей, м^2 , h_1 - відстань від площини рівних тисків до середини дверей, м; h_2 - відстань від площини рівних тисків до середини кватирки, м.

Об'ємну вагу повітря знаходимо за формулою

$$\gamma = 0,465 \frac{P_0}{T}, \quad (5)$$

де P_0 – барометричний тиск в мм рт. ст., в розрахунках береться $P_0 = 750$ мм рт.ст.;

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

T – абсолютна температура повітря, К.

На певній висоті приміщення, знаходиться площина рівного тиску. Тут тиск повітря всередині і зовні приміщення рівні (див.рис.1).

Нижче за площину рівного тиску існує розрідження, яке обумовлює надходження зовнішнього повітря через двері

$$\Delta H_1 = h_1(\gamma_3 - \gamma_{вн}), \quad (6)$$

де $\gamma_{вн}$ – об'ємна вага повітря в приміщенні, кг/м³, що відповідає температурі повітря в приміщенні;

γ_3 – об'ємна вага повітря зовні приміщення, кг/м³, що відповідає температурі повітря зовні приміщення.

Вище за площину рівних тисків існує надмірний тиск, який на рівні центру верхніх отворів (кватирки) складає

$$\Delta H_2 = h_2(\gamma_3 - \gamma_{вн}). \quad (7)$$

Цей тиск направлений назовні приміщення та викликає витяжку. Загальна величина гравітаційного тиску, під впливом якого відбувається повітрообмін у приміщенні, дорівнює сумі тиску на рівні нижніх і верхніх прорізів

$$H = \Delta H_1 - \Delta H_2 = h(\gamma_3 - \gamma_{вн}). \quad (8)$$

Величина H – сума тиску на рівні нижніх і верхніх прорізів називається тепловим тиском. Він залежить від відстані між нижніми і верхніми прорізами h і різниці об'ємної ваги повітря зовні і всередині будівлі.

Оцінка ефективності природної вентиляції робочого приміщення здійснюється порівнянням необхідного повітрообміну з фактичним.

Фактичний повітрообмін $L_{ф}$, м³/год, обчислюється за формулою

$$L_{ф} = F_{np} \cdot V_n \cdot \mu \cdot 3600, \quad (9)$$

де F_{np} - площа кватирки або аераційного отвору, через який буде здійснюватися видалення та надходження повітря, м²;

V_n - швидкість виходу повітря через кватирку або отвір, м/с. Її можна розрахувати за формулою

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta H_2}{\gamma_{вн}}}. \quad (10)$$

Величина h_2 визначається з такого співвідношення

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{F_{кв}^2}{S_{дв}^2} \quad (11)$$

З геометричних розмірів приміщення $h_1 + h_2 = h$,

де h – висота між центрами нижніх та верхніх прорізів.

Таким чином, з системи двох рівнянь з двома невідомими знаходимо h_2 .

Температура повітря всередині приміщення визначається за ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» залежно від категорії робіт по важкості та періоду року.

Для повітря зовні приміщення температура визначається за СНиП 2.04.05-91. Для Сумської області:

для теплого періоду: $t_3 = 24^\circ\text{C}$, $T = 297\text{ K}$;

для холодного періоду: $t_3 = -11^\circ\text{C}$, $T = 262\text{ K}$.

Визначивши фактичний повітрообмін і порівнявши його з необхідним, роблять висновок про ефективність природної вентиляції у приміщенні. Якщо виявиться, що вона не ефективна, тобто $L_{ф} < L_{н}$, або $L_{ф}$ набагато більше $L_{н}$, необхідно дати рекомендації з поліпшення вентиляції і перевірити їх дієвість розрахунками. Зокрема, якщо у холодному періоді року фактичний повітрообмін набагато перевищує необхідний, що може викликати переохолодження працюючих, можна рекомендувати скорочення часу провітрювання приміщення пропорційно перевищенню фактичного повітрообміну над необхідним.

