

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему

**Розробка консольного насоса на  
параметри:  $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $H = 50 \text{ м}$**

зі спеціальності

**Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика**

Виконавець роботи    Нагорна Крістіна Володимирівна

---

підпис, дата

Науковий керівник    асистент, кандидат технічних наук

Ратушний Олександр Валерійович

---

підпис, дата

Суми 2018

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Технічне завдання   |    |
| Реферат   |    |
| Вступ .....   | 4  |
| 1 Загальна характеристика консольних насосів .....  | 6  |
| 2 Опис конструкції вибраного насоса .....   | 8  |
| 3 Гідравлічні розрахунки .....  | 10 |
| 3.1 Визначення основних геометричних параметрів .....   | 10 |
| 3.2 Визначення діаметра вала та втулки робочого колеса .....                                      | 13 |
| 3.4 Визначення числа лопатей та їх товщини .....  | 15 |
| 3.5 Уточнення коефіцієнта стиснення потоку .....  | 16 |
| 3.6 Визначення геометричних параметрів виходу з робочого колеса ..                                | 16 |
| 3.7 Уточнення коефіцієнта стиснення потоку на виході.....   | 19 |
| з робочого колеса .....   | 19 |
| 3.8 Проектування меридіанного перерізу робочого колеса .....                                      | 19 |
| 3.9 Методика побудови меридіанного перерізу .....   | 21 |
| 3.10 Профілювання циліндричної лопаті .....   | 23 |
| 3.11 Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції робочого колеса ..... | 27 |
| 4 Розрахунок та проектування спірального відводу .....  | 29 |
| 4.1 Розрахунок та проектування спіральної камери .....  | 29 |
| 4.1.1 Визначення діаметру початкового кола та ширини.....   | 29 |
| входу в спіраль .....   | 29 |
| 4.1.2 Нахил бокових стінок може задаватися відношенням $a/h$ .....                                | 30 |
| та кутом $\gamma$ .....   | 30 |
| 4.1.3 Визначення кута обхвату спіралі (живильної частини) $\varphi_{сп}$ .....                    | 30 |
| 4.1.4 Визначення пропускної здатності спіралі Асп. розр. ....                                     | 30 |
| 4.2 Визначення площі розрахункового перерізу .....  | 31 |
| 4.3 Визначення моменту швидкості на виході із робочого колеса.....                                | 31 |

|           |      |                 |        |      |  |                            |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|----------------------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      |  | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |                            |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.                       | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |  | 2                          | 70   |         |
| Реценз.   |      |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41               |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |                            |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |  |                            |      |         |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.4  | Визначення площі проміжних перерізів .....            | 33 |
| 4.5  | Розрахунок дифузорної частини відводу .....           | 33 |
| 5    | Визначення осьової сили, що діє на ротор насоса ..... | 36 |
| 6    | Визначення радіальної сили .....                      | 38 |
| 7    | Розрахунок насоса на кавітацію .....                  | 38 |
| 8    | Вибір кінцевого ущільнення.....                       | 40 |
| 8.1  | Вибір типу ущільнення .....                           | 40 |
| 8.2  | Розрахунок потужності, споживаної в ущільненні .....  | 41 |
| 9    | Розрахунки по вибору двигуна.....                     | 42 |
| 9.1  | Вибір двигуна .....                                   | 42 |
| 9.2  | Розрахунок пускового моменту характеристики.....      | 43 |
| 10   | Механічні розрахунки.....                             | 44 |
| 10.1 | Розрахунок реакцій в опорах .....                     | 44 |
| 10.2 | Розрахунок довговічності підшипників .....            | 46 |
| 10.3 | Розрахунок вала на статичну міцність .....            | 47 |
| 10.4 | Розрахунок шпонкового з'єднання вала з колесом .....  | 49 |
| 11   | Розділ з охорони праці .....                          | 50 |
| 12   | Економічний розділ.....                               | 53 |
| 13   | Технологічний розділ.....                             | 60 |
|      | Список використаної літератури.....                   | 67 |
|      | Додаток А (маршрутна карта) .....                     | 68 |
|      | Додаток Б (специфікація) .....                        | 72 |

|                  |             |                 |               |             |   |              |             |                |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|--------------|-------------|----------------|
|                  |             |                 |               |             | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |             |                |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |              |             |                |
| <i>Розроб.</i>   |             | Нагорна К.В.    |               |             | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та Н = 50м. | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | Ратушний О.В.   |               |             |   |              | 3           | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |             |                 |               |             |   | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             | Алексеевко Н.Г. |               |             |   |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             |                 |               |             |   |              |             |                |

## Вступ

Насосами називаються гідравлічні машини для переміщення рідин шляхом підвищення енергії робочого середовища. Насоси широко застосовуються в усіх галузях народного господарства і нафтової промисловості, в тому числі і у трубопровідному транспорті, де всі основні виробничі процеси пов'язані з переміщенням по трубопроводах різних рідин.

Створення нових галузей промисловості поставило конкретні завдання перед насособудуванням. Все це призвело до розвитку потужної бази з насособудування в нашій країні. Перед насособудівниками нашої країни стоять великі завдання зі створення насосів, які більш економічні, відрізняються малою питомою металомісткістю та високим ступенем уніфікації. Це потребує подальшого розвитку дослідницьких, технологічних і проектно конструкторських робіт у галузі насособудування.

Консольні насоси (типу К) випускають з параметрами:  $Q = 8,6 - 288 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $H = 8,7 - 110 \text{ м}$ ;  $n = 1450 - 3000 \text{ об/хв}$ . Це найбільш розповсюджена група насосів, призначена для перекачування чистих або злегка забруднених, хімічно нейтральних, не в'язких рідин з температурою до  $100^\circ\text{C}$ .

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

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

Одним із важливих параметрів насосного обладнання є коефіцієнт

швидкохідності  $n_s$ . Залежно від його величини розрізняють насоси:  $n_s > 40$  - швидкохідні,  $n_s \leq 40$  - тихохідні.

| Змн.      | Арк.    | № докум.        | Підпис  | Дата    |   |
|-----------|---------|-----------------|---------|---------|---|
|           |         |                 |         |         | 6.05050205.14.БВ.000.00.ПЗ  |
| Розроб.   | Розроб. | Розроб.         | Розроб. | Розроб. | Тема: Консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . |
| Перевір.  |         | Ратушний О.В.   |         |         | Розробка  |
| Реценз.   |         |                 |         |         | 4   |
| Н. Контр. |         | Алексеевко Н.Г. |         |         | 70  |
| Затверд.  |         |                 |         |         | СумДУ, ГМ-41  |

( $n_s$  40÷70), нормальні відцентрові ( $n_s$  70÷120), швидкохідні відцентрові ( $n_s$  120÷250), діагональні ( $n_s$  250÷500) і осьові ( $n_s$  500÷1000).

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

Кінцеве ущільнення сальникового типу, яке при необхідності можливо замінити на торцеве. Незначні осьові зусилля сприймаються кульковими підшипниками. Плаваючий підшипник зі сторони насоса сприймає тільки радіальне навантаження, а зафіксований з боку муфти кульковий підшипник – радіальне та осьове навантаження. Для врівноваження осьового зусилля в насосах потужністю більше ніж 10 кВт виконують розвантажувальні отвори в робочому колесі. Насос з електродвигуном встановлюють на загальній фундаментальній плиті та з'єднують пружною муфтою

|                  |                 |                 |               |             |  |              |             |                |
|------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|--|--------------|-------------|----------------|
|                  |                 |                 |               |             | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |             |                |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i>     | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |              |             |                |
| <i>Розроб.</i>   | Нагорна К.В.    |                 |               |             | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  | Ратушний О.В.   |                 |               |             |  |              | 5           | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |                 |                 |               |             |  | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> | Алексеевко Н.Г. |                 |               |             |  |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |                 |                 |               |             |  |              |             |                |

## 1 Загальна характеристика консольних насосів

Конструкція: насос горизонтальний, консольний з осьовим підводом перекачуваної рідини. Базовою деталлю є корпус спіральний з опорними лапами. Напірний патрубок насоса розташований вертикально вгору. Встановлення комбінованого кінцевого ущільнення суттєво знижує зовнішні витіки. Необхідна при перекачуванні кристалічних середовищ промивка насоса після зупинки здійснюється парою без його розбирання. У якості опор ротора застосовуються підшипники кочення. Змащування за вибором споживача – рідка або консистентна. Розвантаження підшипників від осьових навантажень здійснюється імпелером. Привід насоса здійснюється через з'єднувальну пружну втулково-пальцеву муфту. Напрямок обертання ротора проти годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку всмоктувального патрубку.

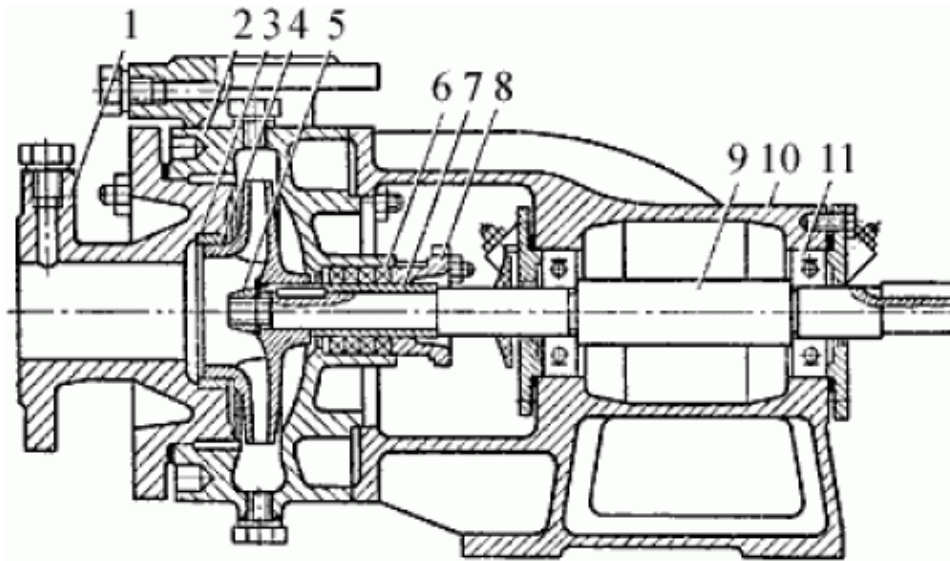
До корпусу насоса кріпиться виймальна частина, що складається з статорних та роторних деталей. До фланця кронштейна, з боку напівмуфти насоса, за допомогою болтів кріпиться стойка. За допомогою стойки та лап, виконаних на корпусі, насос кріпиться до фундаментної рами. Основною деталлю виймальної частини є кронштейн, у розточках якого встановлені підшипники кочення, які є опорами ротора насоса. Ротор насоса складається з валу, робочого колеса, імпелера, захисної гільзи, напівмуфти насоса, кріпильних та інших деталей.

