

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

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему

**“Розробка відцентрового насоса типу К 200 - 20”**

зі спеціальності 6.05050205 “Гідравлічні машини, гідроприводи та  
гідропневмоавтоматика”

**Виконавець роботи**

Бакляк Артем Валерійович

*прізвище, ім'я, по батькові*

\_\_\_\_\_

*підпис, дата*

**Науковий керівник**

К.Т.Н., доцент

*науковий ступінь, вчене звання*

Герман Віктор Федорович

*прізвище, ім'я, по батькові*

\_\_\_\_\_

*підпис, дата*

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

Напрямок підготовки 6.05050205 – «Інженерна механіка»  
Фахове спрямування «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідро пневмоавтоматика»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
прикладної гідроаеромеханіки  
\_\_\_\_\_ проф. Ковальов І. О.  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

на випускнуну роботу бакалавра

Бакляку Артему Валерійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка відцентрового насоса типу К 200-20»

затверджена наказом по університету від \_\_\_ " \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченої роботи – 09.06.2018 р.

3. Вихідні дані до проекту:

параметри натурального насоса:

подача насоса  $Q_n = 200 \text{ м}^3/\text{год}$ , напір  $H_n = 20 \text{ м}$ , частота обертів  
 $n_n = 1500 \text{ об/хв.}$ , густина  $\rho_n = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):

загальна характеристика насосів типу К, обґрунтування вибору конструкції насоса, гідравлічні розрахунки, розрахунки з вибору електродвигуна, розрахунок кінцевого ущільнення вала, розрахунок насоса на кавітацію, розрахунки на міцність, розрахунки з вибору підшипників, розділ охорони праці, економічна частина, технологічний процес виготовлення деталі, висновки

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

монтажне креслення агрегату, складальне креслення насоса, теоретичне креслення відводу, креслення робочого колеса – всього 4 листа формату А1.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № п/п | Назва етапів бакалаврської роботи                                               | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Підбір матеріалів для бакалаврської роботи                                      | 01.11 - 30.11. 2017 р.         |          |
| 2     | Аналіз основних конструкцій відцентрових насосів                                | 01.12 - 31.12.2017 р.          |          |
| 3     | Загальна характеристика насосів типу К                                          | 02.01- 31.01.2018 р.           |          |
| 4     | Обґрунтування вибору конструктивної схеми насоса                                | 01.02 - 08.02.2018 р.          |          |
| 5     | Опис конструкції вибраного насоса                                               | 09. 02 - 15.02.2018 р.         |          |
| 6     | Гідравлічні розрахунки                                                          | 16.02 - 28.02.2018 р.          |          |
| 7     | Вибір електродвигуна. Вибір кінцевого ущільнення насоса                         | 01.03 - 18.03.2018 р.          |          |
| 8     | Механічні розрахунки                                                            | 19.03 - 01.04.2018 р.          |          |
| 9     | Переддипломна практика. Розробка технологічного процесу обробки робочого колеса | 02.04 - 22.04.2018 р.          |          |
| 10    | Монтажне креслення агрегату                                                     | 23.04 - 29.04.2018 р.          |          |
| 11    | Теоретичне креслення відводу                                                    | 30.04 - 06.05.2018 р.          |          |
| 12    | Охорона праці. Креслення робочого колеса                                        | 07.05 - 13.05.2018 р.          |          |
| 13    | Складальне креслення насоса                                                     | 14.05 –27.05.2018 р.           |          |
| 14    | Економічне питання                                                              | 28.05 – 01.06.2018 р.          |          |
| 15    | Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічних матеріалів           | 02.06 – 09.06.2018 р.          |          |
|       |                                                                                 |                                |          |
|       |                                                                                 |                                |          |

Дата видачі завдання – 31.10. 2017 р.

Студент \_\_\_\_\_  
*підпис*

Керівник \_\_\_\_\_  
*підпис*

Герман В. Ф.  
*прізвище, ініціали*

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 с., рисунків: 18, 1 таблиця, 1 додаток, 21 літературних джерел.

Тема роботи – «Розробка відцентрового насоса типу К 200-20».

Графічні матеріали: 4 аркуші формату А1: монтажне креслення насосного агрегату, складальне креслення насоса, теоретичне креслення відводу, креслення робочого колеса.

Мета роботи – розроблення конструкції насоса типу К для перекачування води.

Відповідно до поставленої мети було:

- проведено аналіз конструкцій консольних насосів типу К;
- виконано розрахунки щодо вибору конструктивної схеми насоса;
- наведено опис конструкції;
- виконано гідравлічні розрахунки;
- виконано вибір електродвигуна і побудована пускова моментна характеристика;
- виконано розрахунок довговічності підшипників;
- виконано розрахунки на міцність.

У розділі охорони праці розглянута відповідальність власника за невиконання нормативних вимог охорони праці.

У розділі економіки розглянуто принцип розроблення мережевого графіка технічної підготовки виробництва нової техніки, у технологічному розділі розроблено технологічний процес обробки робочого колеса.

Ключові слова: ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС ТИПУ К, КОНСТРУКЦІЯ, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ВІДВІД, ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ, МІЦНІСТЬ

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ

РЕФЕРАТ

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                               | 6  |
| 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСІВ ТИПУ К.....            | 9  |
| 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ НАСОСА...    | 13 |
| 3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ НАСОСА.....                           | 14 |
| 4 ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....                            | 17 |
| 4.1 Визначення основних розрахункових даних.....         | 17 |
| 4.2 Вибір моделі робочого колеса.....                    | 17 |
| 4.3 Визначення осьової сили, що діє на ротор насоса..... | 18 |
| 4.4 Визначення радіальної сили.....                      | 21 |
| 4.5 Розрахунок насоса на кавітацію.....                  | 22 |
| 5 ВИБІР КІНЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ ВАЛА.....                   | 24 |
| 5.1 Вибір типу ущільнення.....                           | 24 |
| 5.2 Розрахунок потужності, споживаної в ущільненні.....  | 25 |
| 6 РОЗРАХУНКИ ВТРАТ І ПОВНОГО ККД НАСОСА .....            | 27 |
| 6.1 Гідравлічні втрати.....                              | 27 |
| 6.2 Об'ємні втрати .....                                 | 28 |
| 6.3 Механічні втрати.....                                | 28 |
| 7 РОЗРАХУНКИ ДО ВИБОРУ ДВИГУНА.....                      | 31 |
| 7.1 Вибір двигуна.....                                   | 31 |
| 7.2 Розрахунок пускової моментної характеристики.....    | 35 |

|           |      |            |        |      |                                                                 |                         |      |         |
|-----------|------|------------|--------|------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|------|---------|
|           |      |            |        |      | <i>6.05050205.02БР.000.00ПЗ</i>                                 |                         |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.   | Підпис | Дата |                                                                 |                         |      |         |
| Розроб.   |      | Бакляк     |        |      | <i>Насос відцентровий<br/>К 200-20<br/>Пояснювальна записка</i> | Літ.                    | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Герман     |        |      |                                                                 |                         | 4    | 66      |
| Реценз.   |      |            |        |      |                                                                 | <i>СумДУ, гр. ГМ-41</i> |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексєєнко |        |      |                                                                 |                         |      |         |
| Затверд.  |      | .          |        |      |                                                                 |                         |      |         |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8 МЕХАНІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....                                                                               | 35 |
| 8.1 Розрахунок реакцій в опорах вала.....                                                                 | 35 |
| 8.2 Розрахунок довговічності підшипників.....                                                             | 37 |
| 8.3 Розрахунок вала на статичну міцність.....                                                             | 38 |
| 8.4 Розрахунок шпонкового з'єднання вала з колесом.....                                                   | 41 |
| 9 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. МЕРЕЖЕВИЙ ГРАФІК ТЕХНІЧНОЇ<br>ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА НОВОЇ ТЕХНІКИ.....             | 43 |
| 10 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ. ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ВЛАСНИКА ЗА<br>НЕВИКОНАННЯ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ..... | 50 |
| 11 ТЕХНОЛОГІЙНИЙ ПРОЦЕС ОБРОБКИ РОБОЧОГО КОЛЕСА.....                                                      | 54 |
| 11.1 Характеристика типу виробництва .....                                                                | 54 |
| 11.2 Розроблення технологічного процесу виготовлення робочого<br>коlesa.....                              | 56 |
| 11.2.1 Технологічність деталі .....                                                                       | 56 |
| 11.2.2 Вибір заготовки та способу її отримання.....                                                       | 59 |
| 11.2.3 Вибір технологічних баз.....                                                                       | 61 |
| 11.3 Складання технологічного маршруту обробки.....                                                       | 62 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                             | 64 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                    | 65 |
| ДОДАТОК А .....                                                                                           | 67 |

## ВСТУП

Насоси - пристрої для напірного переміщення рідин з передачею їм енергії. Звичайно насосами подаються нестисливі рідини (вода, нафта, бензин, кислота й ін.), але вони можуть перекачувати двофазні середовища і гази. За принципом дії насоси підрозділяють на динамічні та об'ємні. У динамічних насосах рідина рухається під силовим впливом у камері постійного об'єму, яка з'єднується з відводом і підводом.

В об'ємних насосах рух рідини відбувається шляхом усмоктування і витиснення рідини за рахунок циклічної зміни об'єму в робочих камерах при русі поршнів, діафрагм, пластин. До динамічних відносяться лопатеві насоси, а до об'ємних — поршневі й роторні.

Схема відцентрового насоса наведена на рис. 1.

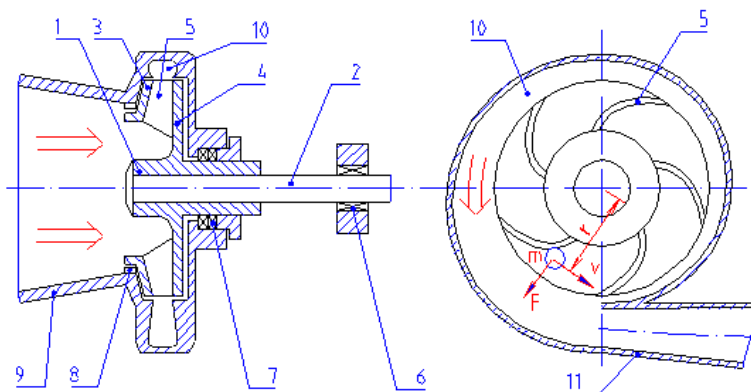


Рисунок 1– Схема відцентрового насоса [1]: 1 - колесо, 2 - вал, 3 - передній диск, 4 - задній диск, 5 - лопаті, 6 - підшипники, 7 і 8 - ущільнення, 9 - підвід, 10 - спіральний відвід, 11 - напірний патрубок

У сучасній промисловості найпоширенішою групою насосів є лопатеві насоси, робочим органом у яких служить робоче колесо. Серед лопатевих широко застосовуються відцентрові, осьові й вихрові насоси.

**Відцентровий насос** — насос, у якому рух рідини і необхідний напір створюються за рахунок відцентрової сили, що виникає при впливі

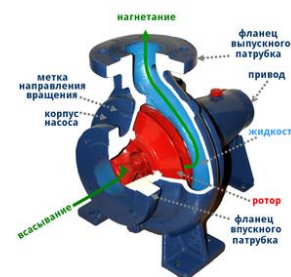


Рисунок 2 – Устрій відцентрового насоса [3]

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |                          | 6    |

лопатею робочого колеса на рідину. Тобто відцентровий насос відноситься до механізмів, у яких рідині передається кінетична енергія, яка згодом перетворюється в енергію тиску [2].

Відцентрові насоси - найпоширеніші насоси, їх застосовують для подачі холодної або гарячої води, в'язких або агресивних рідин (кислот і лугів), стічних вод, сумішей води із ґрунтом, золою і шлаками, торфом, роздробленим кам'яним вугіллям.