Принцип улаштування і розрахунок механічної вентиляції

Механічна вентиляція здійснюється примусово за рахунок механічної тяги осьовими або відцентровими вентиляторами, а також ежекторними установками, що переміщують повітря по спеціальних каналах (повітроводах) та застосовуються у вибухонебезпечних і пожежо небезпечних виробництвах, де іскріння неприпустимо.

Основними елементами механічної вентиляції є:

- 1) повітрозабірник;
- 2) повітроводи;
- 3) вентилятори;
- 4) циклони;
- 5) фільтри (очисники повітря);
- 6) калорифери;
- 7) зволожувачі;
- 8) насадки.

Залежно від призначення приміщення повітря, що подається туди, піддається підготовці:

- 1 Очищенню.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Нагріванню, охолодженню, сушці або зволоженню.

3 Озонуванню.

Деякі гази мають неприємний запах. У результаті окислення газів озоном запах зникає. Проте тривале перебування людини в атмосфері з високою концентрацією озону супроводжується головними болями і подразненням дихальних шляхів.

4 Іонізації.

Для штучної іонізації повітря використовують іонізуючу здатність альфа-променів, що випромінюються радіоактивними речовинами. Легкі іони кисню в повітрі додають йому позитивну гігієнічну властивість (так зване живе повітря). При нагріванні, охолодженні і фільтрації різко зменшується вміст іонів у повітрі.

Ультрафіолетова радіація створюється за допомогою спеціальних ртутних бактерицидних електричних ламп. Ці лампи ставлять усередині повітропроводів.

5 Дезинфекції.

Для очищення повітря від бактерій застосовують наповнені масляні фільтри, в яких до масла додають речовини з бактерицидними властивостями.

Повітря, що видаляється з приміщень або подається в приміщення, очищають у пристроях різних конструкцій.

Важливим показником роботи такого устаткування є ступінь очищення повітря, який визначають за формулою

$$\eta = (q_1 - q_2) / q_1, \quad (12)$$

де q_1 і q_2 – вміст домішок відповідно до і після очищення, мг/м³.

Розрахунок механічної вентиляції перш за все зводиться до визначення необхідного повітрообміну L_n за формулами (1 - 4) та порівняння його з фактичним L_f . Фактичний повітрообмін визначається як максимальний із проведених розрахунків за виділенням тепла, шкідливих речовин та вологи. На максимальний обсяг повітря, яке потрібно видалити (подати) в приміщення вибирається за довідковими даними вентилятор.

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

7. Економічний розділ

Потокова організація виробництва — це така форма організації виробництва, при якій операції виконуються у визначеній, заздалегідь установленій послідовності; мають рівновеликі завдання по випуску предметів праці за той самий період і виконуються одночасно. На підприємстві застосовується потік з вільним темпом — агрегатно-груповий. Ця система організації потоків характеризується підвищеною змінюваністю асортименту продукції, застосуванням агрегованого устаткування. Зміна моделей в агрегатно-груповому потоці не спричинює перебудови робочих місць, а обмежується зміною пристосувань, переміщенням одного або декількох виконавців з одного робочого місця, на інше.

Потокове виробництво — це найбільш ефективна форма організації виробництва по масовому випуску продукції, що забезпечує високе зростання продуктивності праці, безперервність виробничого процесу і найвищий рівень якості.

Особливість організації потокового виробництва на сучасному етапі є керування великими колективами людей і динаміка розвитку галузей промислового виробництва, тобто швидка заміщуваність видів продукції.

Потокове виробництво полягає в об'єднанні машин, що роблять аналогічний вид або тип продукції. Розрізняються два варіанти: група машин і виробничі лінії.

Якщо говорити про групу машин, то йдеться про устаткування, розміщене залежно від послідовності операцій.

Коли йдеться про виробничу лінію, то устаткування розміщують по прямій лінії; цехи — на рівнобіжні лінії, що спеціалізуються на визначеному товарі (або типах товарів).

При організації потокового виробництва необхідно враховувати тривалість замовлення, обсяг випуску, визначити категорію якості і технічний рівень виробничих ланок. При потоковому виробництві частіше використовують поточкові лінії.