У більшості випадків для перекачування води застосовуються відцентрові консольні насоси типу К. В їх ходовій частині знаходиться вал, який спирається на підшипник, на якому розташоване робоче колесо. Також він оснащений компенсаційною камерою, яка дозволяє уникнути можливих протікань при сильному напорі.

В диску робочого колеса можливі розвантажувальні отвори, службовці для урівноваження осьової сили. Вони припустимі для конструкцій потужністю 10

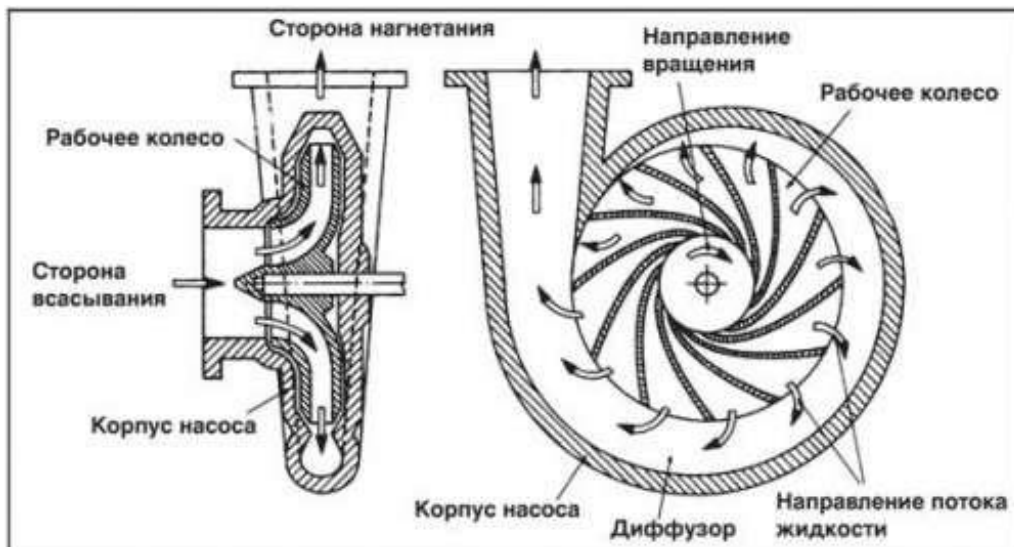
кВт і більше, так як при меншій потужності осьова сила контролюється

|           |                 |          |           |          |   |              |      |         |  |
|-----------|-----------------|----------|-----------|----------|---|--------------|------|---------|--|
|           |                 |          |           |          |   |              |      |         |  |
| Змн.      | Арк.            | № докум. | Підпис    | Дата     | 6 05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |      |         |  |
| Розроб.   | Перевір.        | Реценз.  | Н. Контр. | Затверд. | Тема:   | Літ.         | Арк. | Акрушів |  |
| Видишпник | Ратушний О.В.   |          |           |          | Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та Н = 50м. |              | 6    | 70      |  |
|           | Алексеевко Н.Г. |          |           |          |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |  |



**Рисунок 1.1** – Будова консольного насоса - 1. Кришка . 2 корпус. 3.Змінні ущільнюючі кільця. 4. Робоче колесо. 5. Гайка. 6. Сальникове набивання. 7. Змінна втулка. 8. Сальникове кришка. 9.Вал. 10. Опорний кронштейн. 11. Кульковий підшипник.

Принцип роботи консольних насосів нескладний, і визначається конструктивними особливостями.



**Рисунок 1.2** – Принцип дії консольного насоса

|                            |                 |  |        |      |
|----------------------------|-----------------|--|--------|------|
| 6.05050205.14 БР.000.00.ПЗ |                 |  |        |      |
| Змн.                       | Арк.            | № докум.   | Підпис | Дата |
| Розроб.                    | Нечипорук І.В.  | Під час включення електричного двигуна у мережу; лопаті робочого колеса починають обертання, за рахунок цього відбувається тиск і витіснення рідини. |        |      |
| Перевір.                   | Ратушний О.В.   | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та H = 50м.  |        |      |
| Реценз.                    |                 | СумДУ, ГМ-41   |        |      |
| Н. Контр.                  | Алексеевко Н.Г. |  |        |      |
| Затверд.                   |                 |  |        |      |

перекачується, тим самим вступаючи в один отвір і виходячи в інше, яке знаходиться в протилежній стороні. Обертання робочого колеса робить велике прискорення, що сприяє збільшення швидкості для перекачування рідини.

Однак занадто велике число обертів двигуна, призводить до пониження тиску всмоктувального отвору, що викликає кавітацію. Вона утворюється в процесі пароутворення з подальшою конденсацією повітря, що знаходиться в робочій рідині. Тому вибирати консольний насос потрібно з досвідченою людиною.

## 2 Опис конструкції вибраного насоса

Насос - відцентровий, горизонтальний, консольний насос, з сальниковим ущільненням валу. Призначений для перекачування води (крім морської), рідин схожих з водою по щільності, в'язкості і хімічній активності. Матеріал основних частин - сірий чавун. У насоса ущільнення валу - сальникове, з "рідким" мастилом підшипникового вузла.

Відцентрові горизонтальні консольні насоси типу К з сальниковим ущільненням валу. Корпус насоса представляє чавунний виливок, в якому виконані вхідний і вихідний патрубки, спірально-кільцевий відвід та опорні лапи.

Вхідний патрубок розташований по осі обертання, вихідний патрубок спрямований вертикально вгору і розташований в одній площині з віссю обертання. До корпусу насоса кріпиться фланець кронштейна. Кронштейн з'єднаний з корпусом ущільнення гвинтами. У корпусі ущільнення виконані отвори для подачі охолоджуючої рідини до сальникового ущільнення. При перекачуванні рідини з температурою до 333 К (60 ° С), подача затвора рідини проводиться з корпусу насоса через отвір в корпусі ущільнення (для насосів 1K80-50-200, 1K100-65-250, 1K150-125-315).

|  |      |                 |        |      |   |              |      |         |
|--|------|-----------------|--------|------|---|--------------|------|---------|
| При перекачуванні рідини температурою понад 333К (600С) подача охолоджуючої рідини проводиться від стороннього джерела |      |                 |        |      | 6.05050205 14 ВР.000.00 ГЗ  |              |      |         |
| Змн.   | Арк. | № докум.:       | Підпис | Дата | Тема:<br>Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год<br>та H = 50м. | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Розроб.  |      | Нагорна К.В.    |        |      |   |              | 8    | 70      |
| Перевір.   |      | Ратушний О.В.   |        |      |   |              |      |         |
| Реценз.  |      |                 |        |      |   |              |      |         |
| Н. Контр.  |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |   |              |      |         |
| Затверд.   |      |                 |        |      |   |              |      |         |
|  |      |                 |        |      |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |



холодної води (для насосів 1K80-65-160 і 1K100-80-160). Для насосів 1K80-50-200, 1K100-65-250 і 1K150-125-315 необхідно замінити пробки в корпусі ущільнення штуцера на довжину 30 ... 35мм (для перекриття отвору в корпусі ущільнення з боку корпус).

Робоче колесо насоса типу К - відцентрове, одностороннього входу, закритого типу. Підведення рідини до робочого колеса осьове.

Ротор насоса приводиться в обертання електродвигуном через сполучну втулично-пальцеву муфту. Опорами ротора є два підшипника, встановлені в кронштейні. Підшипники змащуються консистентним мастилом прес-солідол Ж ГОСТ1033-79. Напрямок обертання ротора - за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку приводу.

Перекачується, технічна вода ,(крім морської), а також інші рідини, подібні з водою по щільності, в'язкості і хімічній активності з рН = 6: 9, з вмістом твердих часток не більше 1% за масою і розміром не більше 0,2 мм.

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |   |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---|--------------|------|---------|
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та Н = 50м. | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |   |              | 9    | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |   |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |   |              |      |         |

### 3 Гідравлічні розрахунки

#### 3.1 Визначення основних геометричних параметрів

Вихідні дані для розрахунку:

- густина перекачуваної рідини:  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;
- подача:  $Q = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- напір:  $H = 50 \text{ м}$ ;
- частота обертання:  $n = 3000 \text{ об/хв.}$

Меридіанний переріз відцентрового робочого колеса наведений на рис. 3.1.

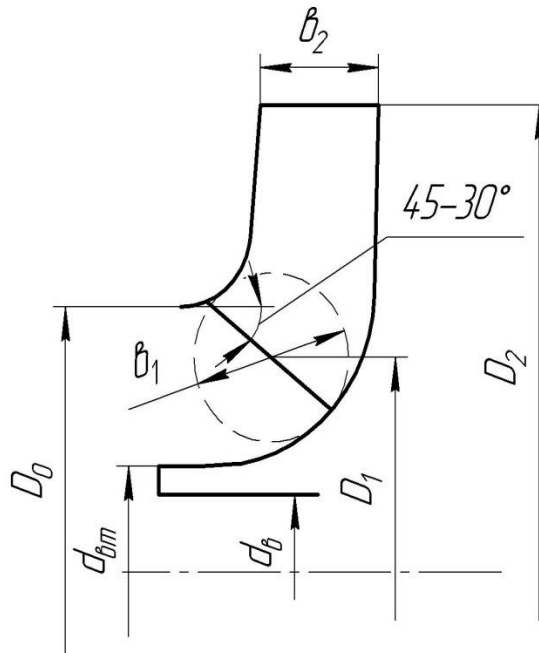


Рисунок 3.1 - Меридіанний переріз робочого колеса відцентрового насоса

Для вибору частоті обертання насоса, розрахуємо коефіцієнт швидкохідності:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}, \quad (3.1)$$

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

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

$H$  – напір насоса, м.

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| Змн.      | Арк.        | № докум.        | Підпис | Дата  |   |          |              |  |
|-----------|-------------|-----------------|--------|-------|---|----------|--------------|--|
| Розроб.   | Кісько І.С. | Нагорний І.В.   | Поток  | в дні | Тема:                                     | Розробка | Лист         |  |
| Перевір.  |             | Ратушний О.В.   |        |       | консольного насоса на                     |          | Арк.         |  |
| Реценз.   |             |                 |        |       | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ |          | Акрушів      |  |
| Н. Контр. |             | Алексеевко Н.Г. |        |       | та $H = 50\text{м.}$                      |          | 10           |  |
| Затверд.  |             |                 |        |       |   |          | 70           |  |
|           |             |                 |        |       |   |          | СумДУ, ГМ-41 |  |

При  $n = 3000$  об/хв:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 3000 \cdot \sqrt{90}}{60 \cdot 50^{\frac{3}{4}}} = 92.$$

Приведений діаметр робочого колеса визначається за формулою Суханова, мм:

$$D_{1пр} = K_{вх} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{3600 \cdot n}}, \quad (3.2)$$

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

Приймаємо  $K_{вх} = 4,0$  для проміжних ступенів насоса.

$$D_{1пр} = 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{90}{3600 \cdot 3000}} \cdot 10^3 = 81.$$

Більші значення  $e_H$  беруться для підвищення кавітаційних якостей робочого колеса, а також при малих його розмірах ( $D_{1пр} < 70$  мм).