Дія відцентрових насосів заснована на передачі кінетичної енергії від обертового робочого колеса тим часткам рідини, які перебувають між його лопатями. Під впливом виникаючої при цьому відцентрової сили частки середовища, що подається, з робочого колеса переміщуються в корпус насоса і далі, а на їхнє місце під дією тиску повітря надходять нові частки, забезпечуючи безперервну роботу насоса. Найпоширенішим типом відцентрових насосів є одноступінчасті насоси типу К з горизонтальним розташуванням вала і робочим колесом однобічного входу (рис. 3) [4].



**Рисунок 3 – Насос типу К [4]**

Консольний одноступінчастий насос призначений для перекачування прісної води, а також інших, подібних з водою рідин. Застосовується на насосних станціях міського, промислового та сільського водопостачання – для зрошення земельних угідь, для перекачування води й інших нейтральних рідин.

Напірний патрубок насоса в нормальному виконанні направлений вертикально вгору. При необхідності патрубок можна повернути на кут 90, 180 або 270<sup>0</sup> від нормального положення. У корпусі виконують отвори для випуску повітря, зливу води і приєднання манометрів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



На консольному кінці вала кріплять робоче колесо. З боку вхідної воронки колеса корпус закривають кришкою із вхідним патрубком, що забезпечує осьове підведення рідини до робочого колеса.

Кінцеве ущільнення насоса сальникового типу, яке при необхідності можна замінити торцевим. Незначні осьові зусилля сприймаються шарикопідшипниками, які змащуються консистентним мастилом. Плаваючий підшипник з боку насоса сприймає радіальне навантаження, а зафіксований з боку муфти шарикопідшипник - радіальне та осьове. Для урівноваження осьового зусилля в насосах потужністю більше 10 кВт виконують розвантажувальні отвори в робочому колесі. Насос із електродвигуном встановлюють на загальній фундаментній плиті і з'єднують пружною муфтою.

За кордоном широко використовується конструкція насосів, базовою деталлю яких служить спіральний корпус (рис. 4). Вхідний і вихідний патрубки відлиті разом з корпусом [5].



**Рисунок 4 – Конструкція насоса типу К згідно ISO 2858**

До корпуса цього насоса через проміжну проставку прикріплений опорний вузол, у якому на шарикопідшипниках встановлений вал насоса. Насоси випускають із сальниковим або торцевим ущільненням за узгодженням із замовником. Для створення гідрозатвору в кришці корпуса передбачені спеціальні свердління. Відмінною рисою насосів цього типу є компактність конструкції, мала маса, відсутність необхідності демонтажу трубопроводів при розбиранні насосів. Щоб не знімати електродвигун при розбиранні насоса, з'єднувальна пружна муфта виконана із проміжної проставкою.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 8    |

# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСІВ ТИПУ К

Групу насосів для холодної й гарячої води **типу К** - прийнято називати консольними насосами [6]. Консольні - це класифікаційна ознака насосів по конструктивному виконанню, до яких відносяться різні по типу рідини, що перекачуються, насоси (НК - нафтові консольні, Гр - ґрунтові, ПР - піскові, Х, АХ - хімічні і т.д.).

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

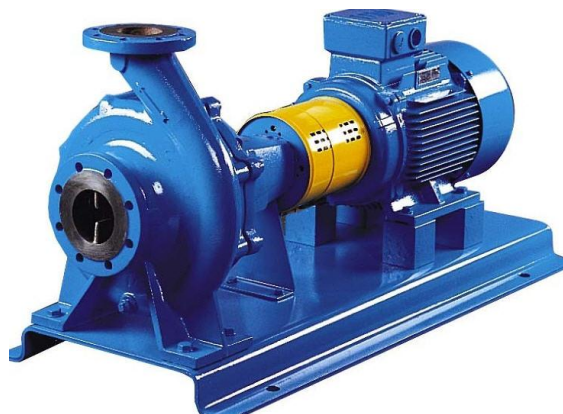


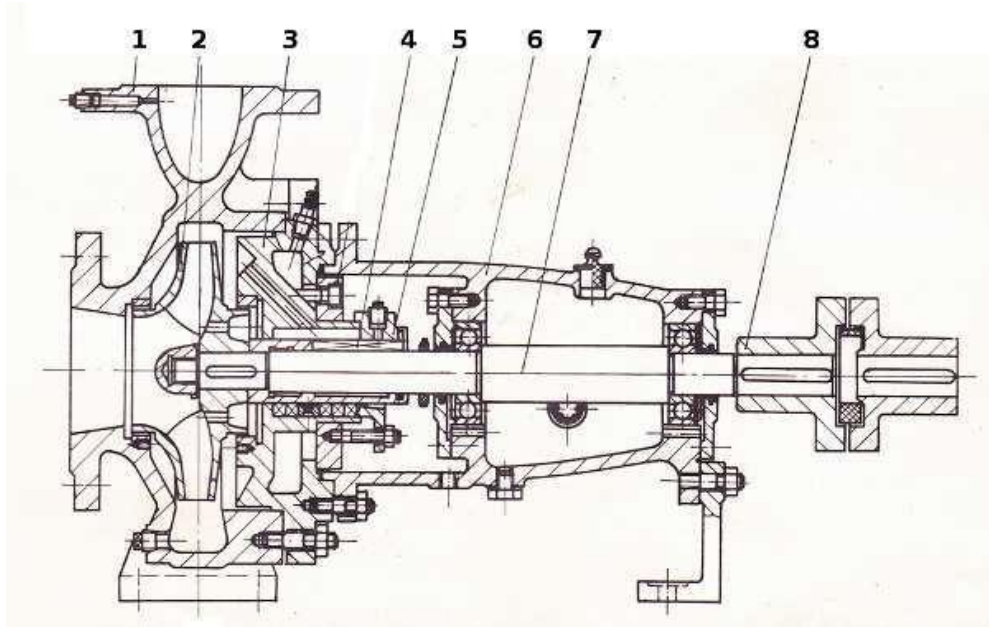
Рисунок 1.1 – Відцентровий насос типу К [7]

*Консольний насос серії К* призначений для роботи в стаціонарних умовах і перекачування чистої води (не морської) з водневим показником рН у межах від 6 до 9, в умови температур від 5 до 85°C, а при використанні подвійного сальникового ущільнення і до 105°C. Також ці насоси застосовуються для перекачування інших рідин, подібних з водою по хімічній активності, в'язкості і густині. Рідина, що перекачується цими насосами, не повинна містити волокнистих часток, піску, золи, шлаків і інших включень.

|      |      |          |        |      |                          |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ |  |  |  |      |

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

На рис. 1.2 наведений розріз насоса К.



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

*Насоси типу К* – відцентрові, консольні, одноступінчасті, з однобічним підведенням рідини до робочого колеса. Ущільнення вала насоса - одинарне або подвійне сальникове. Допускається установка торцевого ущільнення. Найбільший надлишковий тиск, що допускається, на вході в насос, для насосів з м'яким сальником, 0,35 МПа (3,5 кгс/см<sup>2</sup>), з торцевим ущільненням 0,6 МПа (6,0 кгс/см<sup>2</sup>). Матеріал деталей проточної частини - сірий чавун. У конструкції насосів передбачені отвори для відводу витоків води через сальникове (торцеве) ущільнення.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |                          | 10   |

Насоси виготовляються з подачею від 3 до 480 м<sup>3</sup>/год і напором від 3,5 до 125 м.

При з'єднанні консольного насоса з електродвигуном використовується пружна муфта, а також опорна лита плита або зварена рама.

Консольні насоси типу К виготовляються у двох виконаннях:

- для води до 80° С (із сальниковим ущільненням);
- для води до 120 ° С (з торцевим ущільненням).

Проточну частину насоса (корпус, робоче колесо) виготовляють із сірого чавуну.

Консольні промислові відцентрові насоси, що виготовляються, відповідають міжнародному стандарту ISO 2858-75 “Насоси відцентрові з осьовим входом (номінальний тиск 16,0 бар)”.

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



**Рисунок 1.3 – Робоче колесо відцентрового насоса [8]**

Основне призначення робочого колеса полягає в передачі енергії від обертаючого вала до рідини. Робоче колесо складається з наступних основних елементів: передній або ведучий диск; задній або ведений диск; лопаті, які розташовані між дисками. Лопаті колеса, як правило, мають зігнутість у бік, протилежний напрямку руху робочого колеса. Відмінною рисою конструкції закритих робочих коліс [9] є те, що лопаті, розташовані між двома дисками, можуть перебувати під різними кутами нахилу. Таке розташування лопаті сприяє підвищеному коефіцієнту корисної дії всього насоса, що у свою чергу, робить відцентрові агрегати з таким типом робочих коліс досить затребуваними. Варто також знати про те, що закриті колеса

|      |      |          |        |      |                          |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  | 11   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ |  |  |  |      |

також розрізняють залежно від способу їх виготовлення: штампування; лиття; клепки; точкового зварювання. Насоси із закритим колесом можуть застосовуватися, як для перекачування чистих, так і забруднених рідин.

Одним з найбільших виробників насосного устаткування (рис. 1.4) в машинобудівному комплексі України є ВАТ «Сумський завод «Насосенергомаш» [10].



**Рисунок 1.4 –  
Відцентровий  
консольний насос типу  
К виробництва ВАТ  
«Сумський завод  
«Насосенергомаш»**

Підприємство спеціалізується у виготовленні насосного устаткування для видобутку, транспортування нафти і нафтопродуктів, для теплової й атомної енергетики, сільського господарства, житлово-комунального господарства, водопостачання і водовідведення. Система менеджменту якості цього підприємства сертифікована на відповідність міжнародному стандарту ISO 9001. На сьогоднішній день «Насосенергомаш» одне з найбільших підприємств України, що здійснюють виробництво насосного устаткування, яке успішно експлуатується в 50 країнах світу.

Насоси типів К, КМ (моноблочні), призначені для роботи в стаціонарних умовах для перекачування чистої води (крім морської), виготовляє і реалізує ТОВ «Торговий дім «Укрнасоссервіс». Компанія ТОВ «ВАРНА» випускає відцентрові горизонтальні насоси для систем водопостачання приватних будинків, присадибних ділянок, городів. Насоси виготовляє також ТОВ «Насос Україна» та інші підприємства.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 12   |









З колеса перекачувана рідина надходить у спіральний відвід.

Призначення спірального відводу - перетворити кінетичну енергію потоку перекачуваної рідини, що виходить із колеса, в енергію тиску і забезпечити відвід її з насоса в трубопровід.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 4 ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ

### 4.1 Визначення основних розрахункових даних

Вихідні дані для розрахунку: подача  $Q = 200 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 20 \text{ м}$ ; частота обертання вала насоса  $n = 1480 \text{ об/хв}$ ; густина перекачуваної рідини  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

Коефіцієнт швидкохідності насоса при частоті  $n = 1480 \text{ об/хв}$ :

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1480 \sqrt{200}}{60 \cdot 20^{3/4}} = 134,6,$$

### 4.2 Вибір моделі робочого колеса

Визначимо попередньо діаметр робочого колеса за формулою

$$D_2 = 19,2 \left( \frac{n_s}{100} \right)^{1/6} \frac{\sqrt{2gH}}{n}, \text{ для } n_s > 100. \quad (4.1)$$

$$D_2 = 19,2 \left( \frac{134,6}{100} \right)^{1/6} \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 20}}{1480} = 0,270 \text{ м}.$$

Виходячи з отриманих значень  $n_s = 134,6$  і  $D_2 = 270 \text{ мм}$ , вибираємо модельну проточну частину із спіральним відводом ( $n_s = 135$ ). Параметри моделі:  $D_{2м} = 300 \text{ мм}$ ;  $n = 1500 \text{ об/хв}$ ;  $\rho_m = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

Параметри моделі при  $n_s = 135$ :  $Q_m = 265 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $H_m = 21,2 \text{ м}$ ;  $\eta_m = 78 \%$ .