Потокова лінія — це група робочих місць, що розташовані в строгій послідовності операцій технологічного циклу, за якими закріплені певні операції. Декілька поточкових ліній складають цех.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Основні характеристики потокової лінії:

- 1. Закріплення за кожним робочим місцем тільки однієї операції по виготовленню деталей або збору продукції.
- 2. Розташування робочих місць по ходу лінії.
- 3. Після закінчення операції на наступне робоче місце деталі передають по одній.
- 4. Синхронізація продовження кожної операції технологічного процесу на потоковій лінії. Тобто операції повинні бути кратні такту лінії.
- 5. Механізація передачі деталей та виробів з одного робочого місця на інше.
- 6. Замкнутий характер виробництва, який включає всі роботи з виготовлення деталей та виробів.

Потокові лінії можуть відрізнятися одна від одної за такими характеристиками:

- — номенклатура виробів, що виготовляються;
- — рівень безупинності процесу;
- — рівень механізації та автоматизації;
- — умови наладки обладнання та ін.

При організації поточкових ліній розраховуються:

- — такт;
- — число робочих місць та робочих на потоковій лінії;
- — синхронізація операцій;
- — швидкість руху та довжина робочої стрічки конвеєру;
- — виробничі нормативи.

Основними напрямками поліпшення роботи поточкових ліній можуть бути:

- — зниження простоїв обладнання;
- — своєчасне подавання сировини і матеріалів;
- — раціоналізація робочих місць потоку;
- — поліпшення умов праці на робочих місцях;
- — синхронізація роботи потоку;
- — введення багатостатного обслуговування і суміщення професій.

При організації виробничих ділянок в умовах потоку велике значення має правильний вибір транспортних засобів — найефективнішими транспортними засобами є конвеєри.

Існують три види конвеєрів: безперервний, пульсуючий і розподільний. Пульсуючий конвеєр характеризується тим, що виріб знімається з лінії і обробляється на робочому місці, потім виріб повертається на лінію, що

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

здійснює його транспортування на інше робоче місце. Умовою роботи цієї лінії є рівність такту сумі часу оброблення деталі і часу транспортування.

Для організації потокового виробництва в часі застосовується три види руху предметів праці: послідовний, рівнобіжний і змішаний.

Послідовний вид руху предметів праці має максимальний час складання і, як наслідок, найвищу собівартість.

Рівнобіжний вид рухів предметів праці має мінімальний час зборки усіх видів руху предметів праці, але потребує обов'язкової кратності часу оброблення виробу на всіх операціях, а краще — рівності. Собівартість мінімальна.

Змішаний вид руху предметів праці має середній час складання виробу порівняно з рівнобіжним і послідовним видами і середнє значення собівартості. При цьому виді деталі можуть передаватися як поштучно, так і серіями або партіями, що виключає недоліки за тривалістю складання і перезавантаженню або недозавантаженню робочих місць, що характерно для перших двох видів. Більш детально це питання розглянуто в п. 8 цього розділу.

Потоковий метод організації можна застосовувати за дотриманням таких умов:

- а) обсяг випуску продукції досить великий і не змінюється протягом тривалого періоду часу;
- б) конструкція виробу технологічна, окремі вузли і деталі піддаються транспортуванню, виріб можна розділяти на конструктивно-складальні одиниці, що особливо важливо для організації потоку з складання;
- в) витрати часу за операціями може бути встановлено з достатньою точністю, синхронізовано і зведено до єдиної величини; забезпечується безперервна подача до робочих місць матеріалів, деталей, складальних вузлів; можливе повне завантаження устаткування.

Організація потокового виробництва пов'язана з проведенням низки розрахунків і підготовчих робіт, які пов'язані з апаратурно-механічним оснащенням виробництва та узгодження усіх його елементів.

Вихідним моментом за проектування обсягу випуску продукції є такт потоку.