Визначаємо повне ККД насоса:

Об'ємний ККД визначається по формулі А.А. Ломакіна:

$$\eta_0 = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot n_s^{-(2/3)}}, \quad (3.3)$$

$$\eta_0 = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 92^{-(2/3)}} = 0,968.$$

Гідравлічний ККД визначається по формулі А.А. Ломакіна:

$$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{[\lg D_{1пр} - 0,172]^2}, \quad (3.4)$$

$$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{[\lg 81 - 0,172]^2} = 0,861.$$

|           |      |                 |        |      |  |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90$ м <sup>3</sup> /год та $H = 50$ м. | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |  |              | 11   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |  |              |      |         |

Внутрішній механічний ККД визначається по формулі А.А. Ломакіна:

$$\eta_{\text{мех}'} = \frac{1}{1 + 820 \cdot n_s^{-2}}, \quad (3.5)$$

$$\eta_{\text{мех}'} = \frac{1}{1 + 820 \cdot 92^{-2}} = 0,912.$$

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

Приймаємо  $\eta_{\text{мех}} = 0,98$ .

Повний ККД насоса:

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

$$\eta = 0,968 \cdot 0,861 \cdot 0,912 \cdot 0,98 = 0,745.$$

Визначення подачі робочого колеса:

$$Q_{\text{рк}} = \frac{Q}{\eta_0}, \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{рк}} = \frac{90}{0,968} = 93 \text{ [м}^3\text{/год]}.$$

Теоретичний напір робочого колеса:

$$H_{\text{T}} = \frac{H}{\eta_{\Gamma}}, \quad (3.7)$$

$$H_{\text{T}} = \frac{50}{0,861} = 58 \text{ [м]}.$$

Потужність, споживана насосом:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta}, \quad (3.8)$$

$$1000 \cdot 9,81 \cdot 50 \cdot 90$$

$$N = \frac{90}{0,745} \cdot 3600 = 16470 \text{ [Вт]}, \quad 16,5 \text{ [кВт]}.$$

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| Змн.      | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата |  |              |      |         |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|--|--------------|------|---------|
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |          |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3\text{/год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      |  |              | 12   | 70      |
| Реценз.   |                 |          |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |          |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |                 |          |        |      |  |              |      |         |

Визначення максимальної потужності на валу насоса:

$$N_{\max} = N \cdot 1,1, \quad (3.9)$$

$$N_{\max} = 16470 \cdot 1,1 = 18117 \text{ [кВт]}.$$

### 3.2 Визначення діаметра вала та втулки робочого колеса

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

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M}{\pi \cdot [\tau]}}, \quad (3.10)$$

де  $M$  – крутний момент на валу насоса, Н м;

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

Крутний момент на валу насоса:

$$M = \frac{30 \cdot N_{\max}}{\pi \cdot n}, \quad (3.11)$$

$$M = \frac{30 \cdot 18117}{3,14 \cdot 3000} = 57,668 \text{ [Н} \cdot \text{м]}.$$

Допустиме навантаження на кручення приймаємо  $[\tau] = 150 \cdot 10^5 \text{ [Н/м}^2\text{]}.$

Отже:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 57,668}{3,14 \cdot 150 \cdot 10^5}} = 0,027 \text{ [м]}.$$

Приймаємо  $d_B = 30 \text{ [мм]}.$

Визначення діаметра втулки за формулою:

$$d_{BT} = (1.1 \div 1.4) \cdot d_B, \quad (3.12)$$

$$d_{BT} = 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ [мм]}.$$

|           |      |                                       |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |      |         |
|-----------|------|---------------------------------------|--------|------|---|------|---------|
|           |      | Приймаємо $d_{BT} = 36 \text{ [мм]}.$ |        |      |   |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.                              | Підпис | Дата | Літ.  | Арк. | Акрушіє |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.                          |        |      |   | 13   | 70      |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.                         |        |      | СумДУ, ГМ-41  |      |         |
| Реценз.   |      |                                       |        |      |   |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г.                       |        |      |   |      |         |
| Затверд.  |      |                                       |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}.$ |      |         |

### 3.3 Визначення геометричних параметрів входу у робоче колесо

Діаметр вхідної воронки робочого колеса визначається за формулою:

$$D_{1пр} = \sqrt{D_0^2 - d_{вт}^2}. \quad (3.13)$$

Тоді:

$$D_0 = \sqrt{D_{1пр}^2 + d_{вт}^2} = \sqrt{81^2 + 35^2} = 88 \text{ [мм]}.$$

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

$$V_0 = \frac{4 \cdot Q_{рк}}{3600 \cdot \pi \cdot D_{1пр}^2}, \quad (3.14)$$

$$V_0 = \frac{4 \cdot 93}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,081^2} = 5,01 \text{ [м/с]}.$$

Для підвищення анти кавітаційних властивостей вхідну кромку лопаті виконують криволінійною і виносять в вхідну воронку.

Орієнтовно приймають що  $D_1 = 0,8 \cdot D_0 = 70,4 \text{ [мм]}$ .

В першому приближенні меридіанну швидкість на вході в робоче колесо без врахування стиснення потоку лопатями приймають:

$$V_{1m'} = V_0 = 5,01 \text{ [м/с]}.$$

При вході потоку на лопать меридіанна складова абсолютної швидкості зростає:

$$V_{1m} = V_{1m'} \cdot \psi_1, \quad (3.15)$$

де  $\psi_1 = 1,15 - 1,30$  - коефіцієнт стиснення потоку на вході.

$$V_{1m} = 5,01 \cdot 1,1 = 5,511 \text{ [м/с]}.$$

Кут потоку на вході розраховується із трикутника швидкостей:

|           |                 |          |        |      |  |                       |      |         |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|--|-----------------------|------|---------|
|           |                 |          |        |      | $\beta_{1m} = \arctg \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1u}} = 6,05050205$                                       | 14 БР.000.00 ПЗ(3.16) |      |         |
| Змн.      | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата |  |                       |      |         |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |          |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.                  | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      |  |                       | 14   | 70      |
| Реценз.   |                 |          |        |      |  | СумДУ, ГМ-41          |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |          |        |      |  |                       |      |         |
| Затверд.  |                 |          |        |      |  |                       |      |         |

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

де  $U_1$  - переносна швидкість на вході в робоче колесо.

Переносна швидкість на вході в робоче колесо:

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1u}}; \quad (3.17)$$

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60}; \quad (3.18)$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,07 \cdot 3000}{60} = 11 \text{ [м/с]}.$$

Для одностороннього робочого колеса  $V_{1u} = 0$ .

Тоді:

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{5,51}{11 - 0} = 26^\circ.$$

Кут нахилу лопаті при вході в робоче колесо визначається з виразу:

$$\beta_1 = \beta_{1n} + \Delta\beta; \quad (3.19)$$

$$\beta_1 = 26 + 4 = 30^\circ.$$

Кут  $\beta_1$  повинен бути в інтервалі  $15-30^\circ$ . Кут атаки  $\Delta\beta = 3^\circ - 8^\circ$  вводиться з метою зменшення гідравлічних втрат у робочому колесі та поліпшення кавітаційних якостей.

### 3.4 Визначення числа лопатей та їх товщини

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

Товщину лопаті РК вибирають з технологічних міркувань (у залежності від матеріалу РК, його розмірів і технологічних ливарних можливостей

підприємства). Орієнтовно можна прийняти товщину лопаті на вході в РК  $S_1 =$

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

|           |      |                 |        |   |  |      |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|---|--|------|------|---------|
| Змін.     | Дак. | № докум.        | Підпис | Дата  | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ. | Арк. | Акрушів |
| 2         | 10   | [мм] при $D_2$  | 150    | 300 [мм]. Товщина лопаті на виході з РК $S_2$ |  |      | 15   | 70      |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |   |  |      |      |         |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |   |  |      |      |         |
| Реценз.   |      |                 |        |   |  |      |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |   |  |      |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |   |  |      |      |         |

СумДУ, ГМ-41

часто приймається рівною  $S_1$ , а до середини товщина лопаті плавно зростає.

Виходячи з вищевказаного, з обліком того, що матеріал РК - сталь 20X13Л ГОСТ 977-88, приймаємо товщину лопаті  $S_1 = S_2 = 3$  [мм], а число лопатей  $z = 7$ .

### 3.5 Уточнення коефіцієнта стиснення потоку

Уточнимо коефіцієнт стиснення потоку  $\psi_1$ :

$$\psi_1' = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot S_1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot \sin \beta_1}}; \quad (3.20)$$

$$\psi_1' = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1435 \cdot \sin 30}} = 1,048.$$

Знайдені значення  $\psi_1$  та  $\beta_1$  знаходяться в рекомендованих межах:

$$\beta_1 = 15 - 30^\circ; \quad \psi_1 = 1,15 - 1,3.$$

Ширина робочого колеса на вході визначається із рівняння нерозривності:

$$b_1 = \frac{Q_{рк}}{\pi \cdot D_1 \cdot V_{1m}}; \quad (3.21)$$

$$b_1 = \frac{93/3600}{3,14 \cdot 0,07 \cdot 5,51} = 0,021 \text{ [м]}.$$

### 3.6 Визначення геометричних параметрів виходу з робочого колеса

Попереднє значення зовнішнього діаметра робочого колеса  $D_2$  при ( $z = \infty$ ) може бути визначене із основного рівняння роботи лопатевих насосів Ейлера для  $V_{1u} = 0$  и  $V_{2u} = 0,5U_2$ :

$$D_2 = m_2 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{n}, \quad (3.22)$$

|                                      |      |                 |        |      |  |  |  |      |      |         |
|--------------------------------------|------|-----------------|--------|------|--|--|--|------|------|---------|
| де $m_2 = 19,1$ при $n_s \leq 100$ . |      |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |  |  |      |      |         |
| Змн.                                 | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |  |  | Літ. | Арк. | Акрушіє |
| Розроб.                              |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: $\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 50} = 0,209$ [м].<br>консольного насоса на параметри $Q = 90$ м <sup>3</sup> /год та $H = 50$ м. |  |  |      | 16   | 70      |
| Перевір.                             |      | Ратушний О.В.   |        |      |  |  |  |      |      |         |
| Реценз.                              |      |                 |        |      |  |  |  |      |      |         |
| Н. Контр.                            |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |  |  |      |      |         |
| Затверд.                             |      |                 |        |      |  |  |  |      |      |         |
|                                      |      |                 |        |      | СумДУ, ГМ-41   |  |  |      |      |         |



Кінцеве значення  $D_2$  визначається з урахуванням поправки на кінцеве число лопатей.