Для розрахунку геометричних розмірів проточної частини насоса (робочого колеса, відводу) визначимо коефіцієнт геометричної подібності за формулою

$$\lambda = \sqrt[4]{\left( \frac{Q_n}{Q_m} \right)^2 \cdot \frac{H_m}{H_n}}, \quad (4.2)$$

де  $Q_n$  і  $Q_m$  - подача ступені натурального і модельного насосів;

$H_n$  і  $H_m$  - напір ступені натурального і модельного насосів;

|      |      |          |        |      |                          |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  | 17   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ |  |  |  |      |



Однак повне урівноваження осьової сили не забезпечується, оскільки діаметри ущільнень різні.

Залишаються неуврівноваженими сила від аварійного зношування ущільнення  $T_1^*$  і сила  $T_2$ , що виникає внаслідок зміни напрямку руху потоку рідини в робочому колесі.

При аварійному зношуванні ущільнення виникає додаткова осьова сила  $T_1^*$ , спрямована убік усмоктування [11].

Ця сила дорівнює:

$$T_1^* = \pi(r_2^2 - r_{y1}^2) \gamma \frac{u_2^2}{8g} \left( \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_{y1}^2} \ln \frac{r_2^2}{r_{y1}^2} + \frac{r_2^2 + r_{y1}^2}{2r_2^2} - 2 \right); \quad (4.4)$$

Із креслення робочого колеса:

$$r_{y1} = 0,0975 \text{ м}; \quad r_2 = 0,1325 \text{ м}.$$

Колова швидкість на виході робочого колеса:

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60}; \quad (4.5)$$

$$U_2 = \frac{3,14 \cdot 0,265 \cdot 1480}{60} = 20,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$T_1^* = 3,14 \cdot (0,1325^2 - 0,0975^2) \cdot 9810 \cdot \frac{20,5^2}{8 \cdot 9,81} \cdot \left( \frac{0,1325^2}{0,1325^2 - 0,0975^2} \cdot \ln \frac{0,1325^2}{0,0975^2} + \frac{0,1325^2 + 0,0975^2}{2 \cdot 0,1325^2} - 2 \right) = 142 \text{ Н}.$$

По осі насоса діє також динамічна сила  $T_2$ , обумовлена натисканням потоку на колесо, а також зміною осьового напрямку його руху на радіальний.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 19   |

Сила  $T_2$  дорівнює:

$$T_2 = B \cdot \frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot V_0; \quad (4.6)$$

де  $B = 1$  - для радіальних коліс;

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

Швидкість  $V_0$ :

$$V_0 = \frac{Q}{S_0}; \quad (4.7)$$

де  $S_0$  – площа вхідного перерізу колеса, м<sup>2</sup>.

$$S_0 = \frac{\pi(D_0^2 - d_{BT}^2)}{4} \text{ Ж}; \quad (4.8)$$

де  $D_0$  – діаметр входу в колесо,  $D_0 = 0,175$  м;

$d_{BT}$  – діаметр втулки,  $d_{BT} = 0,05$  м.

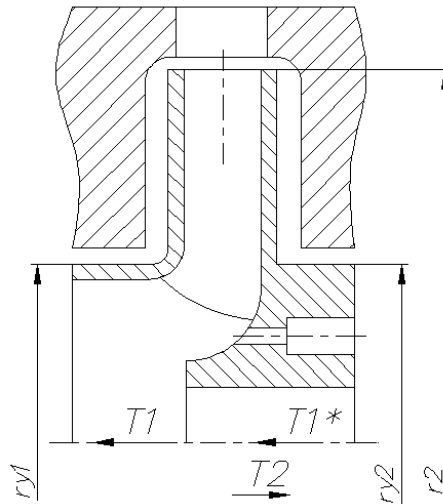
$$S_0 = \frac{3,14 \cdot (0,175^2 - 0,05^2)}{4} = 0,022 \text{ м}^2;$$

$$V_0 = \frac{200}{3600 \cdot 0,022} = 2,52 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$T_2 = 1 \cdot \frac{9810 \cdot 200}{3600 \cdot 9,81} \cdot 2,52 = 140 \text{ Н}.$$

Сумарна осьова сила, діюча на колесо (рис. 4.2):

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>6.05050205.02БР.000.00ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 | 20   |



**Рисунок 4.2 – Робоче колесо насоса**

$$T = T_1^* - T_2; \quad (4.9)$$

$$T = 144 - 140 = 4H .$$

#### 4.4 Визначення радіальної сили

Для визначення радіальної сили у відцентровому насосі зі спіральним відводом використовуємо формулу [11]:

$$R = K_R \left( 1 - \left( \frac{Q}{Q_{opt}} \right)^2 \right) \rho \cdot g \cdot H \cdot D_2 \cdot b_2; \quad (4.10)$$

де  $K_R$  – безрозмірний коефіцієнт радіальної сили;

$D_2$  – зовнішній діаметр робочого колеса,  $D_2 = 0,265$  м;

$b_2$  – ширина колеса на виході, що включає в себе і товщину його дисків,  $b_2 = 0,04$  м.

Коефіцієнт  $K_R$  залежить від  $n_s$ . При  $n_s = 134,6$   $K_R = 0,3$ .

Максимальна сила буде на режимі  $Q = 0$ .

$$R = 0,3 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 20 \cdot 0,265 \cdot 0,04 = 624H.$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 21   |

## 4.5 Розрахунок насоса на кавітацію

Кавітаційні якості насоса залежать від основних геометричних розмірів робочого колеса та фізичних властивостей рідини.

Мінімальний кавітаційний запас визначається за формулою

$$\Delta h = \lambda_1 \frac{V_0^2}{2g} + \lambda_2 \frac{W_1^2}{2g}, \quad (4.11)$$

де  $\lambda_1$  й  $\lambda_2$  – коефіцієнти;

$V_0$  – середня абсолютна швидкість при вході потоку в колесо;

$W_1$  – середня відносна швидкість при вході потоку на лопаті колеса.

Для насосів при безударному вході на лопаті колеса коефіцієнти  $\lambda_1$  й  $\lambda_2$  приймаються рівними:

$$\lambda_1 = 1,2; \quad \lambda_2 = 0,3.$$

Швидкість  $V_0 = 2,52$  м/с.

Відносна швидкість на вході:

$$W_1 = \sqrt{U_1^2 + V_{m1}^2}, \quad (4.12)$$

де  $U_1$  – колова швидкість на вході в колесо;

$v_{m1}$  – меридіанна складова абсолютної швидкості.

Колова швидкість на вході колеса:

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}, \quad (4.13)$$

де  $D_1$  – діаметр на вході в колесо.

$$D_1 = 0,8 D_0;$$

$$D_1 = 0,8 \cdot 0,175 = 0,14 \text{ м.}$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,14 \cdot 1480}{60} = 10,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Меридіанна складова абсолютної швидкості  $v_{m1}$ :

$$v_{m1} = \psi_1 \cdot V_0, \quad (4.14)$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

де  $\Psi_1 = 1,15 - 1,3$  – коефіцієнт стиснення на вході в колесо.

$$\text{При } \Psi_1 = 1,3: \quad v_{m1} = 1,3 \cdot 2,52 = 3,28 \frac{M}{c}.$$

$$W_1 = \sqrt{10,8^2 + 3,28^2} = 11,3 \frac{M}{c}.$$

Кавітаційний запас

$$\Delta h = 1,2 \cdot \frac{2,52^2}{2 \cdot 9,81} + 0,3 \cdot \frac{11,8^2}{2 \cdot 9,81} = 2,52 \text{ м.}$$

Кавітаційний коефіцієнт швидкохідності:

$$C = \frac{5,62 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{\Delta h^{3/4}}; \quad (4.15)$$

$$C = \frac{5,62 \cdot 1480 \cdot \sqrt{200}}{60 \cdot 2,52^{3/4}} = 980.$$

Отримане значення  $C = 980$  показує, що насос має гарні кавітаційні якості.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 23   |



## 5 ВИБІР КІНЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ ВАЛА

### 5.1 Вибір типу ущільнення

Для розробленої конструкції насоса в якості кінцевого ущільнення вала застосоване сальникове ущільнення (рис. 5.1).

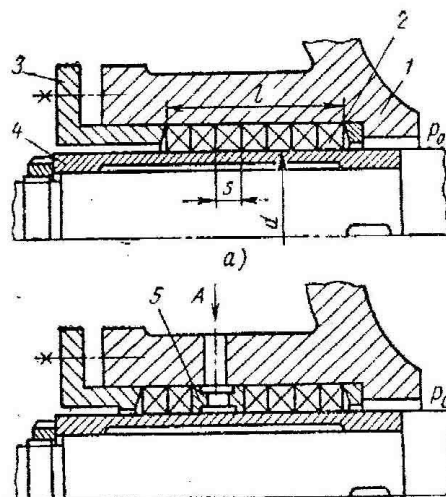


Рисунок 5.1 - Схема сальникового ущільнення

Для надійної роботи насоса необхідно забезпечити підпір на вході в насос. Підпір, вимірний у всмоктувальному патрубку, повинен бути не менше ніж 1 м.

З метою захисту сальникового ущільнення від зношення у вузол ущільнення подається затворна рідина під тиском, що перевищує тиск на виході з насоса на 0,5 МПа. В якості затворної рідини застосовується технічно чиста вода з температурою не більше 40<sup>0</sup> С. Витрата води, що подається до сальника, 0,01 м<sup>3</sup>/год.

Згідно [ 11] товщина кільця набивки

$$s = \sqrt{d}, \quad (5.1)$$

де  $d$  - діаметр вала в місці набивання сальника, мм ( $d = 55$  мм);

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |

6.05050205.02БР.000.00ПЗ

Арк.

24

$$S = \sqrt{55} = 7,4 \text{ мм}$$

Приймаємо  $S = 10 \text{ мм}$ .

Довжина сальникового ущільнення дорівнює:

$$L = i \cdot s, \quad (5.2)$$

де  $i$  - кількість кілець набивання, шт. ( $i = 4$ );

$s$  - товщина кільця набивання, мм.

$$L = 4 \cdot 10 = 40 \text{ мм}.$$

Відповідно до ГОСТ 5128-84 вибираємо сальникову набивку з одношаровим оплетенням марки АГИ 10 x10.

## 5.2 Розрахунок потужності, споживаної в ущільненні

Визначимо втрати потужності в сальнику [11]:

$$N_C = 3,22 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot r^2 \cdot s \cdot \sigma_0 \left( 1 - e^{-2af \frac{l}{s}} \right), \quad (5.3)$$

де  $r$  – радіус натискної втулки, див. креслення насоса.

$$r = d_{\text{вт}}/2 = 2,75 \text{ см};$$

$n$  – частота обертання вала, об/хв;

$\sigma_0$  – контактна напруга між набивкою і валом, кг/см<sup>2</sup>;

$l$  - довжина пакета сальникової набивки, см;

$a = 0,5$  – коефіцієнт тертя набивки;

$f$  - коефіцієнт тертя ( $f = 0,01 - 0,1$ ).

Контактна напруга

$$\sigma_0 = P_0 \cdot e^{2af \frac{l}{s}}, \quad (5.4)$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 25   |

де  $l$  - довжина пакета ( $l = 4,0$  см);

$f = 0,05$  - коефіцієнт тертя;

$s$  - товщина кільця сальникової набивки, см ( $s = 1,0$  см);

$P_0$  - тиск на вході в насос ( $P_0 = 0,6$  кг/см<sup>2</sup>).

$$\sigma_0 = 0,6 \cdot e^{2 \cdot 0,5 \cdot 0,05 \cdot 4,0 / 1,0} = 0,73 \text{ кг/см}^2.$$

$$N_C = 3,22 \cdot 10^{-5} \cdot 1480 \cdot 2,75^2 \cdot 1,0 \cdot 0,73 \left( 1 - e^{-2 \cdot 0,5 \cdot 0,05 \cdot 4,0 / 1,0} \right) = 0,048 \text{ кВт.}$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 26   |

## 6 РОЗРАХУНКИ ВТРАТ І ПОВНОГО ККД НАСОСА

Втрати в лопатевому насосі розділяють на гідравлічні, об'ємні й механічні [11,12].