Такт — це проміжок часу між запуском (або випуском) двох суміжних виробів на лінії. Такт може бути середнім і робочим.

Середній такт потоку — це календарний період часу між двома послідовними випусками або запусками продукції на поточній лінії.

Середній такт визначається за формулою

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$r_{cp} = \Phi_d / N_3,$$

де Φ_d — дійсний фонд часу роботи лінії за визначений період (місяць, добу, зміну) з урахуванням втрат на ремонт устаткування і регламентованих перерв, хв;

N_3 — програма запуску за той самий період часу, шт.

$$N_3 = N / (100 - \delta) \times 100,$$

де N — програма випуску, шт.;

$(100 - \delta)$ — відсоток відсіву на контрольні випробування та брак.

Тривалість розрахункового періоду [дійсний фонд часу роботи лінії за визначений період (місяць, добу, зміну) з урахуванням втрат на ремонт устаткування і регламентованих перерв] розраховується за такою формулою:

$$F_d = K \times C \times T - K \times C \times T \times a / 100,$$

де K — кількість робочих днів на місяць, дн.;

C — кількість змін на добу, шт.;

T — тривалість зміни, год.;

a — частка часу на регламентовані простої, перерви, підготовку до роботи та прибирання робочого місця тощо.

Робочий такт — це частина тривалості операції на одному робочому місці. Робочий такт визначається за формулою:

$$r_p = t_i / n_i,$$

де t_i — тривалість кожної операції;

n_i — число робочих місць на даній операції.

Такт потокової лінії — це інтервал часу, за який сходять з лінії вироби, що пересуваються один за одним. Визначається з виразу

$$r = (\Phi - \Pi) / N,$$

де Φ — добовий фонд часу;

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Π — технічно-неминучі витрати часу, хв (15—20 хв за зміну);

N — обсяг виробництва продукції за той самий період, у натуральному вимірі.

Величина, зворотна такту, називається темпом роботи лінії. За організації потокового виробництва необхідно забезпечити такий темп, щоб виконати план з випуску продукції. Розрахункова формула така:

$$T = (\Phi - \Pi) / r.$$

Якщо предмети праці передаються не поштучно, а транспортними партіями (n), то вони сходять з лінії за інтервал часу, що називається ритмом лінії:

$$R = r \times n.$$

Наступним етапом в організації потокового виробництва є визначення потреби в устаткуванні. Розрахунок кількості устаткування здійснюється, виходячи з кількості робочих місць за операціями процесу:

$$C_{pi} = t_i / r,$$

де t_i — норма часу на операцію з урахуванням установки, транспортування і зняття деталі, хв.

Прийнята кількість робочих місць (C_{pi}) визначається округленням розрахункової кількості до найближчого цілого числа. При цьому враховується, що на стадії проектування допускається перевантаження в межах 10—12 % на кожне робоче місце.

Кількість робочих місць на потоковій лінії визначається за формулою

$$P = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{\text{обсл}}}; n_i = t_i / R_p,$$

де m — кількість операцій на потоці.

Довжина стрічки конвеєра визначається так:

$$Z = L \times (P - L),$$

де L — відстань між робочими місцями.

Швидкість конвеєра визначаємо з виразу

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$V = L/r.$$

Для забезпечення повного завантаження устаткування і безперервності протікання виробничого процесу в потоковому виробництві здійснюється синхронізація (вирівнювання) операцій у часі.

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

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

Вибір транспортного засобу залежить від габаритів, маси оброблюваних деталей, типу і кількості устаткування, такту, ступеня синхронізації операцій.

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

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

Характерними ознаками організації виробництва є: подетальна спеціалізація виробничих підрозділів; запуск деталей у виробництво партіями за спеціально розробленими графіками; паралельно-послідовне проходження партій деталей за операціями; виконання на ділянках (у цехах) технологічно завершеного комплексу робіт.