Меридіанна складова швидкості без урахування стиснення потоку на виході із робочого колеса:

$$V'_{2m} = (0,5 - 1,0) \cdot V_{1m}; \quad (3.23)$$

$$V'_{2m} = 0,6 \cdot 5,51 = 3,31 \text{ [м/с]}.$$

Кут на виході із робочого колеса визначається із трикутника швидкостей:

$$\beta_2 = \arcsin \left( \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{\psi_2}{\psi_1} \cdot \frac{V_{2m}}{V_{1m}} \cdot \sin \beta_1 \right), \quad (3.24)$$

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

$W_2$  - відносна швидкість на виході з робочого колеса, м/с;

$\psi_2$  - коефіцієнт стиснення потоку лопатями на виході із робочого колеса, приймається  $\psi_2 = 1,05 - 1,1$ . Приймаємо  $\psi_2 = 1,1$ .

$V_{2m}$  - меридіальна швидкість на виході із робочого колеса з врахуванням стиснення потоку лопатями,  $V_{2m} = \psi_2 \cdot V'_{2m} = 3,641 \text{ [м/с]}$ .

$$\frac{W_1}{W_2} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot n_s + 2,65;$$

$$\frac{W_1}{W_2} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot 92^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot 92 + 2,65; = 1,454.$$

Тоді:

$$\beta_2 = \arcsin \left( 1,454 \cdot \frac{1,1}{1,05} \cdot \frac{3,64}{5,51} \cdot \sin 30^\circ \right) = 25^\circ.$$

Колова швидкість на виході із робочого колеса визначається, використовуючи перетворення рівняння Ейлера, м/с:

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left( \frac{V_{2m}}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + g \cdot H_{T\infty} + V_{1u} \cdot U_1}, \quad (3.25)$$

|           |      |                 |        |                            |              |      |
|-----------|------|-----------------|--------|----------------------------|--------------|------|
|           |      |                 |        | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ |              |      |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата                       |              |      |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |                            | Літ.         | Арк. |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |                            |              | 17   |
| Реценз.   |      |                 |        |                            | Акрушів      |      |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |                            | 70           |      |
| Затверд.  |      |                 |        |                            | СумДУ, ГМ-41 |      |

Тема: Розробка консольного насоса на параметри  $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$  та  $H = 50\text{м}$ .

Теоретичний напір робочого колеса:

$$H_{T\infty} = \frac{H}{\eta_r \cdot k_z}, \quad (3.26)$$

де  $k_z$ - поправка на кінцеве число лопатей.

Поправка по Майзелю – Стодолею:

$$k_z = 1 - \frac{U_2}{V_{2u\infty}} \cdot \frac{\pi}{z} \cdot \sin \beta_2, \quad (3.27)$$

де  $V_{2u\infty}$  знаходиться з трикутника швидкостей:

$$V_{2u\infty} = U_2 - \frac{V'_{2m}}{\operatorname{tg} \beta_2} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} - \frac{V'_{2m}}{\operatorname{tg} \beta_2}, \quad (3.28)$$

$$V_{2u\infty} = \frac{3,14 \cdot 0,233 \cdot 3000}{60} - \frac{3,31}{\operatorname{tg} 25} = 29,5 \text{ [м/с]}.$$

Після підстановки отримаємо:

$$U_2 = \frac{3,64}{2 \cdot \operatorname{tg} 25} + \sqrt{\left(\frac{3,64}{2 \cdot \operatorname{tg} 25}\right)^2 + 9,81 \cdot 86 + 0 \cdot 45,08} = 33 \text{ [м/с]};$$

$$k_z = 1 - \frac{33}{29,5} \cdot \frac{3,14}{7} \cdot \sin 25 = 0,789;$$

$$H_{T\infty} = \frac{50}{0,861 \cdot 0,789} = 74 \text{ [м]}.$$

Уточнене значення зовнішнього діаметру  $D_2$ :

$$D_2 = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot n}; \quad (3.29)$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 33}{3,14 \cdot 3000} = 0,21 \text{ [м]}.$$

|                             |      |                 |        |      |  |              |      |         |
|-----------------------------|------|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
| Приймаємо $D_2 = 200$ [мм]. |      |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Змн.                        | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |              |      |         |
| Розроб.                     |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.                    |      | Ратушний О.В.   |        |      |  |              | 18   | 70      |
| Реценз.                     |      |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр.                   |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.                    |      |                 |        |      |  |              |      |         |

### 3.7 Уточнення коефіцієнта стиснення потоку на виході з робочого колеса

Уточнюємо значення  $\psi_2'$ :

$$\psi_2' = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot S_2}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot \sin \beta_2}}; \quad (3.30)$$

$$\psi_2' = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.14 \cdot 0,10 \cdot \sin 25}} = 1,1.$$

Робимо перевірку  $|\psi_2 - \psi_2'| = |1,1 - 1,1| = 0$ .

Ширина робочого колеса на виході:

$$b_2 = \frac{Q_{рк}}{\pi \cdot D_2 \cdot V_{2m}}; \quad (3.31)$$

$$b_2 = \frac{93/3600}{3,14 \cdot 0,2 \cdot 3,64} = 0,011 \text{ [м]}.$$

Приймаємо  $b_2 = 11 \text{ мм}$ .

### 3.8 Проектування меридіанного перерізу робочого колеса

Форма меридіанного перерізу лопатевого колеса залежить від положення втулки колеса. Робочі колеса відцентрових насосів можуть мати заглиблену або висунуту втулку.

Колеса із заглибленою втулкою, як правило, застосовуються у одноступінчастих насосах із консольним розміщенням колеса на валу. У таких колесах втулка не стискає вхідний переріз, і діаметр вхідної горловини  $D_0$  дорівнює приведеному діаметру входу у колесо  $D_{пр}$ .

Колеса з висунутою втулкою застосовуються у одноступінчастих та

|   |                 |        |      |  |              |      |         |
|---|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
| багатоступінчастих насосах із прохідним валом та у шнеко-відцентрових |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Зміна   | № докум.        | Підпис | Дата |  |              |      |         |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |        |      |  |              | 19   | 70      |
| Реценз.   |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр.   | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |                 |        |      |  |              |      |         |

З урахуванням конструктивних міркувань вибираємо положення втулки, намічаємо контур меридіанного перерізу колеса, керуючись при цьому такими рекомендаціями:

- контури меридіанного перерізу повинні бути плавно окресленими. Кожна зі стінок утворюється двома відрізками прямих, з'єднаних одним або декількома

радіусами (застосовувати лекальні криві не допускається, оскільки це ускладнює виготовлення робочого колеса);

- нахил стінок на виході  $\gamma_1 = \gamma_2 = 0 - 5^\circ$ . Можливі випадки  $\gamma_1 \neq \gamma_2$  (тоді  $\gamma_1 > 5^\circ$ , а  $\gamma_2 = 0$ ); обираємо окремий випадок:  $\gamma_1 > 6^\circ$ ,  $\gamma_2 = 0$ .

- при виборі окреслень стінок необхідно уникати як надмірного збільшення осьового розміру робочого колеса, так і значного його зменшення. У першому випадку матимемо нераціональне збільшення довжини, а отже, і маси колеса; у другому внаслідок малого радіуса  $R_{\Pi}$  (рис. 3.1 а) виникає небезпека відриву потоку від передньої стінки. Як правило, це  $l_1 = 0$  або  $l_1 = 0,05 \cdot D_0$ ;

$$l_1 = 0,05 \cdot 88 = 4,4 \text{ [мм]}.$$

- площа нормального перерізу проточної частини робочого колеса повинна плавно зростати від входу до виходу.

Місцеве розширення меридіанного перерізу колеса на повороті компенсує стиснення перерізу лопатями, які, як правило, починаються у цій

зоні. Зазначене розширення рекомендується виконувати головним чином за рахунок збільшення радіуса кривизни покривного диска колеса. При цьому зменшується нерівномірність розподілу швидкості на повороті, що сприяє зниженню гідравлічних втрат у колесі.

|           |      |                 |        |      |  |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |  |              | 20   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |  |              |      |         |

### 3.9 Методика побудови меридіанного перерізу

Контури меридіанного перерізу знаходимо методом послідовних наближень.

Намічаємо попередньо «на око» контури перерізу. Рекомендується при цьому орієнтуватися на існуючі робочі колеса з подібним коефіцієнтом швидкохідності.

Для того щоб з'ясувати характер зміни площі нормального перерізу проточної частини колеса для наміченого меридіанного перерізу, необхідно побудувати графік  $F=f(l)$ , де  $l$  – відстань вздовж середньої лінії меридіанного перерізу колеса від входу до виходу. При цьому робимо так: у намічений меридіанний переріз колеса вписуємо від входу до виходу 8-10 кіл. У зоні повороту потоку кола, як правило, розташовують густіше. Центр першого кола розміщується на лінії, проведеної перпендикулярно до осі колеса через точку, розміщену на відстані  $l_1$  від центра дуги радіусом  $R_{п1}$  (див. рис. 2.4 а). Центр останнього кола розміщується на лінії, що визначається зовнішнім діаметром колеса.

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

Далі обчислюємо площі нормальних перерізів:

початкового (на вході у робоче колесо):

$$F_{вх} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_{вт}^2); \quad (3.32)$$

$$F_{вх} = \frac{3,14}{4} \cdot (81^2 - 35^2) = 4191 \text{ [мм}^2\text{]}.$$

кінцевого (на виході із робочого колеса):

$$F_{вих} = \pi \cdot D_2 \cdot h_0 \quad (3.33)$$

|           |      |                 |        |      |   |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      |   |              |      |         |
|           |      |                 |        |      |   |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | $F_{вих} = 3,14 \cdot 200 \cdot 11 = 6912 \text{ [мм}^2\text{]}$<br>консольного насоса на<br>параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$<br>та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |   |              | 21   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |   |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |   |              |      |         |

проміжних:

$$F_i = 2\pi \cdot r_i \cdot b_i; \quad (3.34)$$

де  $r_i$  - розмір від осі робочого колеса до центру вписаного кола;

$b_i$  - діаметр окружності.

Величини  $r_i$  та  $b_i$  визначаються з креслення.