### 6.1 Гідравлічні втрати

Гідравлічні втрати – це сумарні втрати при русі рідини по водопровідним каналам. Їх умовно можна розділити на дві категорії: втрати на тертя при русі в каналах проточної частини насоса і втрати на вихроутворення, пов'язані з відривом потоку при обтіканні різних елементів робочих органів насоса [11].

Гідравлічний к.п.д. визначають за формулою Ломакіна [2]:

$$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2}, \quad (6.1)$$

де  $D_{1np}$  – наведений діаметр бочого колеса, мм;  $D_{1np} = \sqrt{D_0^2 - d_{em}^2}$  ;

$$D_{1np} = \sqrt{0,175^2 - 0,05^2} = 0,168 \text{ м.}$$

$$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{(\lg 168 - 0,172)^2} = 0,900 .$$

### 6.2 Об'ємні втрати

Об'ємні втрати можна розділити на внутрішні й зовнішні. До внутрішніх відносять втрати на протікання рідини через гідравлічні ущільнення між обертовими й нерухливими елементами насоса; до зовнішніх – витоки в кінцевих ущільненнях на виході вала з корпуса насоса.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 27   |

Для оцінки очікуваного об'ємного к.к.д. насоса можна використовувати формулу [11]:

$$\frac{1}{\eta_o} = 1 + 0,68ns^{-\frac{2}{3}}. \quad (6.2)$$

$$\eta_o = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 134,6^{-\frac{2}{3}}} = 0,975.$$

### 6.3 Механічні втрати

Механічні втрати в насосі складаються із втрат на тертя в кінцевих ущільненнях різного типу, у підшипниках і так званих дискових втрат. Механічні втрати ділять на внутрішні й зовнішні. Зовнішніми втратами вважаються втрати в кінцевих ущільненнях, внутрішніми – втрати дискового тертя.

У відцентрових насосах середньої і великої потужності дискові втрати є основним видом механічних втрат. Під дисковими втратами маються на увазі втрати енергії на тертя робочої рідини по зовнішніх поверхнях обертового робочого колеса. Хоча вони носять гідравлічний характер, але відносяться до механічних, оскільки впливають на споживану потужність [11].

Втрати на дискове тертя визначають за формулою Пфлейдерера:

$$N_{дт} = 0,882 \cdot U_2^3 \cdot D_2(D_2 + 5l), \text{ Вт.} \quad (6.3)$$

де  $U_2$  - колова швидкість на виході з робочого колеса, м/с;

$D_2$  - зовнішній діаметр робочого колеса, м;

$l$  - сума товщин покривного і основного дисків робочого колеса, м.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$$l = l_1 + l_2 \quad (6.4)$$

$$l = 0,012 \text{ м};$$

$$N_{дг} = 0,882 \cdot 20,5^3 \cdot 0,265 (0,265 + 5 \cdot 0,012) = 665 \text{ Вт} = 0,665 \text{ кВт},$$

Повний механічний к.к.д. дорівнює [13] :

$$\eta_M = \frac{N}{N + N_{дг} + N_c} \cdot \eta_n, \quad (6.5)$$

де  $\eta_n = 0,99$  – к.к.д. підшипників;

$N_{дг}$  - втрати потужності на дискове тертя, кВт;

$N_c$  - втрати потужності в сальниковому ущільненні;

$N$  - потужність насоса, кВт.

$$N = \frac{\rho g Q H_T}{3600 \cdot \eta_o}, \quad (6.6)$$

де  $\rho$  - густина, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/год;

$H_T$  - теоретичний напір, м;

$\eta_o$  - об'ємний к.к.д.

Теоретичний напір

$$H_T = \frac{H}{\eta_G}, \quad (6.7)$$

де  $H$  – напір насоса;

$\eta_G$  - гідравлічний к.к.д.

$$H_T = \frac{20}{0,90} = 22,2 \text{ м.}$$

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 200 \cdot 22,2}{3600 \cdot 0,975} = 12410 \text{ Вт} = 12,41 \text{ кВт.}$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 29   |

$$\eta_M = \frac{12,41}{12,41 + 0,665 + 0,048} = 0,945 .$$

Визначимо повний розрахунковий к. к. д. насоса

$$\eta = \eta_G \cdot \eta_O \cdot \eta_M . \quad (6.8)$$

$$\eta = 0,900 \cdot 0,975 \cdot 0,945 = 0,82 .$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 7 РОЗРАХУНКИ ДО ВИБОРУ ДВИГУНА

### 7.1 Вибір двигуна

Потужність насоса на номінальному режимі при густині рідини  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

$$N = \frac{\rho g Q H}{1000 \cdot \eta_n}, \text{ кВт} \quad (7.1)$$

$$N = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 200 \cdot 20}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,78} = 14 \text{ кВт},$$

$\eta_n = 0,78$  – к.к.д. насоса в робочій точці (з характеристики моделі).

Потужність електродвигуна

$$N_{e0} = \kappa \cdot N, \quad (7.2)$$

де  $\kappa = 1,1 - 1,3$  - коефіцієнт, що враховує припустиме відхилення напору

Приймаємо  $\kappa = 1,2$ .

$$N_{e0} = 1,2 \cdot 14 = 16,8 \text{ кВт}.$$

Для привода насоса вибираємо електродвигун 4АМУ160М4 з параметрами:

Потужність – 18,5 кВт;

Напруга – 220 / 380 В;

Частота обертання (синхронна) – 1500 об/хв.

### 7.2 Розрахунок пускової моментної характеристики

Після вибору електродвигуна проводиться побудування графіка залежності моменту опору агрегату від частоти обертання [12].

Графік залежності моменту опору будується за трьома точками:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



- початкового моменту руху ( $n_A = 0$  - точка А);
- мінімального моменту опору агрегату (точка С);
- повного розгону електродвигуна ( $n$ ).

Початковий момент пуску агрегату ( $n_A = 0$ ):

$$M_A = 0,21M_{ном}, \quad (7.3)$$

де  $M_{ном}$  - номінальний момент на валу електродвигуна, Н·м:

$$M_{ном} = \frac{N}{\omega}. \quad (7.4)$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1480}{30} = 154,9 \text{ с}^{-1}.$$

$N = 14$  кВт – номінальна потужність двигуна.

$$M_{ном} = \frac{14}{154,9} = 0,0904 \text{ кН} \cdot \text{м} = 90,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_A = 0,21 \cdot 90,4 = 19 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору агрегату при повному розгоні електродвигуна:

$$M_{max} = \frac{N_{max}}{\omega}, \quad (7.5)$$

де  $N_{max}$  – максимальна потужність насоса, Вт:

$$N_{max} = N_{дв}.$$

$$N_{max} = N_{дв} = 16,8 \text{ кВт};$$

$$M_{max} = \frac{16,8}{154,9} = 0,1085 \text{ кН} \cdot \text{м} = 108,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мінімальний момент опору відповідає точці С з координатами:

$$n_C = 0,3 \cdot n_{ном}, \quad (7.6)$$

$$n_C = 0,3 \cdot 1480 = 444 \text{ об/хв};$$

де  $n_{ном}$  – номінальна частота обертання вала електродвигуна, об/хв;

$$M_C = 0,03 \cdot M_{max}. \quad (7.7)$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$$M_C = 0,03 \cdot 108,5 = 3,26 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Коефіцієнт параболи визначається за величиною моменту при повному розвороті двигуна:

$$k = \frac{M_{\max}}{n^2}; \quad (7.8)$$

$$k = \frac{108,5}{1480^2} = 49,5 \cdot 10^{-6}.$$

За визначеним коефіцієнтом параболи проводимо розрахунок обертового моменту насоса для частот від  $n=0$  до  $n_{\max}$ :

$$M = kn^2. \quad (7.9)$$

Результати розрахунку заносимо до табл. 7.1.

Графік пускового моменту будують таким чином:

- за табл. 1 будують залежність  $M = f(n)$ ;
- точки А ( $n_0; M_0$ ) та С ( $n_C; M_C$ ) з'єднуються між собою відрізком;
- отримані криві спрягаються плавною кривою.

Таблиця 7.1 - Пускова моментна характеристика

|          |   |      |       |       |       |       |        |
|----------|---|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| н, об/хв | 0 | 250  | 500   | 750   | 1000  | 1250  | 1500   |
| М, Н•м   | 0 | 3,09 | 12,38 | 27,84 | 49,50 | 77,34 | 111,37 |

Пускова моментна характеристика насосного агрегату показана на рис. 7.1.

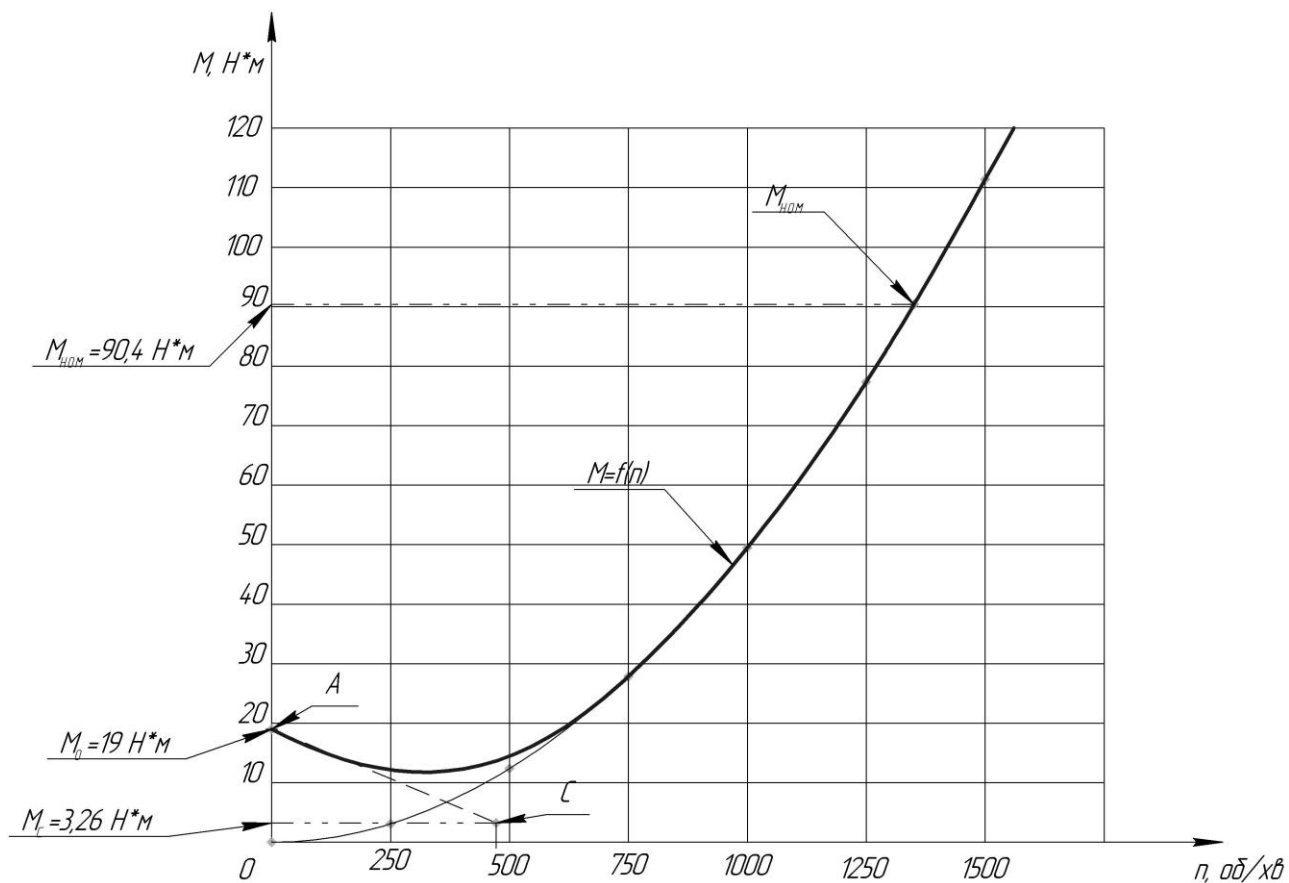


Рисунок 7.1 – Пускова моментна характеристика насосного агрегату К 200-20

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

6.05050205.02БР.000.00ПЗ

Арк.