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

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Поставлена мета реалізується за допомогою створення групових, багатопредметних потокових ліній і використання принципу витягування в управлінні ходом виробництва. Основними правилами організації виробничого процесу в цьому випадку є:

- — виготовлення продукції дрібними партіями;
- — формування серій деталей і застосування групової технології з метою скорочення часу налагодження устаткування;
- — перетворення складів матеріалів і напівфабрикатів на буфер-склади;
- — перехід від цехової структури виробництва до предметно-спеціалізованих підрозділів;
- — передача функцій управління безпосередньо виконавцям.

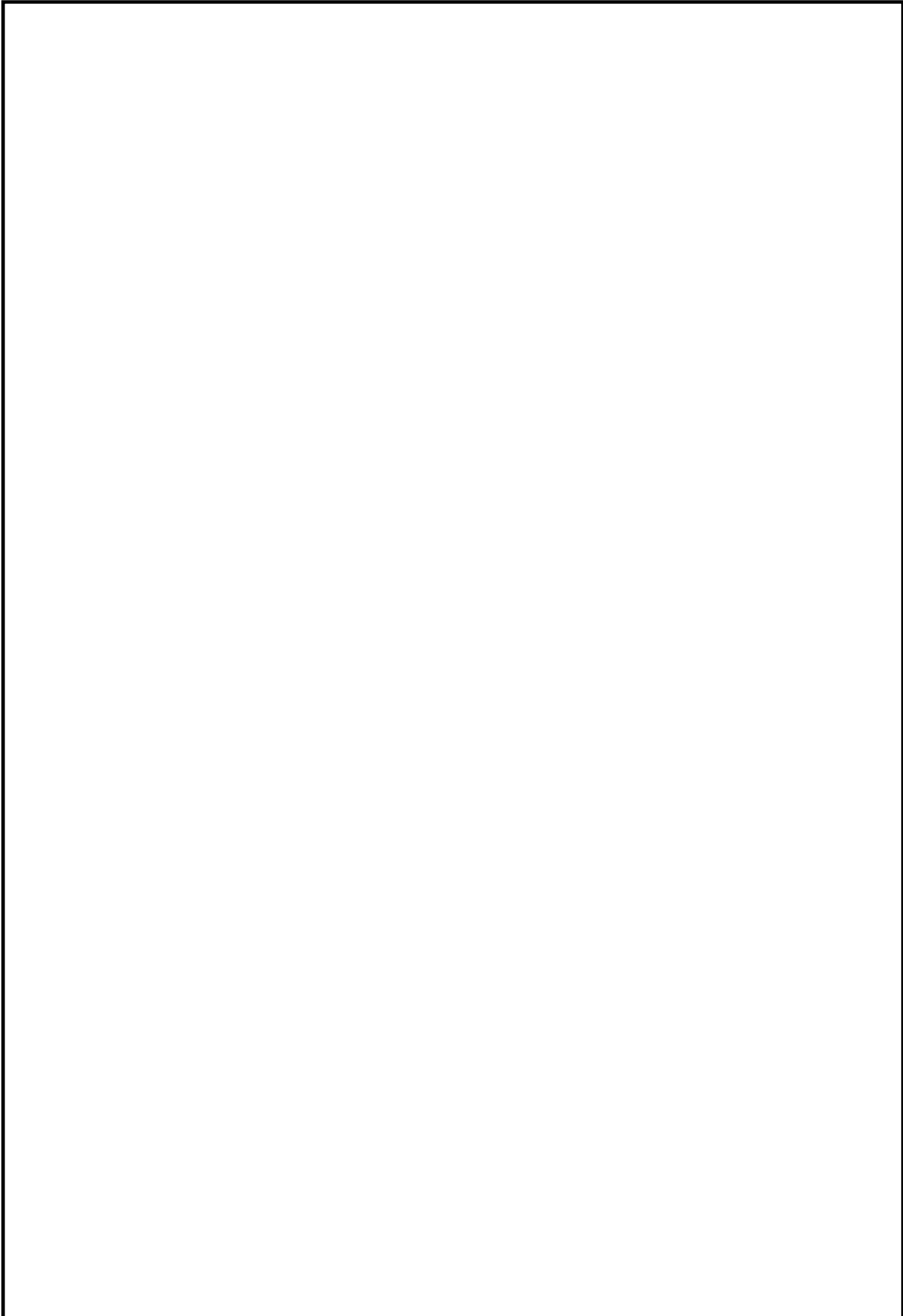
Метод синхронізованого виробництва припускає впровадження системи комплексного управління якістю, що ґрунтується на дотриманні таких принципів: контроль виробничого процесу; наочність результатів вимірювання показників якості; дотримання вимог до якості; самостійне виправлення браку; перевірка 100% виробів; постійне підвищення якості.