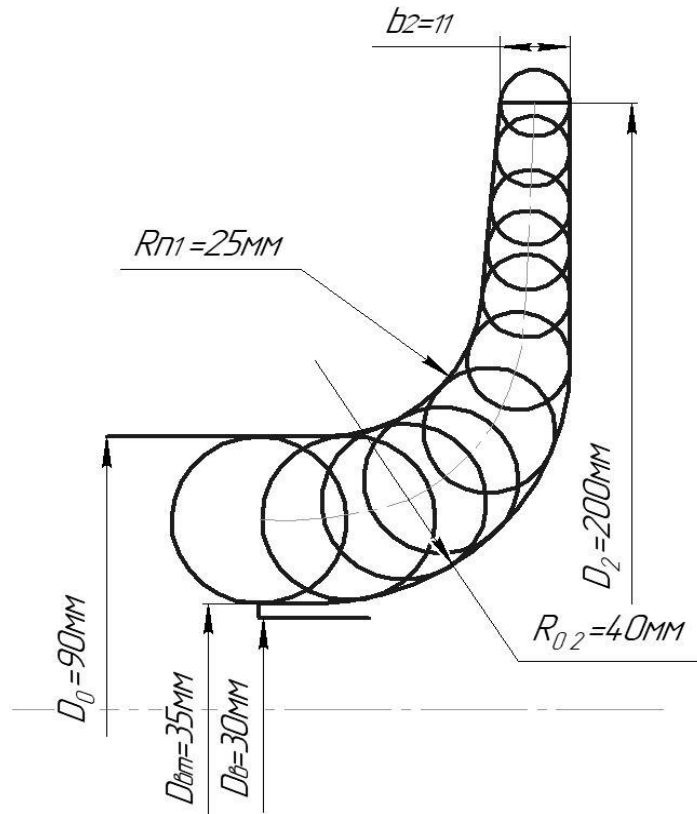


Рисунок 3.2 – Меридіанний переріз

Таблиця 1 - Результати обчислення площ нормальних перерізів

| Номер точки | $r_i$ , мм | $b_i$ , мм | $\Delta l_i$ , мм | $F_i$ , мм <sup>2</sup> |
|-------------|------------|------------|-------------------|-------------------------|
| 1           | 31,25      | 27,5       | 0                 | 5400                    |
| 2           | 31,6       | 27,2       | 14,03             | 5401                    |
| 3           | 34,3       | 25,8       | 22,72             | 5560                    |
| 4           | 37,87      | 24,2       | 28,54             | 5758                    |
| 5           | 46,1       | 20,8       | 36,05             | 5793                    |
| 6           | 57,5       | 16,2       | 40,63             | 5853                    |
| 7           | 68,25      | 13,8       | 41,84             | 5918                    |
| 8           | 75,8       | 13,1       | 42,17             | 6239                    |
| 9           | 82,8       | 12,5       | 42,48             | 6503                    |
| 10          | 92,1       | 11,7       | 42,89             | 6771                    |

|           |                 |          |        |      |                                      |        |      |        |    |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|--------------------------------------|--------|------|--------|----|
| Змн.      | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата | 6.05050205 14 БР.000.00 113          | Літ.   | 6912 | Аркуші | 70 |
| Розрб.    | Нагорна К.В.    | 100      | 11     | 100  | Тема: 11                             | Розрб. | 22   | 70     |    |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      | консольного насоса на                |        |      |        |    |
| Реценз.   |                 |          |        |      | параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год |        |      |        |    |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |          |        |      | та H = 50м.                          |        |      |        |    |
| Затверд.  |                 |          |        |      |                                      |        |      |        |    |

СумДУ, ГМ-41

### 3.10 Профілювання циліндричної лопаті

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

Профілювання лопаті здійснюється в наступній послідовності:

- будують конформну сітку на розгорненні циліндра і конформне відображення координатної сітки на поверхні струму;
- профілюють поверхні лопаті на розгорненні циліндра;
- будують меридіанний перетин поверхні лопаті на меридіанній поверхні РК і лопаті в плані.

Сітка на розгорненні циліндра, що відображає, утвориться системою вертикальних і горизонтальних ліній (меридіанів і паралелей), проведених з відстанню між ними відповідно  $\Delta S$  і  $\Delta L$ .

$$\Delta L = \frac{R_{к.ц.}}{C} = const, \quad (3.35)$$

де  $R_{к.ц.}$  - радіус конформного циліндра, приймаємо  $R_{к.ц.} = 150$  мм;

$C$  - константа, приймаємо  $C = 10$ .

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

$$\Delta S = \frac{R_{к.ц.} \cdot \pi}{180} \cdot \Delta \varphi, \quad (3.36)$$

де  $\Delta \varphi$  - кут між меридіанним перетином циліндра, що відображає,

$\Delta \varphi = 5-10^\circ$ , приймаємо  $\Delta \varphi = 10^\circ$ .

$$\Delta S = \frac{150 \cdot 3,14}{180} \cdot 10 = 26,2 \text{ [мм].}$$

|  |                 |  |  |  |      |         |
|--|-----------------|--|--|--|------|---------|
| Довжина координатної сітки в горизонтальному напрямку визначається |                 |  |  | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |      |         |
| Змінюючи об'єкт. Для підпису даної                                 |                 |  |  | Тема: Розробка   |      |         |
| контур об'єкта. Для підпису даної                                  |                 |  |  | ови координатної сітки.  |      |         |
| Розроб.  | Нагорна К.В.    |  |  | Літ.   | Арк. | Акрушів |
| Перевір.   | Маслової В.В.   |  |  |  | 23   | 70      |
| Реценз.  |                 |  |  | СумДУ, ГМ-41   |      |         |
| Н. Контр.  | Алексеевко Н.Г. |  |  |  |      |         |
| Затверд.   |                 |  |  |  |      |         |
|  |                 |  |  | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$<br>та $H = 50\text{м}$ . |      |         |

Будуємо конформне відображення на поверхні струму:

a – покриваючий диск;

c – середньовитратна лінія струму;

b – основний диск

На відрізьку  $\Delta L$  за умовами конформності:

$$\frac{r_{срi}}{\Delta l} = \frac{R_{к.ц.}}{\Delta L} = 10 = const ,$$

де  $r_{срi}$  - відстань від осі колеса до середини відрізка  $l$ .

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

- кут нахилу лопаті  $\beta$ , на кожній розрахунковій лінії струму, повинен плавно збільшуватися або зменшуватися від кута  $\beta_1$  до  $\beta_2$ ;

- ділянка поверхні лопаті поблизу виходу з РК повинна мати постійний кут обхвату  $\beta$  по кожній розрахунковій лінії струму по довжині, обумовлений на розгорненні циліндра величиною  $\delta \geq 0,5t$ , де  $t$  - лінійний крок лопатей на розгорненні циліндра, мм:

$$t = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{к.ц.}}{z}; \tag{3.37}$$

$$t = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 150}{7} = 135 \text{ [мм]}.$$

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

|           |      |                 |        |      |   |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | № 05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | $\frac{x_i}{\Delta L} = \frac{y_i}{\Delta l_i}$                                       |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та Н = 50м. | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |   |              | 24   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |   |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |   |              |      |         |



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

$y_i$  - відповідна відстань на лінії струму.

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

**Таблиця 2 – Основний диск**

|                             |      |      |      |      |     |     |     |     |     |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| №                           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   |
| $r_{ц.м.}$<br>Мм            | 143  | 129  | 117  | 106  | 96  | 87  | 79  | 72  | 66  | 60.7 |
| $\Delta l$                  | 14.3 | 12.9 | 11.7 | 10.6 | 9.6 | 8.7 | 7.9 | 7.2 | 6.6 | 6.07 |
| $\frac{r_{ц.м.}}{\Delta l}$ | 10   | 10   | 10   | 10   | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10   |

**Таблиця 3 – Покриваючий диск**

|                             |      |      |      |      |     |     |     |     |
|-----------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| №                           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8   |
| $r_{ц.м.}$<br>Мм            | 143  | 129  | 117  | 106  | 96  | 87  | 81  | 78  |
| $\Delta l$                  | 14.3 | 12.9 | 11.7 | 10.6 | 9.6 | 8.7 | 8.1 | 7.7 |
| $\frac{r_{ц.м.}}{\Delta l}$ | 10   | 10   | 10   | 10   | 10  | 10  | 10  | 10  |

**Таблиця 4 – Середня лінія**

|                  |      |      |      |      |     |     |     |     |     |
|------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| №                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $r_{ц.м.}$<br>Мм | 143  | 129  | 117  | 106  | 96  | 87  | 79  | 73  | 69  |
| $\Delta l$       | 14.3 | 12.9 | 11.7 | 10.6 | 9.6 | 8.7 | 7.9 | 7.3 | 6.9 |

|           |                 |          |        |      |   |             |    |              |      |         |  |  |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|---|-------------|----|--------------|------|---------|--|--|
|           |                 |          |        |      |   |             |    |              |      |         |  |  |
|           | $r_{ц.м.}$      | 10       | 10     | 10   | 10  | 6.105050205 | 14 | 10.000.00    | 10   | 10      |  |  |
| Змн.      | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата |   |             |    |              |      |         |  |  |
| Розроб    | Нагорна К.В.    |          |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м.}$ |             |    | Літ.         | Арк. | Акрушіє |  |  |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      |   |             |    |              | 25   | 70      |  |  |
| Реценз.   |                 |          |        |      |   |             |    | СумДУ, ГМ-41 |      |         |  |  |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |          |        |      |   |             |    |              |      |         |  |  |
| Затверд.  |                 |          |        |      |   |             |    |              |      |         |  |  |

Для прийнятого положення вхідної кромки визначаємо кути входу для кожного перерізу a,b,c.

Визначимо окружну швидкість по формулі:

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_{\text{вх}} \cdot n}{60}, \quad (3.37)$$

де  $D_{\text{вх}}$  - діаметр окружності на який лежить дана точка входу, м.