43

## 8 МЕХАНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

### 8.1 Розрахунок реакцій в опорах

Розрахункова схема дії сил на ротор насоса наведена на рис. 8.1

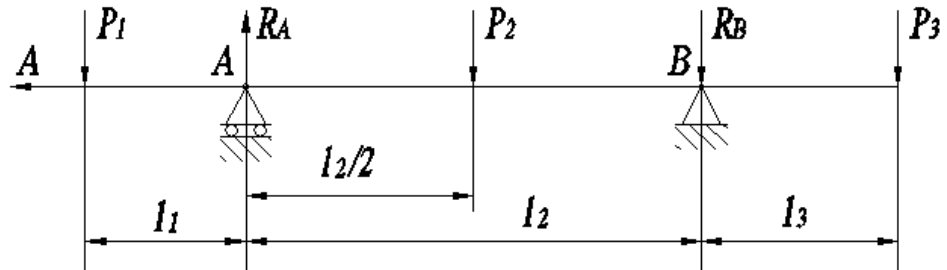


Рисунок 8.1 - Схема навантаження вала

Навантаження  $P_1$  визначається за формулою:

$$P_1 = G_k + \frac{1}{3}G_{1в} + R, \quad (8.1)$$

де  $G_k$  – вага робочого колеса, Н;

$G_{1в}$  – вага вала на ділянці  $l_1$ , Н;

$R$  - радіальна сила, Н.

$$G_k = 108 \text{ Н}; \quad G_{1в} = 36 \text{ Н}; \quad R = 624 \text{ Н}.$$

$$P_1 = 108 + \frac{1}{3} \cdot 36 + 624 = 744 \text{ Н}.$$

Навантаження  $P_2$ :

$$P_2 = \frac{1}{3}G_{2в}, \quad (8.2)$$

де  $G_{2в}$  - вага вала на ділянці  $l_2$ , Н;

$$G_{2в} = 39 \text{ Н}; \quad P_2 = \frac{1}{3} \cdot 39 = 13 \text{ Н}.$$

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

6.05050205.02БР.000.00ПЗ

Арк.

35

Навантаження  $P_3$ :

$$P_3 = G_{\text{ПМ}} + \frac{1}{3} G_{3\text{в}}, \quad (8.3)$$

де  $G_{\text{ПМ}}$  - вага напівмуфти;  $G_{3\text{в}}$  – вага вала на ділянці  $l_3$ , Н.

$$G_{\text{ПМ}} = 37 \text{ Н}; \quad G_{3\text{в}} = 21 \text{ Н.}$$

$$P_3 = 37 + \frac{1}{3} \cdot 21 = 44 \text{ Н.}$$

Для визначення реакцій у підшипникових опорах складемо рівняння моментів сил відносно точок опор.

$R_A$  і  $R_B$  – реакції в опорах А і В.

Розміри вала:  $l_1 = 0,210$  м;  $l_2 = 0,182$  м;  $l_3 = 0,142$  м.

$$\Sigma M_A = P_2 \frac{l_2}{2} + R_B l_2 + P_3 (l_2 + l_3) - P_1 l_1 = 0 \quad (8.4)$$

$$R_B = \frac{P_1 l_1 - P_3 (l_2 + l_3) - P_2 \frac{l_2}{2}}{l_2}; \quad (8.5)$$

$$R_B = \frac{744 \cdot 0,21 - 44 \cdot (0,182 + 0,142) - 13 \cdot \frac{0,182}{2}}{0,182} = 774 \text{ Н.}$$

$$\Sigma M_B = P_2 \frac{l_2}{2} + P_1 (l_1 + l_2) - R_A l_2 - P_3 l_3 = 0 \quad (8.6)$$

$$R_A = \frac{P_2 \frac{l_2}{2} + P_1 (l_1 + l_2) - P_3 l_3}{l_2}; \quad (8.7)$$

$$R_A = \frac{13 \cdot \frac{0,182}{2} + 744 \cdot (0,21 + 0,182) - 44 \cdot 0,142}{0,182} = 1575 \text{ Н.}$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 36   |

## 8.2 Розрахунок довговічності підшипників

В опорі А встановлений роликівий підшипник 32311 ГОСТ 8328-75, що сприймає радіальне навантаження, в опорі В кульковий підшипник 311 ГОСТ 8338-75, який сприймає осьове і радіальне навантаження.

Підшипник 311 (ГОСТ 8338-75):

Статична вантажопідйомність

$$C_0 = 41500 \text{ Н.}$$

Динамічна вантажопідйомність

$$C = 71500 \text{ Н.}$$

За умовами роботи насоса підшипник в опорі В сприймає осьове і радіальне навантаження і є більше навантаженим.

Перевіряємо його на довговічність.

Розрахункова довговічність підшипника [14, 15]:

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^3, \quad (8.8)$$

де  $C$  - динамічна вантажопідйомність підшипника, Н;

$P$  - еквівалентне динамічне навантаження, Н.

Еквівалентне динамічне навантаження на підшипник

$$P = (XVF_r + YF_a) K_T K_\delta \quad (8.9)$$

За умовами роботи підшипника приймаємо: коефіцієнт безпеки  $K_\delta = 1,2$ ; температурний коефіцієнт  $K_T = 1,0$ ; коефіцієнт обертання  $V = 1$ .

Реальна і осьова сили, що діють на підшипник:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$$F_r = R_B = 774 \text{ Н}; \quad F_a = A = T = 4 \text{ Н.}$$

Визначаємо відношення осьового навантаження до радіального:

$$\frac{F_a}{VF_r} = \frac{4}{1 \cdot 774} = 0,005$$

Визначаємо відношення

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{4}{41500} = 0,0001.$$

При цьому  $e = 0,19$ .

Т.к.  $\frac{F_a}{VF_r} < e$ , то коефіцієнт радіального навантаження  $X = 1$ .  $Y = 0$ .

Коефіцієнт осьового навантаження  $B$ :

$$B = 1,45.$$

Динамічне навантаження

$$P = (1 \cdot 1 \cdot 774 + 0 \cdot 4) \cdot 1 \cdot 1,2 = 929 \text{ Н}.$$

Розрахункова довговічність підшипника

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 1480} \cdot \left( \frac{71500}{929} \right)^3 = 513300 \text{ з.}$$

Вибір підшипника відповідає рекомендованим значенням його ресурсу.

### 8.3 Розрахунок вала на статичну міцність

Розрахунок проведемо за методикою [16].

Для визначення напруг у перерізах вала побудуємо епюру згинальних моментів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

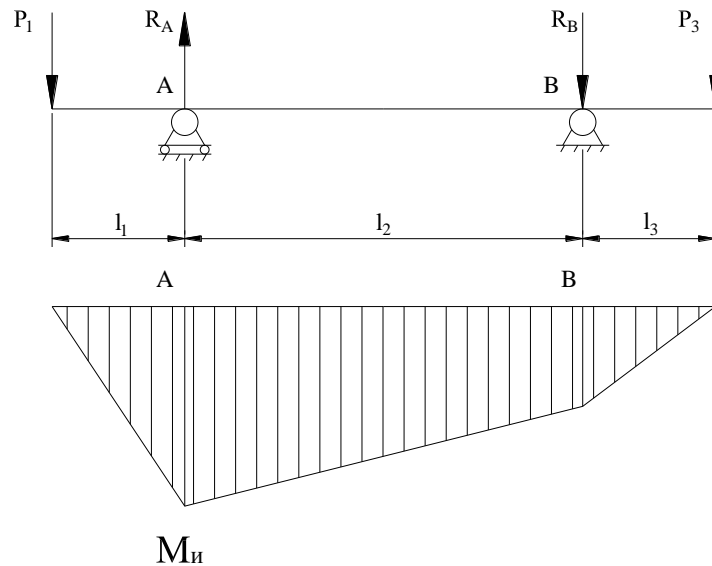


Рисунок 8.2 – Епюра згинальних моментів

Визначимо максимальний згинальний момент у перерізі А

$$M_u = P_1 l_1, \quad (8.10)$$

$$P_1 = 744 \text{ Н}; \quad l_1 = 0,21 \text{ м};$$

$$M_{и} = 744 \cdot 0,21 = 156 \text{ Нм.}$$

Найбільший крутний момент на валу

$$M_{кр} = 9551 \cdot \frac{N}{n}, \quad (8.11)$$

де N - потужність насоса; N = 14 кВт (див. розділ 7)

$$M_{кр} = 9551 \cdot \frac{14}{1480} = 90 \text{ Нм.}$$

Момент опору перерізу вала в точці А:

$$W_{и} = 0,1 d^3, \quad (8.12)$$

де d = 55 мм - діаметр вала під підшипником

$$W_{и} = 0,1 \cdot 0,055^3 = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

6.05050205.02БР.000.00ПЗ

Арк.

39



Момент опору крутіння

$$W_{KP} = 0,2d^3, \quad (8.13)$$

$$W_{KP} = 0,2 \cdot 0,055^3 = 33,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Напруга згину

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II}}{W_{II}}, \quad (8.14)$$

$$\sigma_{II} = \frac{156}{16,6 \cdot 10^{-6}} = 9,4 \cdot 10^6 \text{ Па} = 9,4 \text{ МПа}.$$

Напруга крутіння

$$\tau_{KP} = \frac{M_{KP}}{W_{KP}}, \quad (8.15)$$

$$\tau_{KP} = \frac{90}{33,3 \cdot 10^{-6}} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,7 \text{ МПа}.$$

Еквівалентна напруга

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sigma_{II}^2 + 3\tau_{KP}^2}, \quad (8.16)$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{9,4^2 + 3 \cdot 2,7^2} = 10,5 \text{ МПа}.$$

Матеріал вала - Сталь 40 Х;

Границя текучості  $\sigma_T = 330 \text{ МПа}$ .

Запас міцності по границі текучості

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{ЭКВ}}}, \quad (8.17)$$

$$n_T = \frac{330}{10,5} = 31.$$

Умова міцності виконується.

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>6.05050205.02БР.000.00ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 | 40   |

## 8.4 Розрахунок шпонкового з'єднання вала з колесом

Основні вихідні дані для розрахунку:

Матеріал вала - Сталь 40Х.

Границя текучості –  $\sigma_{0,2} = 780$  МПа.

Матеріал шпонки - Сталь 45.

Границя текучості –  $\sigma_{0,2} = 350$  МПа.

Матеріал колеса - 20Х13Л.

Границя текучості –  $\sigma_{0,2} = 440$  МПа.

Обертальний момент на валу  $M_{кр} = 90$  Нм.

Розмір шпонки під робочим колесом, мм

$$b \times h \times l = 8 \times 7 \times 50.$$

При розрахунку шпонкового з'єднання вала з колесом визначальною є напруга зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{2M_{кр}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)}, \quad (8.18)$$

де  $l$  – робоча глибина шпонки;

$t_1$  – глибина паза вала;

$h$  - висота шпонки;

$d$  - діаметр вала.

$$d = 36 \text{ мм}; l = l - b = 36 - 8 = 28 \text{ мм}; t_1 = 5 \text{ мм}; h = 8 \text{ мм}.$$

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 90}{0,036 \cdot 0,028 \cdot (0,008 - 0,005)} = 59,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 59,5 \text{ МПа}$$

Напругу зминання, що допускається, обчислюємо для матеріалу (шпонка), що має найнижчу границю текучості.