Виробництво масовими партіями становило і становить на численних підприємствах основний тип виробництва, воно є апогеєм тейлористської індустріальної культури. У ситуації, коли основною формою конкурентної боротьби є цінова, пріоритет надається економіці з масовим виробництвом (великими партіями), а також процесу стандартизації продукції (коли клієнт обмежується відносно невеликим вибором) і стандартизації операцій, наслідки від якої виступають у вигляді поділу завдань і можливостей удатися до кваліфікованої робочої сили, вузько спеціалізованої і незначно пов'язаної із самим процесом виробництва. Виробництво масовими серіями означає виробництво максимально великими партіями, де зміну знарядь праці зведено до мінімуму, для того щоб скоротити до мінімуму витрати при випуску великої кількості продукції.

Багато іноземних конкурентів виступають за поточкову систему виробництва з "виштовхуванням" оброблюваних виробів, що передбачає більш тісну координацію роботу виробничих ділянок. У цьому випадку оброблювані вироби послідовно "витягають" з попередньої ділянки в міру необхідності. Такі виробничі системи звичайно досить прості за структурою. Передача інформації від ділянки до ділянки в основному здійснюється за допомогою паперових карток ("канбан"), а не за допомогою ЕОМ. Функціонування таких систем значною мірою визначається взаємодією сусідніх виробничих ділянок.

Використання іноземними фірмами системи "поточкового виробництва" є наймогутнішим важелем підтримки американської економіки в лідируючій групі світових економічно розвинутих країн.

						6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			56



					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

8. Технологія виробництва деталі

8.1. Визначення типу виробництва та його характеристика

Залежно від маси виробу і річної програми випуску виробництва може бути одиничне, серійне і масове.

Одиничним називається виробництво, в якому виготовляється дуже широка номенклатура продукції в невеликих кількостях, причому окремі види продукції не повторюються через не визначені проміжки часу. При одиничному типі виробництва використовується універсальне устаткування і верстати ЧПУ; стандартний ріжучий і універсальний вимірюючий інструмент.

Серійним називається таке виробництво, в якому виготовляється ширша номенклатура виробу, причому вироби кожного найменування випускаються серіями, що періодично повторюються. Залежно від величини серії і частоти їх випуску розрізняють серійне, крупносерійне і дрібносерійне виробництва. При серійному типі виробництва використовують універсальні верстати ЧПУ з швидкодіючими пристосуваннями, оброблювані центри, розташовані по ходу технологічного процесу стандартний ріжучий і спеціальний вимірюючий інструменти. Кваліфікація робітників нижча ніж в одиничного виробництва.

Масовим називається виробництво, в якому постійно в перебігу добового часу, вимірюваного, як правило, протягом років, виготовляється одночасно у великих кількостях один виріб або дуже обмежена номенклатура продукції. Масове виробництво характерне для крупних вузькоспеціалізованих підприємств. При масовому типі виробництва використовується спеціальне і спеціалізоване устаткування. Кваліфікація наладчиків устаткування висока, а робітників низька.

Для маси виробу і річної програми випуску вибираємо одиничний тип виробництва.

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

8.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталей відповідно до завдання з визначенням оптимальних режимів обробки, зварювання, складання. Визначення кількості обладнання, інструментів, пристосувань. Розробка ескізів – налаштувань.

005 Заготівельна

Спосіб отримання заготовки - лиття лиття по виплавляемим моделям.