Струйка a:

$$U_{1a} = \frac{3,14 \cdot 0,095 \cdot 3000}{60} = 15 \text{ [м/с]}.$$

Струйка b:

$$U_{1b} = \frac{3,14 \cdot 0,08 \cdot 3000}{60} = 13 \text{ [м/с]}.$$

Струйка c:

$$U_{1c} = \frac{3,14 \cdot 0,059 \cdot 3000}{60} = 9,27 \text{ [м/с]}.$$

Визначаємо кут потоку на вході в РК без урахування стиснення по формулі:

$$\beta_{1n} = \arctg \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1u}}. \quad (3.38)$$

Струйка a:

$$\beta_{1na} = \arctg \frac{5,51}{15 - 0} = 20^\circ.$$

Струйка b:

$$\beta_{1nb} = \arctg \frac{5,51}{13 - 0} = 24^\circ.$$

Струйка c:

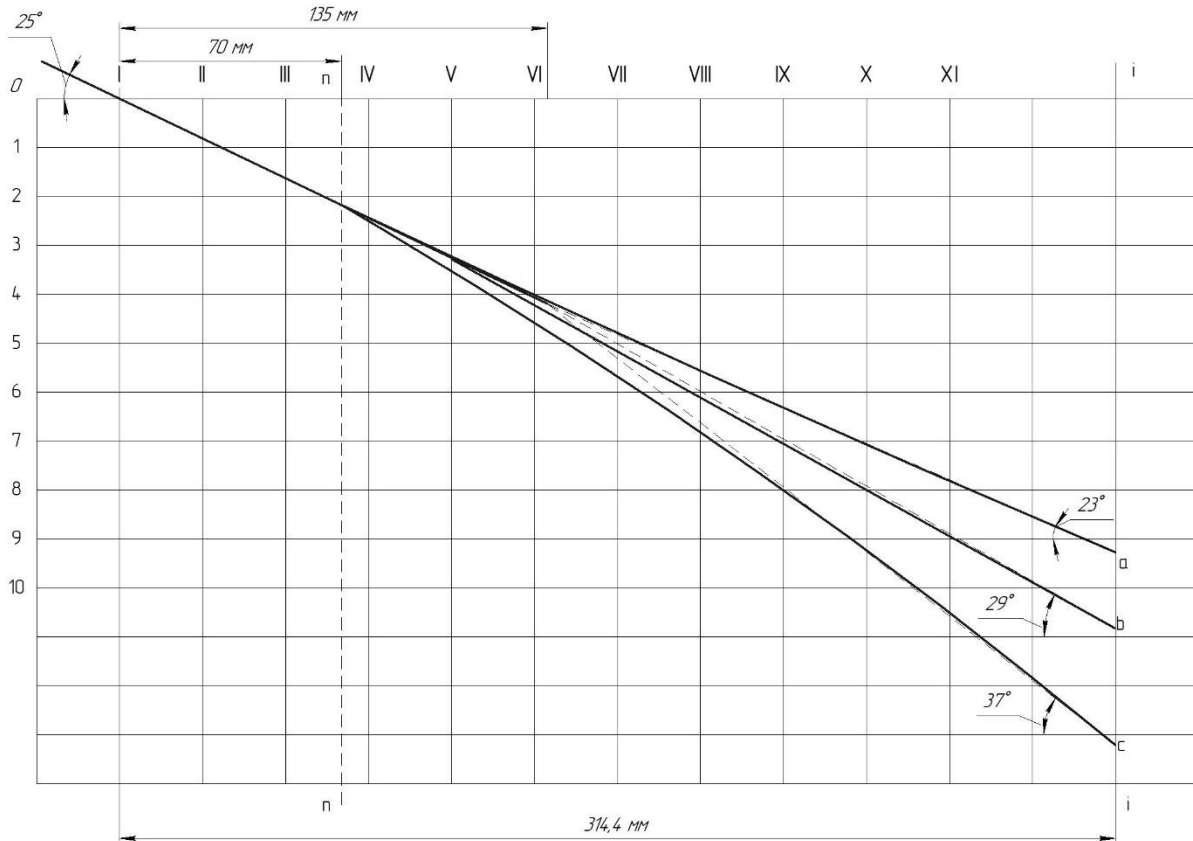
$$\beta_{1nc} = \arctg \frac{5,51}{9,27 - 0} = 30^\circ.$$

|   |                 |          |        |      |   |          |              |  |
|---|-----------------|----------|--------|------|---|----------|--------------|--|
| Знаходимо кут потоку на вході з урахуванням кута атаки: |                 |          |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ                |          |              |  |
|   |                 |          |        |      | (3.39)                                    |          |              |  |
| Змн.  | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата | $\beta_1 = \beta_{1n} + \Delta\beta;$     |          |              |  |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |          |        |      | Тема:                                     | Розробка | Літ.         |  |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      | консольного насоса на                     |          | Арк.         |  |
| Реценз.   |                 |          |        |      | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ |          | 26           |  |
| Н. Контр.   | Алексеевко Н.Г. |          |        |      | та $H = 50\text{м}$ .                     |          | Акрушів      |  |
| Затверд.  |                 |          |        |      |   |          | 70           |  |
|   |                 |          |        |      |   |          | СумДУ, ГМ-41 |  |

$$\beta_{1a} = 20 + 3 = 23^\circ;$$

$$\beta_{1b} = 24 + 5 = 29^\circ;$$

$$\beta_{1c} = 30 + 7 = 37^\circ.$$



**Рисунок 3** – Профілювання поверхні лопаті на розгортці циліндра (конформна діаграма)

### 3.11 Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції робочого колеса

Меридіанними лініями називають лінії перетину поверхні лопаті, що проходять через ось робочого колеса.

Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції здійснюється на основі конформної діаграми.

Для переносу відповідних точок з конформної діаграми на лінії току

меридіанного перерізу використовується відношення:

$$\frac{X_i}{Y_i} = \frac{\Delta L}{\Delta l_i}$$

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |   |          |              |      |         |
|------|------|----------|--------|------|---|----------|--------------|------|---------|
|      |      |          |        |      | Тема                                      | Розробка | Літ.         | Арк. | Акрушіє |
|      |      |          |        |      | консольного насоса на                     |          |              | 27   | 70      |
|      |      |          |        |      | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ |          | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
|      |      |          |        |      | та $H = 50\text{м}$ .                     |          |              |      |         |

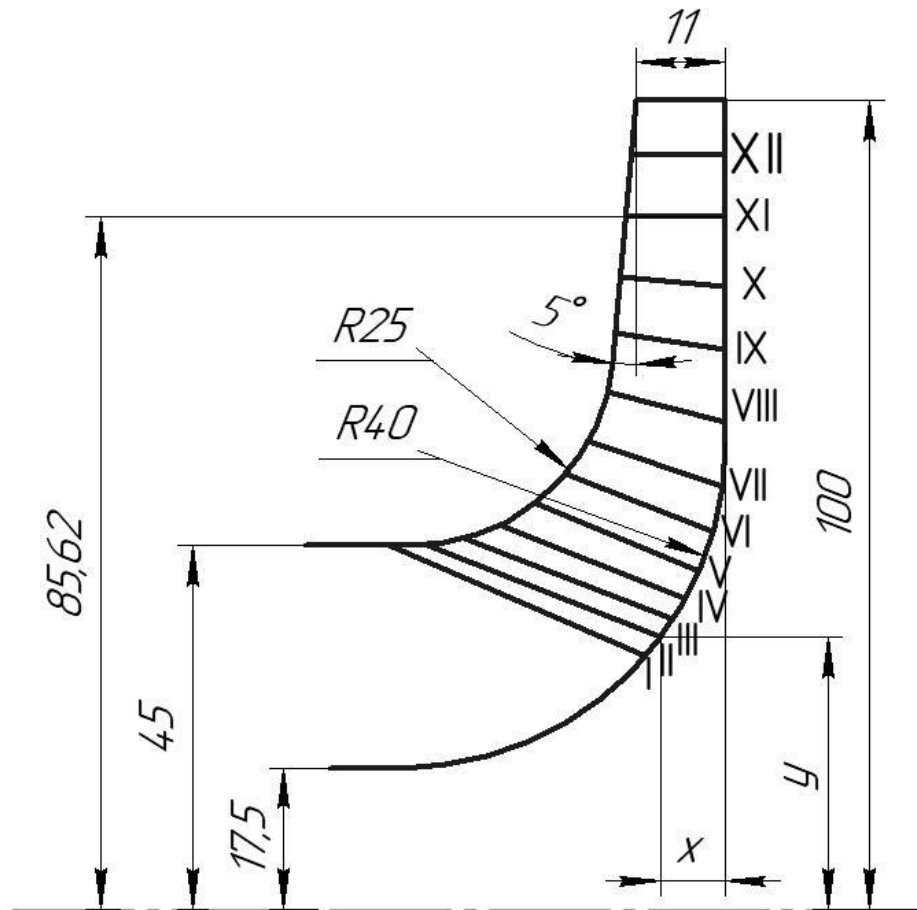


Рисунок 3.3 – Меридіанні перерізи лицьової сторони поверхні лопаті

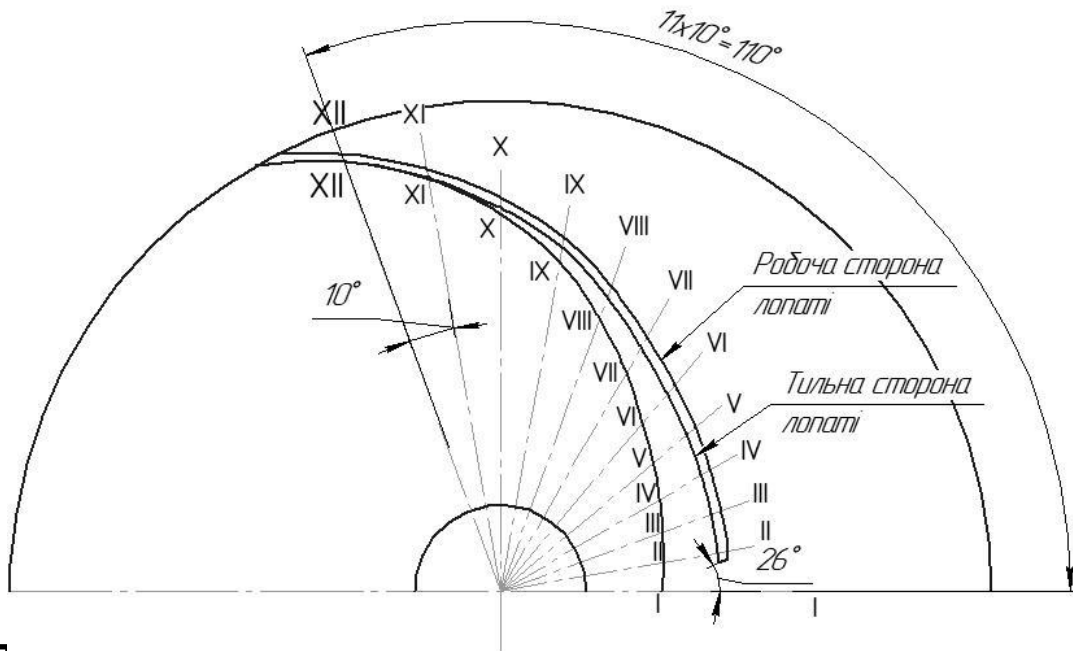


Рисунок 3.4 – Лопатка насоса 60505020514 БР.000.00 ПЗ

| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та Н = 50м. |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---|------|---------|
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Літ.  | Арк. | Акрушіє |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |   | 28   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      | СумДУ, ГМ-41  |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |   |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |   |      |         |

## 4 Розрахунок та проектування спірального відводу

### 4.1 Розрахунок та проектування спіральної камери

#### 4.1.1 Визначення діаметру початкового кола та ширини входу в спіраль

Вихідні дані для розрахунку спірального відводу:

|                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Подача насоса:              | $Q = 90$ [м <sup>3</sup> /год] |
| Напір насоса:               | $H = 50$ [м]                   |
| Частота обертів ротора:     | $n = 3000$ [об/хв]             |
| Коефіцієнта швидкохідності: | $n_s = 92$                     |
| Гідравлічний ККД:           | $\eta_r = 0,74$                |
| Зовнішній діаметр р.к:      | $D_2 = 200$ [мм]               |
| Ширина р.к. на виході:      | $b_2 = 11$ [мм]                |

Розміри  $D_3$  та  $b_3$  є постійними для спіральної камери.