Допустиме напруження зминання

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 41   |

$$[\sigma_{CM}] = 0,56\sigma_{0,2} \quad (8.19)$$

Для матеріалу вала

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

$$\sigma_{CM} < [\sigma_{CM}].$$

Умова міцності на зминання виконується.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 42   |

## 9 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### МЕРЕЖЕВИЙ ГРАФІК ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА НОВОЇ ТЕХНІКИ

Розглянемо об'ємно-календарне планування виробництва нової продукції [17, 18]. Об'ємно-календарне планування підготовки виробництва нової продукції передбачає доведення до підрозділів і безпосередніх виконавців тематики та номенклатури робіт із підготовки виробництва, проведення необхідних розрахунків і обсягів робіт, складання графіків виконання останніх.

За умов становлення ринку важливим є скорочення термінів технічної підготовки з метою прискорення впровадження досягнень науки та техніки у виробництво; зменшення витрат на виробництво; підвищення якості робіт та своєчасного зайняття власної ринкової ніші. Із метою скорочення термінів підготовки виробництва використовується метод паралельного та паралельно-послідовного ведення робіт. Паралельне та паралельно-послідовне виконання всіх робіт скорочує терміни технічної підготовки й освоєння нової продукції. У результаті поєднання різних стадій проектування загальний цикл підготовки різко скорочується. Організація робіт із технічної підготовки виробництва базується на послідовному чи паралельно-послідовному виконанні робіт по стадіях і етапах.

Послідовне виконання полягає в тому, що кожна наступна стадія (етап) починається тільки після повного завершення попередньої. У цьому разі загальний цикл технічної підготовки виробництва у календарних днях визначається за формулою

$$T_{\text{посл}} = \frac{K_1}{T_{\text{зм}}} \sum_{i=1}^n \left( \frac{TK_1}{\varphi K_{\text{зм}}} \right),$$

де  $n$  – кількість стадій (етапів) технічної підготовки виробництва нової продукції.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 43   |



плани робіт підприємства із створення нової конкурентноспроможної продукції містять не тільки загальну тривалість всього комплексу проектно-виробничої та фінансово-економічної діяльності, але й тривалість та послідовність здійснення окремих процесів чи етапів, а також потребу в необхідних економічних ресурсах. Сітьова модель – множина поєднаних між собою елементів для опису технологічної залежності окремих робіт і етапів майбутніх проектів.

Основним плановим документом системи сітьового планування є сітьовий графік, що являє собою інформаційно-динамічну модель, яка відображає всі логічні взаємозв'язки та результати робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети планування. Роботами у сітьовому графіку називаються будь-які виробничі процеси чи інші дії, які призводять до досягнення певних результатів, подій. Роботою слід вважати і можливі очікування початку наступних процесів, пов'язані із перервами чи додатковими витратами часу.

Подіями називаються кінцеві результати попередніх робіт. Подія являє собою момент завершення планової дії. Події бувають початковими, кінцевими, простими, складними, проміжними, попередніми, наступними і т.д. На всіх сітьових графіках важливим показником є шлях, що визначає послідовність робіт чи подій, в якій результат однієї стадії збігається із початковим показником наступної за нею іншої фази. На будь-якому графіку прийнято розрізняти декілька шляхів:

- повний шлях від початкової до кінцевої події;
- шлях, що передує даній події від початкової;
- шлях, наступний за даною подією до кінцевої;
- шлях між декількома подіями;

|      |      |          |        |      |                          |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |  |  |  |  | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ |  |  |  |  |      |



рішення про необхідність виробництва виробу до моменту випуску його на національний ринок за умови, що всі етапи планування продукції відбуваються в чіткій послідовності. Затримка у виконанні будь-якої операції на цьому шляху веде до відставання від графіка процесу планування.

Однак, підприємство може також знехтувати такими запобіжними заходами як випробування виробу за допомогою споживачів (події 1, 2, 3, 4) чи пробний продаж (події 5, 6, 7, 8, 9, 10) до прийняття рішення про негайний випуск виробу на ринок (події 1, 11, 12). З метою спрощення сітьового графіка всі можливі варіанти освоєння нового виробу на ньому не показані. Наприклад, рішення про випуск виробу на ринок (подія 11) може бути прийняте після проведення випробувань (подія 4). У цьому випадку на графіку варто провести лінію із події 4 у подію 11. В усіх цих варіантах цикл освоєння нового виробу значно скорочується. Однак, як свідчить досвід, найбільший ринковий успіх з новим товаром приходить звичайно до виробників, що послідовно проходять весь цикл планування, при цьому втрати від скорочення циклу можуть бути значними. Цей спрощений сітьовий графік у застосуванні до планування асортименту продукції може бути використаний для того, щоб при розрахунку часу на весь цикл врахувати варіації часу, необхідного для кожної операції, тобто визначити найбільш ймовірний і оптимальний терміни завершення циклу. Сітьові графіки планування асортименту в процесі обґрунтування виробничої програми потребами ринку дозволяють визначити час з моменту появи задуму продукту до початку його реалізації на всіх ринках збуту при широкому дотриманні послідовності етапів, що входять у планування асортименту. Тривалість усього циклу може бути скорочена, але за умови залучення додаткових ресурсів і прикладання додаткових зусиль на критичних етапах (наприклад, при дослідженні ринку чи проведенні пробних продажів).

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



Найважливішими етапами сітьового планування випуску нового виробу є такі:

- розподіл комплексу робіт на окремі частини і їхнє закріплення за виконавцями;
- виявлення й опис кожним виконавцем усіх подій і робіт, необхідних для досягнення поставленої мети;
- побудова первинних сітьових графіків і уточнення змісту
- планових робіт;
- об'єднання окремих частин сіток і побудова зведеного сітьового графіка виконання комплексу робіт;
- обґрунтування чи уточнення часу виконання кожної роботи у сітьовому графіку.

На початку сітьового планування випуску нового виробу необхідно виявити, якими подіями буде характеризуватися комплекс робіт. Кожна подія повинна встановлювати завершеність попередніх дій. Усі події і роботи, що входять у заданий комплекс, рекомендується перераховувати у порядку їх виконання, проте окремі з них можуть виконуватися одночасно. Далі проводиться побудова первинних сітьових графіків, їх перевірка та об'єднання окремих сіток у зведену модель. Завершальним етапом сітьового планування є визначення тривалості виконання окремих робіт чи сукупних процесів. Для встановлення тривалості будь-яких робіт необхідно, насамперед, користуватися відповідними нормативами чи нормами трудових затрат. А у разі відсутності вихідних нормативних даних тривалість усіх процесів і робіт може бути встановлена різними методами, у тому числі і за допомогою експертних оцінок.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

По кожній роботі, як правило, дається декілька оцінок часу: мінімальна, максимальна та найвірогідніша. Отримана найвірогідніша оцінка часу не може бути прийнята як нормативний показник часу виконання кожної роботи, оскільки у більшості дана оцінка є суб'єктивною і багато у чому залежить від досвіду відповідального виконавця. Тому для визначення часу виконання кожної роботи експертні оцінки підлягають статистичній обробці.

Розрахунки основних параметрів сітьових графіків повинні бути використані при аналізі й оптимізації сітьових стратегічних планів. Оптимізація сітьових графіків полягає у покращенні процесів планування, організації й управління комплексом робіт із метою скорочення витрат економічних ресурсів і підвищення фінансових результатів при заданих обмеженнях.

Використання передових методів та технічних засобів у процесі планування технічної підготовки виробництва дозволяє скоротити шлях від початкової її стадії – наукових досліджень до кінцевого результату – отримання нової продукції. Поряд із цим повинні скорочуватися питомі витрати на підготовку кожного нововведення.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 10 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ВЛАСНИКА ЗА НЕВИКОНАННЯ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Законом України "Про охорону праці" [19] передбачена відповідальність посадових осіб і працівників за порушення законодавства про охорону праці.

За порушення законодавства про охорону праці Законом України "Про охорону праці" визначена відповідальність [20]. Виділяють різні види відповідальності: адміністративна, цивільна, матеріальна, дисциплінарна, кримінальна. Передбачається відповідальність як підприємства (власника), так і працівників.

*Дисциплінарна відповідальність* регулюється КЗпП і передбачає такі види покарання, як догана та звільнення.

*Матеріальна відповідальність* передбачає відшкодування збитків, заподіяних підприємствами працівникам (або членам їх сімей), які постраждали від нещасного випадку чи професійного захворювання.

*Адміністративна відповідальність* – це відповідальність посадових осіб чи працівників перед органами Держнагляду, що полягає у застосуванні до них штрафних санкцій. Умови притягнення до адміністративної відповідальності передбачені Кодексом України про адміністративні правопорушення. Ст. 41 КупАП передбачає, що порушення вимог законодавчих та інших нормативно- правових актів з охорони праці тягне за собою стягнення штрафу з винних осіб у таких розмірах:

– з працівників – від 2 до 5 неоподаткованих мінімумів доходів громадян;

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 50   |

– з посадових осіб підприємств, організацій. Установ незалежно від форм власності, а також з громадян – власників підприємств або уповноважених ними осіб – від 5 до 10 неоподаткованих мінімумів доходів громадян.

Контроль і нагляд за дотриманням законодавчих та нормативних актів з охорони праці, з безпеки проведення робіт здійснюється органом Департаменту державного нагляду за додержанням законодавства про працю. Державні інспектори розглядають справи про адміністративні порушення та накладають адміністративні стягнення.

Невиконання законних вимог посадових осіб органів департаменту щодо усунення порушень законодавства про охорону праці або створення перешкод до діяльності цих органів згідно зі ст. 188 КУпАП тягне накладання штрафу на працівників у розмірі від 3 до 5 неоподаткованих мінімумів доходів громадян і на посадових осіб – від 10 до 14.

Законом України "Про охорону праці" та Положенням, затвердженим Постановою кабінету міністрів України від 17.09.1993 р. №784 встановлено відповідальність підприємств, установ, організацій у вигляді штрафу за:

– порушення вимог законодавства, правил, норм, інструкцій про охорону праці, які є обов'язковими до виконання;

– невиконання розпоряджень посадових осіб органів державного нагляду за охороною праці з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища.

Ці штрафи накладаються за підсумками комплексної перевірки стану охорони праці на підприємствах посадовими особами Держнаглядохоронпраці (*Держгірпромнагляд*) у таких розмірах:

– головою Держнаглядохоронпраці – до 2 % місячного фонду заробітної плати підприємства, з якого стягується штраф;

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 51   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

– начальниками територіальних управлінь – до 1 %;

– начальниками інспекцій – до 0,5 %.

Максимальний розмір штрафу, що стягається з підприємств не може перевищувати 2 % місячного фонду заробітної плати (п. 5 Положення).

Підприємство також сплачує штраф за кожний нещасний випадок на виробництві та кожен випадок професійного захворювання, що сталися з його вини, а саме в разі:

– нещасного випадку, що не призвів до стійкої втрати працездатності працівника – в розмірі, визначеному з розрахунку середньомісячного заробітку потерпілого за період його тимчасової непрацездатності;

– нещасного випадку, що призвів до стійкої втрати працездатності та професійного захворювання – у розмірі, визначеному з розрахунку половини середньомісячного заробітку потерпілого за кожний відсоток втрати ним професійної захворюваності;

– смерті потерпілого – у розмірі дворічного заробітку потерпілого (п. 6 Положення).

Якщо встановлено факт приховання нещасного випадку власник сплачує штраф у 10-кратному розмірі (ст. 31 Закону України "Про охорону праці").

Розглядаючи **кримінальну відповідальність**, слід зважити на те, що Кримінальний Кодекс України передбачає покарання за злочини в галузі охорони праці, передбачені ст. 135 "Порушення вимог законодавства про охорону праці", ст. 218 – 220 "Порушення правил при проведенні будівельних робіт".