010 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри отриманої заготовки.

Обладнання: Стіл ВТК.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-630-0,1 ГОСТ 166-89.

015 Токарно-гвинторізна

Деталь базується та закріплюється в патрон токарний самоцентруючий 3-кулачковий в спеціальні кулачки. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

Обладнання:

Токарно-гвинторізний верстат мод.1М63Н-1.

Оснащення:

Патрон 3-ьох кулачковий токарний діаметром D=315 мм, виконання 1.

Позначення: Патрон 7108-0022 ГОСТ 2571-71.

Ріжучий інструмент:

РІ №1 Різець PCLDR2525-M12 T5K10

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
						59
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

PI №2 Різець S25Q-PWKFR06 T5K10

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-89.

020 Токарна з ЧПК

Деталь базується та закріплюється в патрон токарний самоцентруючий 3-кулачковий. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

Обладнання:

Токарний верстат мод. 16М30Ф3; система ЧПК - WL4Т.

Оснащення:

Патрон 3-ьох кулачковий токарний діаметром D=315 мм, виконання 1.

Позначення: Патрон 7108-0022 ГОСТ 2571-71.

Ріжучий інструмент:

PI №1 Різець PCLDR2525-M12 T15K6

PI №2 Різець S25Q-PWKFR06 T30K4

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-630-0,1 ГОСТ 166-89,

Калібр-пробка 8140-0007 Н7 П-ПР ГОСТ 14820-69,

Калібр-пробка 8140-0057 Н7 П-НЕ ГОСТ 14821-69.

025 Токарна з ЧПК

Деталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

Обладнання:

Токарний верстат мод. 16М30Ф3; система ЧПК - WL4Т.

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Оснащення:

Оправка цангова самоцентруюча d140,5 спеціальна.

Ріжучий інструмент:

PI №1 Різець PCLDR2525-M12 T15K6

PI №2 Різець S25Q-PWKFR06 T15K6

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-630-0,1 ГОСТ 166-89.

030 Контрольна ВТК

На даній операції проводиться контроль розмірів деталі, отриманих на операціях 015, 020, 025.

Обладнання:

Стіл ВТК.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-630-0,1 ГОСТ 166-89,

Калібр-пробка 8140-0007 Н7 П-ПР ГОСТ 14820-69,

Калібр-пробка 8140-0057 Н7 П-НЕ ГОСТ 14821-69.

035 Наплавка

На даній операції здійснюється наплавка твердого сплаву якщо є тріщини.

040 Токарна з ЧПК

Деталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

Обладнання:

Токарний верстат мод. 16М30Ф3; система ЧПК - WL4T.

					6.050502.01BP.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Оснащення:

Оправка цангова самоцентруюча d140,5 спеціальна.

Ріжучий інструмент:

PI №1 Різець PCLAR2525-M12 Эльбор-Р

PI №2 Різець S25Q-PWKBR06 T30K4

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-89,

Калібр-скоба d135 ГОСТ 18365-93,

Калібр-скоба d230h11 ГОСТ 18365-93.

045 Токарна з ЧПК

Деталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці.

Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

Обладнання:

Токарний верстат мод. 16М30Ф3; система ЧПК - WL4Т.

Оснащення:

Оправка цангова самоцентруюча d140,5 спеціальна.

Ріжучий інструмент:

PI №1 Різець PCLAR2525-M12 T30K4

PI №2 Різець S25Q-PLFAR06 T30K4

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89,

Калібр-скоба d52h7 ГОСТ 18365-93,

Калібр-скоба d230 ГОСТ 18365-93.

050 Контрольна ВТК

На даній операції проводиться контроль розмірів деталі, отриманих на операціях 040, 045.

Обладнання: Стіл ВТК.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-89,

Калібр-скоба d52h7 ГОСТ 18365-93,

Калібр-скоба d134 ГОСТ 18365-93,

Калібр-скоба d230 ГОСТ 18365-93,

Індикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577-68.