Діаметр початкового кола  $D_3$  рекомендовано вибирати при умовах мінімальних гідравлічних втрат в зазорі між р.к. та відводом та мінімального рівня віброактивності насоса. Цій умові задовольняє наступний вираз для  $D_3$ :

$$R_3 = (1 + 10^{-3} \cdot n_s) \cdot R_2; \quad (4.1)$$

$$xR_3 = (1 + 10^{-3} \cdot 92) \cdot 0,10 = 0,109 \text{ [м]}.$$

Ширину входу в спіраль  $b_3$  вибирають в залежності від ширини р.к..

Для визначення  $b_3$  рекомендовані наступні залежності:

$$b_3 = m \cdot b_2, \quad (4.2)$$

|           |      |                 |        |      |  |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ             |              |      |         |
|           |      | де $m = 1,75$ . |        |      | $b_3 = 1,75 \cdot 11 = 0,19$ [м].      |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | Тема:                                  | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Розробка                               |              | 29   | 70      |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      | консольного насоса на                  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Реценз.   |      |                 |        |      | параметри $Q = 90$ м <sup>3</sup> /год |              |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      | та $H = 50$ м.                         |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |  |              |      |         |

#### 4.1.2 Нахил бокових стінок може задаватися відношенням $a/h$

та кутом  $\gamma$

$a/h = 0.2 \div 0.3$  в розрахунковому перерізі  $n_s = 50 - 60$ .

$a/h = 0.25 \div 0.4$  в розрахунковому перерізі  $n_s > 80$ .

Приймаємо  $a/h = 0.3$ . Радіус заокруглення  $r'$  рекомендують визначати з умов:

$$r' = (0,5 \dots 0,7) \cdot b_3, \quad (4.3)$$

$$r' = 0,5 \cdot 19 = 9,5 \text{ [мм]}.$$

#### 4.1.3 Визначення кута обхвату спіралі (живильної частини) $\varphi_{сп}$

Таблиця 5 – Залежність кута обхвату спіралі від коефіцієнту швидкохідності

|                        |       |       |               |         |         |         |         |         |      |
|------------------------|-------|-------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| $n_s$                  | 50-70 | 70-90 | <b>90-110</b> | 110-130 | 130-150 | 150-180 | 180-210 | 210-240 | >240 |
| $\varphi_{сп}$ , град. | 360   | 350   | <b>345</b>    | 340     | 335     | 330     | 325     | 320     | 315  |

#### 4.1.4 Визначення пропускної здатності спіралі $A_{сп.розр.}$

Пропускную здатність спіралі визначають по заданим параметрам подачі, напору та  $n$ :

$$A_{сп.розр.} = \frac{\varphi_{сп}}{360} \cdot \frac{\pi \cdot \eta_{г} \cdot n \cdot Q}{30 \cdot H \cdot g}, \quad (4.4)$$

$$A_{сп.розр.} = \frac{340}{360} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,74 \cdot 3000 \cdot 90}{30 \cdot 50 \cdot 9,81 \cdot 3600} = 0,011 \text{ [м]}.$$

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |  |              | 30   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |  |              |      |         |

## 4.2 Визначення площі розрахункового перерізу

Для визначення площі розрахункового перерізу може бути використаний графологічний метод. Розрахунок зручно виконувати в табличній формі.

В таблиці  $\Delta Q_i$  визначається по формулі:

$$\Delta Q_i = K_2 \cdot \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \cdot \Delta r_i \cdot \frac{360}{\varphi_{\text{сп}}},$$

де  $\Delta r_i = 6$  [мм].

## 4.3 Визначення моменту швидкості на виході із робочого колеса

$$K_2 = \frac{30 \cdot H \cdot g}{\pi \cdot \eta_r \cdot n}; \quad (4.5)$$

$$K_2 = \frac{30 \cdot 50 \cdot 9,81}{3,14 \cdot 0,74 \cdot 3000} = 2,11 \left[ \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right].$$

Значення переносимо з меридіанного перерізу спіралі при відповідних значеннях  $\Delta r_i = 6$  [мм]. Кінцевим для розрахунку є значення  $\sum Q_i > Q$ .

**Таблиця 6** - Побудова меридіанних перерізів спіралі.

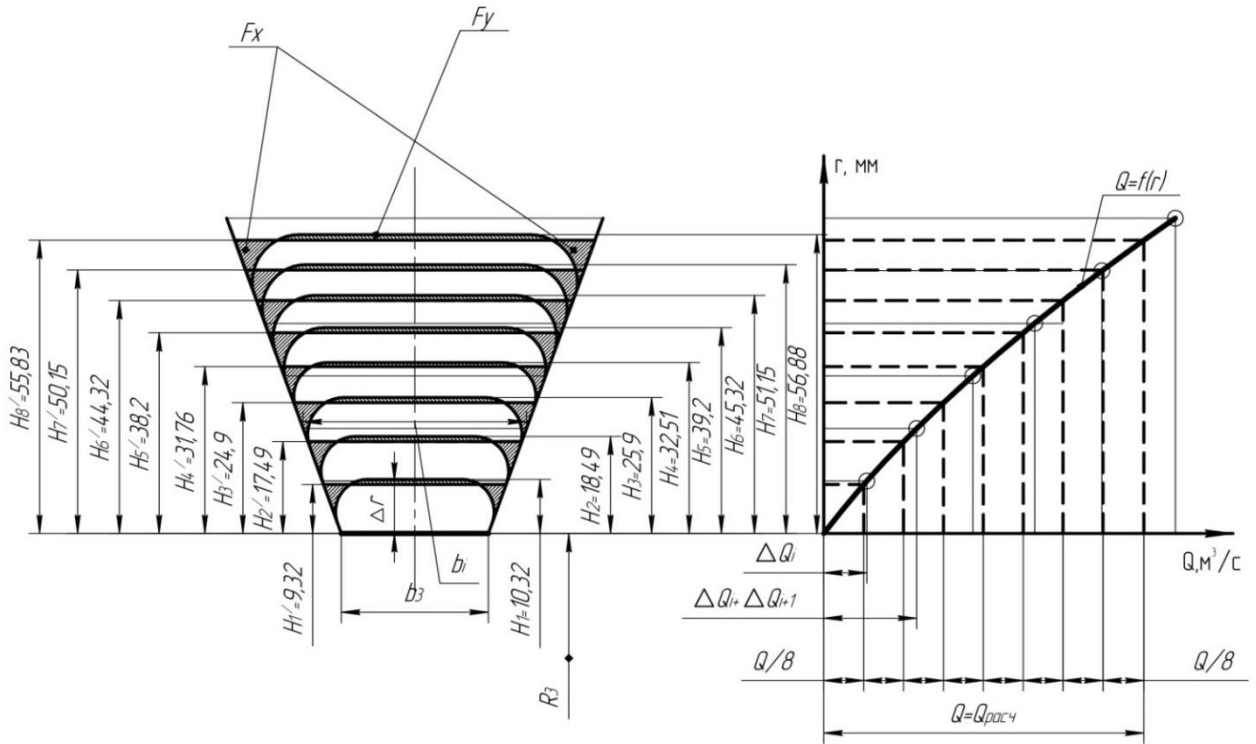
| № | $r_i$ | $b_i$ | $B_i = \frac{b_i}{r_i}$ | $\frac{B_i + B_{i+1}}{2}$ | $K_2 \cdot \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \cdot \Delta r$ | $\sum \Delta Q_i$ |
|---|-------|-------|-------------------------|---------------------------|--|-------------------|
| 1 | 161   | 28    | 0.174                   | 0.19                      | 0.008  | 0.0082            |
| 2 | 171   | 35.3  | 0.206                   |                           |  |                   |
| 3 | 181   | 42.6  | 0.235                   | 0.221                     | 0.0093   | 0.0177            |
| 4 | 191   | 49.8  | 0.261                   | 0.248                     | 0.0104   | 0.0284            |
| 5 | 201   | 57.1  | 0.284                   | 0.273                     | 0.0115   | 0.0402            |
| 6 | 211   | 64.4  | 0.305                   | 0.295                     | 0.0124   | 0.053             |
|   |       |       |                         | 0.3145                    | 0.0132   | 0.067             |

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | Літ.         | Арк. | Акрушів |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--------------|------|---------|
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      |              |      |         |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |              | 31   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |              |      |         |

Тема: Розробка консольного насоса на параметри  $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$  та  $H = 50\text{м}$ .

По табличним даним будується графік  $Q = f(r)$ . По осі  $Q$  відкладаємо  $Q = Q_{роз.}$  і радіус  $H_8$  буде відповідати розрахунковому, а площа трапеції на меридіанному перерізі - площі розрахункового перерізу  $F_{роз.}$ .



**Рисунок 4.1** – Побудова меридіональних перерізів відводу

Гострі кути трапеції з кругляємо радіусом  $r_0$  за умови забезпечення рівності статичних моментів площ  $F_x$  та  $F_y$ .

Перевірка правильності визначення  $F_{роз.}$ .

Будуємо приведену площу  $F_{роз.}$ . Критерієм правильності визначення  $F_{роз.}$  є умова:

$$(0,95 \dots 1,0) \cdot A_{сп.граф.} = A_{сп.розр.}$$

де  $A_{сп.граф.}$  - пропускну здатність, знайдена аналітичним способом.

$$(0,95 \dots 1,0) \cdot A_{сп.граф.} = A_{сп.розр.} = \frac{F_{пр}}{\rho}$$

|           |         |                 |        |      |   |              |         |
|-----------|---------|-----------------|--------|------|---|--------------|---------|
|           |         |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ                |              |         |
| Змн.      | Арк.    | № докум.        | Підпис | Дата | Для простоти побудови приймемо            |              |         |
| Розроб.   | Арк. №3 | Нагорня К.В.    |        |      | Тема:                                     | Розробка     | Літ.    |
| Перевір.  |         | Ратушний О.В.   |        |      | консольного насоса на                     |              | Арк.    |
| Реценз.   |         |                 |        |      | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ |              | Акрушів |
| Н. Контр. |         | Алексеевко Н.Г. |        |      | та $H = 50\text{м.}$                      | СумДУ, ГМ-41 |         |
| Затверд.  |         |                 |        |      |   |              |         |



$F_{пр} = 2265,14 \text{ [мм}^2\text{]}$  – приведена площа.

Тоді:

$$A_{сп.розр.} = \frac{2265,14}{161} = 14,06 \text{ [мм]} = 0,01406 \text{ [м]}.$$

Тоді

$$\frac{A_{сп.розр.}}{A_{сп.граф.}} = \frac{0,01406}{0,0141} = 0,997.$$

Можна зробити висновок, що площа розрахункового перерізу визначена вірно.