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 52   |

Згідно зі ст. 135 порушення вимог законодавчих та інших нормативних актів про охорону праці посадовою особою підприємства, установи, організації незалежно від форм власності, громадянином – власником підприємства або уповноваженою ним особою, якщо це порушення створювало небезпеку для життя або здоров'я громадян, – карається виправними роботами на строк до одного року або штрафом до 15 мінімальних розмірів заробітної плати. Те саме діяння, якщо воно спричинило нещасні випадки з людьми – карається позбавленням волі на термін до 4-х років.

Порушення вимог законодавчих актів про охорону праці може бути різним, наприклад:

- у не проведенні відповідного інструктажу;
- у відсутності або неправильності спецзасобів для безпечної роботи механізмів, обладнання, засобів індивідуального захисту (маски, захисні окуляри, спецодяг);
- неналежній перевірці знання працівниками техніки безпеки тощо.

Поняття "створювало небезпеку" передбачає наявність реальної можливості загибелі або травмування людей, їх захворювання внаслідок порушення вимог законодавства про працю.

Суб'єктом злочину може бути посадова особа, громадянин – власник підприємства або уповноважені ним особи, на яких законом або на підставі закону, наказу, посадової інструкції, спеціального розпорядження покладено обов'язок забезпечення дотримання вимог законодавства про охорону праці.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 53   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

# 11 ТЕХНОЛОГІЙНИЙ ПРОЦЕС ОБРОБКИ РОБОЧОГО КОЛЕСА

## 11.1 Характеристика типу виробництва

Серійний тип організації виробництва [21] характеризується одночасним виготовленням на підприємстві широкої номенклатури однорідної продукції, випуск якої повторюється протягом тривалого часу. Найбільшого поширення серійне виробництво має в машинобудуванні та металообробці. При цьому випуск продукції відбувається серіями, а по відношенню до деталей – партіями. Виготовлення серій виробів одного типорозміру зазвичай повторюється через регулярні проміжки часу. При повторних запусках серій машин часто вносяться зміни до конструкторської та технологічної підготовки виробництва, організації робочих місць, підвищується кваліфікація робітників. Серійне виробництво дозволяє уніфікувати конструкції деталей, виробів і домагатися типізації технологічних процесів і оснащення. Залежно від розміру серії розрізняють великосерійні, среднесерійні і дрібносерійні виробництва.

При великосерійному виробництві продукція виготовляється безперервно великим об'ємом протягом періоду, що перевищує, як правило, рік. Підприємство спеціалізується на випуску повністю відпрацьованих видів продукції або окремих вузлів і деталей. Цехи підприємства спеціалізуються за предметною ознакою, а робочі місця – за однорідними операціями. На такому виробництві широко використовуються спеціалізоване обладнання, потокові лінії і засоби автоматизації (наприклад, конвеєри). Великосерійне

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 54   |

виробництво дозволяє організувати на науковій основі всі підготовчі операції, виділяючи їх в самостійний етап. До групи підготовчих операцій відносяться конструювання виробу, його окремих деталей, розробка нових технологічних процесів, виготовлення інструменту і пристосувань. Великосерійне виробництво за своїм характером наближається до масового виробництва.

При среднесерийном виробництві спеціалізація обмежується більш вузькою номенклатурою, а виробничі лінії і цехи мають предметну і технологічну спеціалізацію. Підготовка виробництва, як правило, також виділяється з основного виробничого процесу. До середньосерійного виробництва відносяться, наприклад, верстатобудування і двигунобудування, багато видів прокату чорних і кольорових металів.

Дрібносерійне виробництво – перехідна форма від одиничного виробництва до випуску продукції дрібними серіями. Виготовлення виробів або окремих деталей, як правило, не повторюється. Розмір серій нестійкий, а збут обмежений наявними замовленнями або договорами. З цієї причини порівняно швидко припиняється виготовлення одних видів продукції і налагоджується освоєння нових. До дрібносерійного можна віднести виробництво деяких видів прокату і сплавів спеціального призначення, невеликих партій виробів, машин, призначених для експериментування в різних умовах, і т. д. Дрібносерійне виробництво відрізняється від дослідного виробництва, продукція якого, як правило, обмежується виготовленням одного зразка.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 55   |



Техніко – організаційні особливості серійного виробництва обумовлюють ряд економічних переваг порівняно з одиничним виробництвом : скорочення виробничого циклу, підвищення якості продукції, зростання продуктивності праці, зниження собівартості. Ці фактори забезпечують підвищення ефективності виробництва.

## **11. 2 Розроблення технологічного процесу виготовлення робочого колеса**

Робоче колесо є основним робочим органом, який забезпечує подачу та напір рідини. Робоче колесо піддається впливу великих динамічних навантажень від тиску рідини на лопаті, від відцентрових сил та вібрації при наявності неврівноважених сил. Крім того, воно піддається впливу кавітації та корозії.

Відповідно до завдання на бакалаврську роботу необхідно розробити маршрутний технологічний процес виготовлення робочого колеса (креслення 6.05050205.02БР.120.01). Тип виробництва – середньосерійний.

За базу приймаємо типовий технологічний процес виготовлення робочого колеса відцентрового насоса.

### **11.2.1 Технологічність деталі**

Найважливішим показником досконалості конструкції машини чи деталі служить її технологічність.

Визначення технологічності конструкцій деталей і кількісна оцінка критеріїв технологічності виробництва проводиться за ГОСТ 14.205-83.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 56   |

Під технологічністю конструкції виробу мається на увазі її відповідність тим конкретним методам виробництва, в умовах якого вона повинна виготовлятися. При інших рівних умовах більш технологічною є та конструкція, трудомісткість і собівартість виготовлення якої менша.

Підвищення технологічності конструкцій відбувається в таких основних напрямках:

- 1) спрощення конструктивних форм деталей, включаючи заготовки;
- 2) призначення раціональних допусків;
- 3) уніфікація і стандартизація конструкцій (вузлів, деталей та конструктивних елементів).

Відпрацювання технологічності конструкцій гідромашин проводиться на всіх стадіях проектування, у процесі технологічного контролю, а також у період освоєння виробництва машини.

Відпрацювання технологічності проводиться для трьох етапів виготовлення: виробництва заготовок, механічної обробки та складання.

Велика частина виливків, що застосовуються при виготовленні гідромашин, повинна відповідати особливим вимогам. Наприклад, поверхні виливків, що утворюють проточну частину у відцентрових насосах, мають складну форму подвійної кривизни. На цих поверхнях (в порожнинах спіральних камер, в каналах робочих коліс та ін.) здійснюється робочий процес насоса. Зважаючи на складність форми та недоступність для механічної обробки, поверхні проточної частини зберігаються такими, якими виходять у виливках. У деяких випадках може бути проведена лише зачистка вручну або струменем абразивної суміші.

Допуски на лінійні розміри встановлюють за ГОСТ 26645-85 для сталевих виливків.

В процесі конструювання литих деталей в першу чергу повинні бути прийняті всі міри для отримання виливків з мінімальним дефектами, до основних з яких відносяться: усадочні тріщини і раковини, газові раковини,

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 57   |

пористість і надмірне викривлення. Повинні бути також вирішені наступні завдання:

1. Вибір способу формування. Переважним є застосування машинної формовки. З урахуванням габаритів виливків може виявитися доцільним розчленування виливків на дві частини, якщо цілісна вилівок не формується на машині, а кожна з частин може формуватися на машині.

2. Вибір площини роз'єму моделі і розташування не формуючих западин, виступів і бубишок з метою зменшення потреби в застосуванні додаткових стержнів або від'ємних частин на моделі.

3. Встановлення базових поверхонь для перших операцій механічної обробки. Базові поверхні повинні бути рознесені на необхідну відстань і достатніми для забезпечення стійкості заготовки при її установці.

4. Встановлення необхідної кількості стрижнів і послідовність їх складання у формі.

5. Слід зазначити, що структура і механічні властивості металу у великій мірі залежать від швидкості охолодження.

6. Ув'язка конструктивних і формувальних ухилів.

7. Вибір способу транспортування виливки.

Безпосереднього конструювання литої деталі передуює вибір марки матеріалу і міцнісні розрахунки.

Дане робоче колесо виготовляється зі сталі 20Х13Л.

Проведемо аналіз технологічності матеріалу, з якого зроблено робоче колесо.

За призначенням сталь 20Х13Л застосовується для деталей, що піддаються ударним навантаженням, а також виробів, що піддаються дії слабких агресивних середовищ, а також різних деталей машинобудування, що працюють при температурі не вище 700 °С.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 58   |

## 11.2.2 Вибір заготовки та способу її отримання

Від правильності вибору способу отримання заготовки цілком залежить і собівартість одержуваної деталі. Вибір способу залежить від багатьох факторів: типу виробництва, маси деталі, складності форми, вимог креслення. При цьому необхідно враховувати новітні тенденції в технології машинобудування по скороченню витрат матеріалу, зменшенню обсягу механічної обробки, посиленню допусків, так як для обробки деталей все частіше застосовуються верстати з ЧПУ, верстати автомати і автоматичні лінії.

Виробництво лопатевих насосів – серійне, так як виконується за замовленням.

Оскільки розглянута деталь має форму тіла обертання і виготовляється зі сталі 20Х13Л і має середньосерійний тип виробництва, то виберемо в якості заготовки лиття по виплавлюваних моделях.

Литтям по виплавлюваних моделях називається спосіб отримання виливків в оболонковій формі, виготовленій методом нанесення вогнетривкого покриття на легкоплавкі моделі. Останні потім виплавляються, в результаті чого в оболонковій формі утворюються порожнини, що відповідають контурам майбутньої виливки.

На рис. 11.1 наведено ескіз заготовки робочого колеса насоса К 200-20.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 59   |

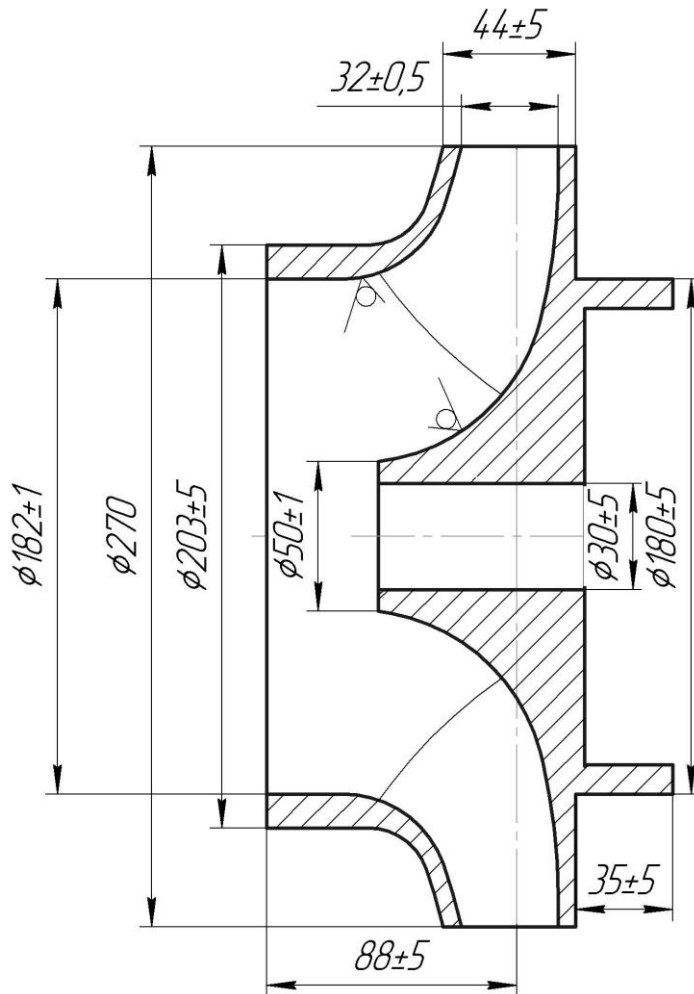


Рисунок 11.1 – Ескіз заготовки робочого колеса

Для отримання високої чистоти поверхні виливків оболонкові форми прокалюють при температурі 900-950°. При цій температурі форма заливається рідким металом. Для запобігання деформації і руйнування тонкої оболонкової форми остання перед випаленням засипається піском або іншим наповнювачем.