055 Контроль неруйнуючий проникаючими речовинами

Контролювати вхідні кромки лопастей та вихідні

кромки на відсутність тріщин капілярним методом, клас чутливості II ГОСТ 18842-80.

060 Вертикально-фрезерна

Фрезерувати паз під вихід довбняка

Обладнання:

Вертикально-фрезерний верстат мод. ВМ-127.

еталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

Обробка поверхні відбувається за 1 прохід. Стадія обробки - напівчистова. Припуск - 7 мм.

Оснащення:

Оправка цангова самоцентруюча d120 спеціальна,

Оправка для фрези дискової спеціальна,

Патрон цанговий 6151-7048 ГОСТ 25847-93.

Ріжучий інструмент:

Фреза 2240-0203 P6M5 ГОСТ 28527-90.

Вимірювальний інструмент:

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
						63
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89.

065 Контрольна ВТК

На даній операції проводиться контроль деталі після сварки

Обладнання: Стіл ВТК.

070 Довбальна

На даній операції обробляється поверхня пазу.

Деталь базується та закріплюється в самоцентруючій цанговій оправці. Дана схема базування забезпечує установчу та подвійну опорну бази.

Обладнання:

Довбальний верстат мод. 7405.

Оснащення:

Втулка самоцентруюча спеціальна.

Ріжучий інструмент:

Довб'як 2184-0573 Т5К10 ГОСТ 9323-79. Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89,

Комплексний калібр для контролю паралельності, симетричності та розмірів пазу спеціальний.

075 Контрольна ВТК

На даній операції проводиться контроль розмірів деталі, отриманих на операції 065.

Обладнання:

Стіл ВТК.

Вимірювальний інструмент:

Комплексний калібр для контролю паралельності, симетричності та розмірів пазу спеціальний.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
						64
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

080 Слюсарна

Після операцій зачищаються внутрішні поверхні, кромки лопаток

Обладнання:

Верстак слюсарний.

Оснащення:

Напильник 2820-0003 ГОСТ 1465-80.

085 Балансування

Деталь балансувати статично по ГОСТ 22061-76. Коригування маси здійснювати зняттям металу з поверхні

090 Контроль неруйнуючий проникаючими речовинами

Контролювати місця зняття дизбалансу на відсутність тріщин капілярним методом, клас чутливості II ГОСТ 18842-80.

095 Маркувальна

Маркувати позначення креслення та матеріал деталі електрографічним пером

Оснащення:

Електроперо П8-1948

100 Контрольна ВТК

Перевірити наявність та правильність маркування.

Обладнання:

Стіл ВТК.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ЛІТЕРАТУРА

1. Ржебаева Н.К., Ржебаев Э.Е. Расчет и конструирование центробежных насосов: Учебное пособие. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2009. – 220с.
2. А.И. Степанов. Цетробежные и осевые насосы. Теория, конструирование и применение / А.И. Степанов ; [пер. с англ. инж. М.Я. Лейферова и к. т. н. М.В. Поликовского] ; [под ред. д. т. н. проф. В.И. Поликовского]. – Москва, Гос. НТИ Машиностроительной л-ры, 1960. – 465 с.
3. Михайлов А.К. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления / А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко // М.: Машиностроение. – 1971. – 304 с.
4. Борисов В.Б. Справочник технолога-машиностроителя / Борисов В.Б., Борисов В.Н., Василев В.Н. – Москва: 1986. – 655 с.
5. Методичні вказівки до дипломного проекту «Розрахунок загальнообмінної вентиляції» з розділу «Охорона праці» /Укладачі: Л.О.Гурець, О.П.Будьоний.– Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 23с.
6. Іванілов О.С. Економіка підприємства. Центр учбової літератури, 2009. — 728 с.
7. Методичні вказівки до виконання курсового та дипломного проектування зі спеціальності 05050205 «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика» : для студ. денної та заочної форм навчання / Е. В. Колісніченко, В. О. Панченко. – Суми : СумДУ, 2013. – 48 с.

					6.050502.01ВР.000.00ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