Литтям по виплавлених моделях можна одержувати виливки будь-якої складності з різною товщиною стінок, які майже або зовсім не потребують механічної обробки. Цим методом відливаються деталі з будь-яких чорних і кольорових сплавів, включаючи високолеговані жароміцні і надтверді сплави. Відливки отримують з точністю розмірів в середньому 4 – 5-го класів і шорсткістю поверхні 5 – 7-го класів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 60   |

Недоліком цього способу є висока собівартість виливків. Тому його слід застосовувати тільки для виготовлення таких деталей, які неможливо отримати іншими методами лиття (наприклад, дрібні тонкостінні деталі з важко оброблюваних сплавів зі складною конфігурацією). Матеріалом для виготовлення легкоплавких моделей може служити, наприклад, суміш парафіну і стеарину у співвідношенні 1:1. Ця суміш готується в спеціальних агрегатах, де відбувається розплавлення складових, очищення і перемішування їх до мазеподібного стану при температурі 42- 43°.

Легкоплавкі моделі отримують і методом запресовування модельного матеріалу при температурі 42-43° в металеві водоохолоджувальні прес-форми.

Процес виготовлення моделей включає підготовку прес-форм, запресовування в її порожнину модельного складу, витримку до затвердіння, витяг моделі та її охолодження у проточній воді з подальшою зачисткою.

### 11.2.3 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз. Важливим етапом проектування будь-якого технологічного процесу є вибір технологічних баз. За призначенням бази поділяють на конструкторські, технологічні і вимірювальні.

Конструкторська база використовується для визначення відносного положення виробу або заготовки при виготовленні; вимірювальна база – для визначення відносного положення виробу або заготовки і засобів її вимірювання. Вибір схеми базування повинен проводитися з урахуванням необхідної точності обробки.

Базування полягає в приданні заготівці необхідного положення щодо необхідної системи координат. База – поверхня, що виконує функцію поєднання поверхонь, вісь, точка, що належить заготівці або виробу та використовується для базування.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 61   |

Враховуючи все вище написано, вибираємо для робочого колеса технологічну базу, показану на рисунку 11.2, прив'язка розмірів до цієї поверхні буде доцільною і технологічно вірною.

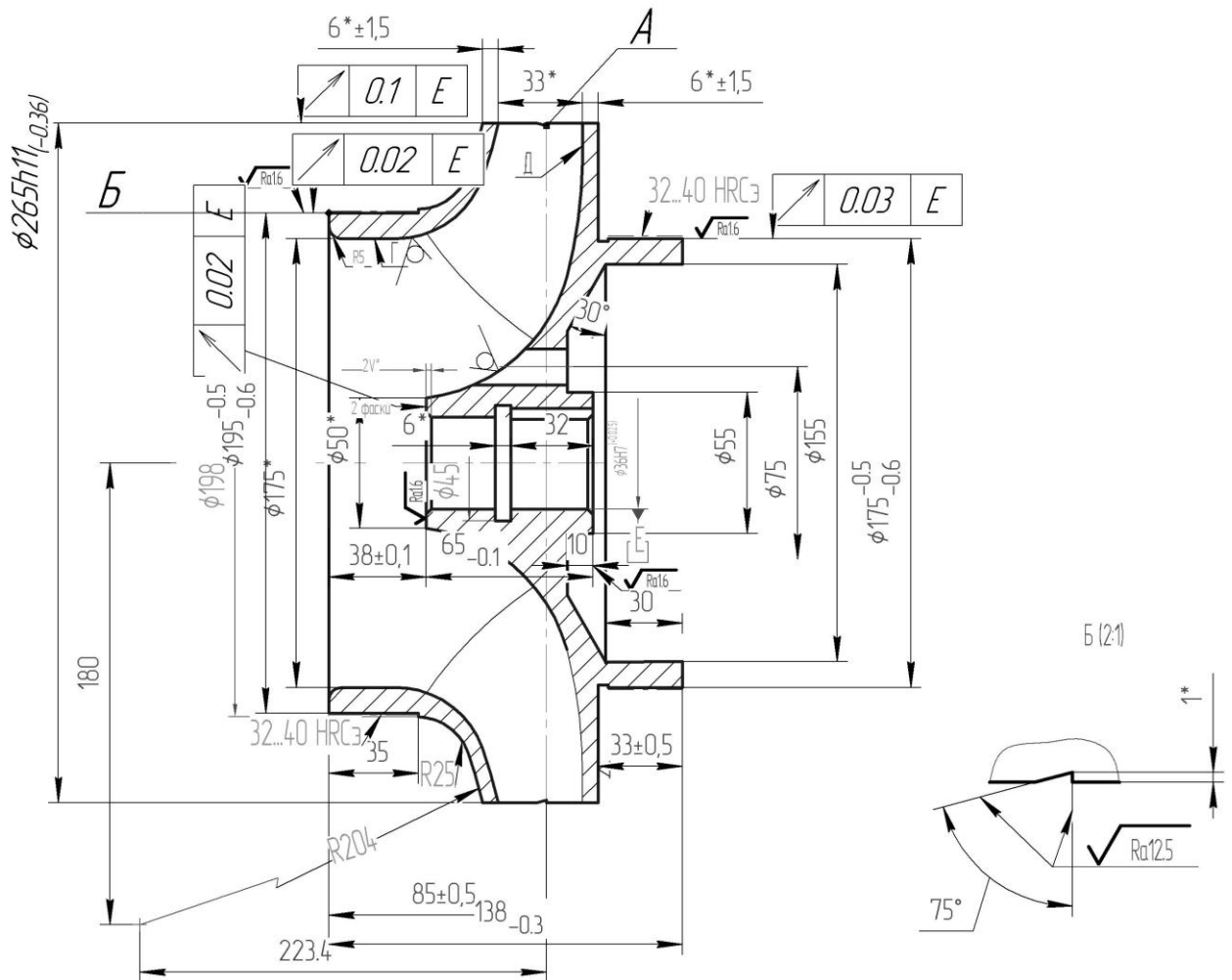


Рисунок 11.2 – Ескіз робочого колеса

### 11.3 Складання технологічного маршруту обробки

Деталь має нескладні і легко оброблювальні поверхні, невеликі габарити. Точність обробки невисока. Кожна операція здійснюється з декількох установок, а переустановка – вручну. Використання верстатів з

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 62   |

ЧПУ дає незначний вигреш за часом, а їх вартість перевищує універсальні верстати. Тому в проєктованому технологічному процесі будемо використовувати універсальний токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62.

Верстат моделі 1К62 призначений для обробки чорних і кольорових металів з великою швидкістю різання різцями з швидкорізальної сталі і твердих сплавів.

Для фрезерної обробки використовується широкоуніверсальний фрезерний верстат ВМ130М.

Для довбіжної операції використовується долбальний верстат з механічним приводом ГД 200.

Першою операцією технологічного процесу обробки деталі є заготівельна операція, що передбачає в собі отримання заготовки (лиття по виплавлених моделях). Далі слідує механічна обробка. Вона складається з токарної обробки, а точніше чорної токарної, токарної напівчистої і токарної чистої. Фрезерна обробка, долбальна.

Маршрут обробки наведено в картах КТП (див. додаток А).

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 63   |



## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі вирішена практична задача створення відцентрового насоса для перекачування води в системах водопостачання промислових і комунальних об'єктів на параметри: подача  $Q = 200 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 20 \text{ м}$ .

Основні результати роботи:

1. Проведено аналіз конструктивних схем консольних відцентрових насосів і визначена конструкція насоса типу К.
2. Виконано обґрунтування конструктивної схеми насоса і наведено опис конструкції .
3. Виконано гідравлічні розрахунки: вибрано модель робочого колеса, розраховано коефіцієнт геометричної подібності і визначені основні розміри колеса і спірального відводу; розраховані осьова і радіальна сили; проведено розрахунок насоса на кавітацію.
4. Виконано розрахунок втрат і повного ККД насоса.
5. Виконано вибір електродвигуна і побудована пускова моментна характеристика.
6. Виконано механічні розрахунки: вала на міцність, довговічності підшипників, шпонкового з'єднання вала з колесом.
7. Розглянута відповідальність власника за невиконання нормативних вимог охорони праці.
8. Розглянуто принцип розроблення мережевого графіка технічної підготовки виробництва нової техніки.
9. Розроблено технологічний процес виготовлення робочого колеса.
10. Розроблені основні креслення спроектованого насоса: монтажне креслення агрегату, складальне креслення насоса, теоретичне креслення відводу, креслення робочого колеса.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.05050205.02БР.000.00ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 64   |

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Схема відцентрового насоса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uchil.net/images/51/02/4275102.png>
2. Ломакин А. А. Центробежные и осевые насосы. – Л. : Машиностроение, 1966. – 364 с.
3. Відцентровий насос [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/Centrifugal\\_Pump\\_RU.png/220px-Centrifugal\\_Pump\\_RU.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/Centrifugal_Pump_RU.png/220px-Centrifugal_Pump_RU.png)
4. Насос типу К [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/103001-3349049.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/103001-3349049.jpg)
5. Каталог консольних насосів К [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ueck.ru/catalog/nasosy/konsolnye\\_k-item/](http://ueck.ru/catalog/nasosy/konsolnye_k-item/)
6. Консольні насоси типу К [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://electronpo.ru/konsolnie-nasosi-tipa-k>
7. Відцентровий насос типу К [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://artmar.com.pl/media/2016/08/1596010.jpeg>
8. Робоче колесо відцентрового насоса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://septik.guru/wp-content/uploads/2016/05/rabochie\\_kolesa\\_dlya\\_centrobezhnih\\_nasosov\\_foto\\_large\\_st-300x200.jpg](http://septik.guru/wp-content/uploads/2016/05/rabochie_kolesa_dlya_centrobezhnih_nasosov_foto_large_st-300x200.jpg)
9. обоче колесо відцентрового насоса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://septik.guru/vodoprovod/nasosyi/tsentrobezhnyi/rabochee-koleso.html>
10. Насоси групи ГМС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nempump.com/o-gruppe-gms-2/>
11. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. – М. : Машиностроение, 1977. – 288 с.

12. 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.
13. Лопастные насосы: справочник /В.А. Зимницкий, А.В. Каплун, А.Н. Папир, В.А. Умов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986.
14. Дунаев П. Ф Конструирование узлов и деталей машин /П. Ф Дунаев , О. П. Леликов: учебное пособие для машиностроительных вузов. – М.: Высшая школа, 1985.
15. Иванов М. Н. Детали машин: учеб. для студентов вузов /под ред. В. А. Финогенова.– 6-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.
16. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер, Б. В. Шор. – М.: Машиностроение, 1979.
17. Сітьові методи планування [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<http://buklib.net/books/29495/>
18. Тарасюк Г. М. Планування діяльності підприємства /Г. М. Тарасюк , Л. І. Шваб : навчальний посібник. – Київ: "Каравела", 2003.
19. Закон України "Про охорону праці" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.
20. Відповідальність посадових осіб і працівників за порушення законодавства про охорону праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
[http://pidruchniki.com/85762/bzhd/vidpovidalnist\\_posadovih\\_osib\\_pratsivnikov\\_p\\_Orushennya\\_zakonodavstva\\_ohoronu\\_pratsi\\_obovyazkovi\\_medichni\\_oglyadi](http://pidruchniki.com/85762/bzhd/vidpovidalnist_posadovih_osib_pratsivnikov_p_Orushennya_zakonodavstva_ohoronu_pratsi_obovyazkovi_medichni_oglyadi)
21. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навч. посібник. – К.: Вища шк. 1993. – 414 с.