#### 4.4 Визначення площі проміжних перерізів

Площа проміжних перерізів визначається графічним способом, використовуючи графік  $Q = f(r)$ . Для цієї ділянки прямої осі від до ділимо на 8 рівних частин, а потім побудовою отримуємо відповідні проміжні перерізи трапеції.

#### 4.5 Розрахунок дифузорної частини відводу

$$D_{вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_{вих}}}, \quad (4.6)$$

де  $V_{вих} = 2 - 8 \text{ [м/с]}$  - середня швидкість в напірному патрубку.

Приймаємо  $V_{вих} = 5 \text{ [м/с]}$ , тоді:

$$D_{вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 90}{3,14 \cdot 5 \cdot 3600}} = 0,092 \text{ [м]}.$$

Згідно рекомендацій корегуємо  $D_{вих}$  згідно рекомендацій та приймаємо

$D_{вих} = 100 \text{ мм}$

|           |                 |          |        |      |  |      |         |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|--|------|---------|
|           |                 |          |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |      |         |
| Змн.      | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата |  |      |         |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |          |        |      | Літ.   | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      |  | 33   | 70      |
| Реценз.   |                 |          |        |      | СумДУ, ГМ-41   |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |          |        |      |  |      |         |
| Затверд.  |                 |          |        |      |  |      |         |
|           |                 |          |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . |      |         |

Довжина дифузора повинна знаходитись з умов мінімальних гідравлічних втрат:

$$\varepsilon_{\text{опт}} = 2 \cdot \arctg \left( \frac{D_{\text{вих}} - d_{\text{екв}}}{2 \cdot L} \right), \quad (4.7)$$

де  $\varepsilon_{\text{опт}} = 8 \dots 10^\circ$  – кут конусності дифузора. Приймаємо  $\varepsilon_{\text{опт}} = 9^\circ$ ;

$d_{\text{екв}}$  – еквівалентний діаметр розрахункового переізу.

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{роз}}}{\pi \cdot V_{\text{вих}}}}; \quad (4.8)$$

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0024}{3,14 \cdot 2}} = 0,045[\text{м}].$$

Тоді довжина дифузора дорівнює:

$$L = \frac{D_{\text{вих}} - d_{\text{екв}}}{2 \cdot \text{tg} \left( \frac{\varepsilon_{\text{опт}}}{2} \right)}; \quad (4.9)$$

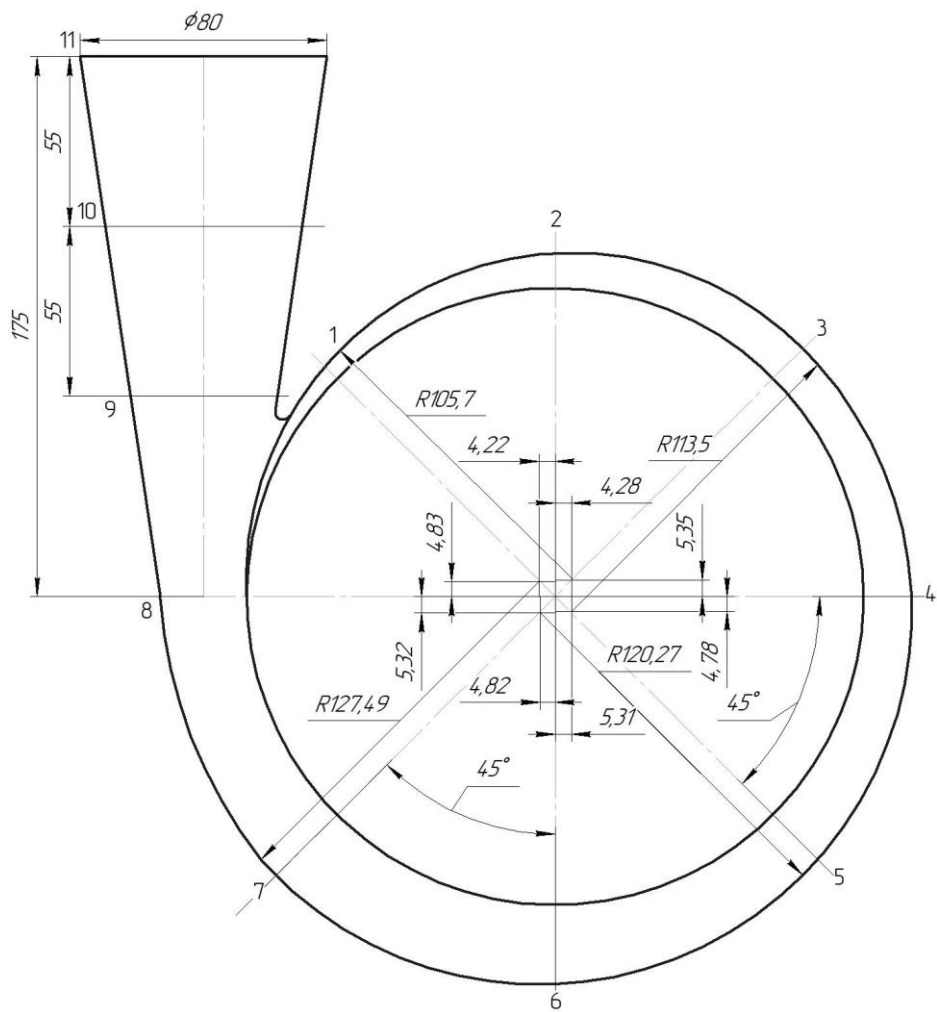
$$L = \frac{0,1 - 0,045}{2 \cdot \text{tg} \left( \frac{9}{2} \right)} = 0,342[\text{м}].$$

Приймаємо  $L = 0,340[\text{м}]$ .

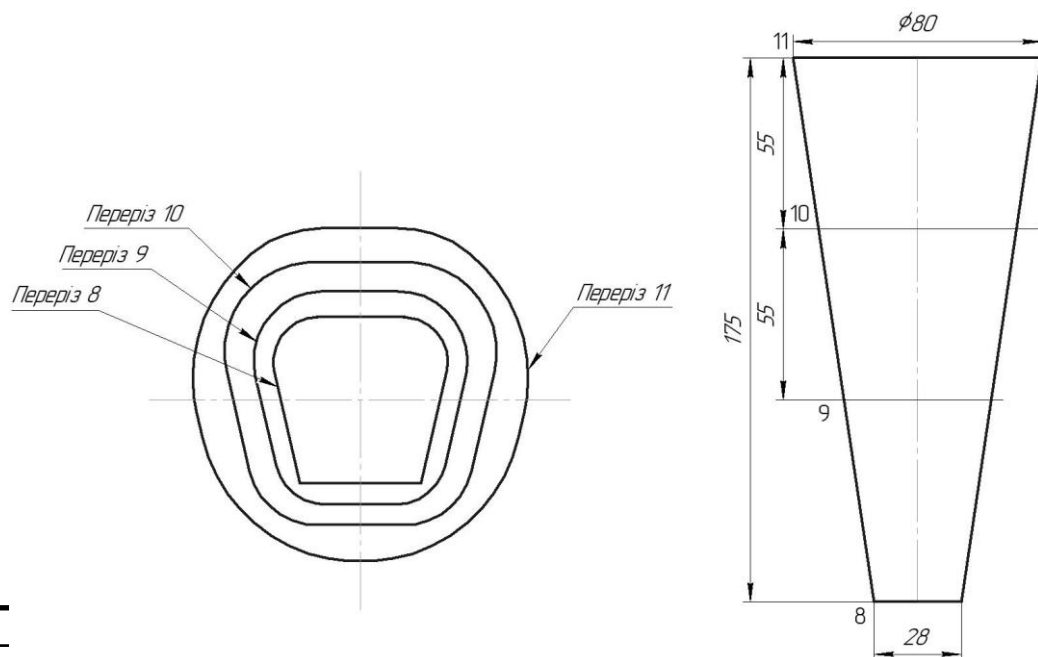
#### 4.6 Побудова плану спіралі

План спіралі будується за такою послідовністю: від початку кола відкладають відповідні висоти, отримані точки з'єднують дугами різних радіусів, дуга кожного радіусу повинна без перегинів спрягатися з дугою наступного.

|           |                 |          |        |      |   |              |      |         |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|---|--------------|------|---------|
|           |                 |          |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |      |         |
| Змн.      | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата |   |              |      |         |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |          |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та H = 50м. | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      |   |              | 34   | 70      |
| Реценз.   |                 |          |        |      |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |          |        |      |   |              |      |         |
| Затверд.  |                 |          |        |      |   |              |      |         |



**Рисунок 4.2 – План спірального відводу**



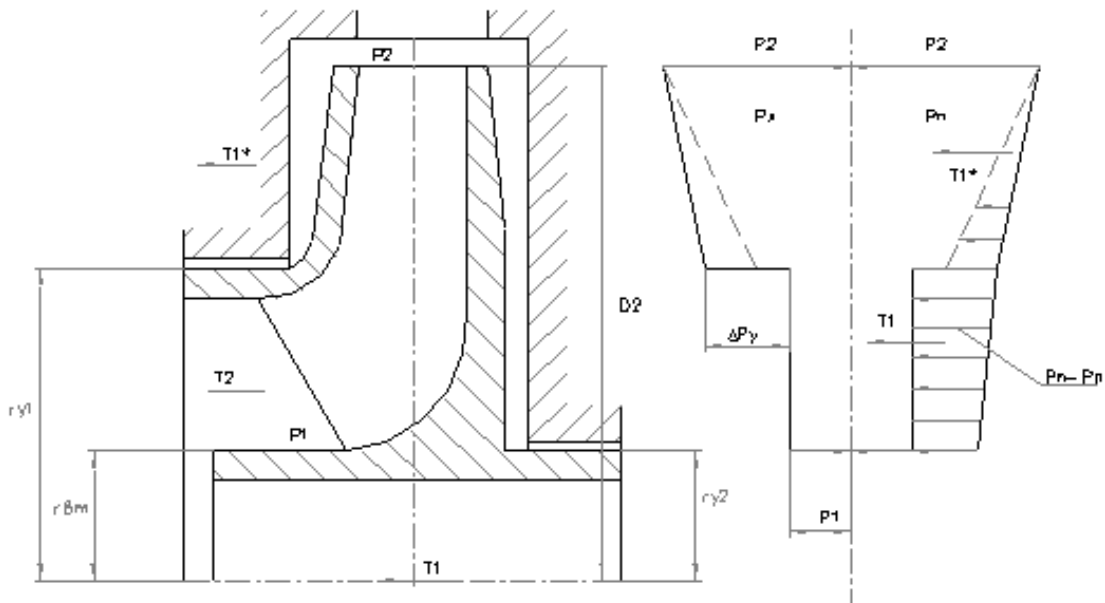
**Рисунок 4.3 – Дифузорна частина відводу**

|           |                 |          |        |      |  |              |      |         |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|--|--------------|------|---------|
| Змн.      | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |          |        |      |  |              | 35   | 70      |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Реценз.   |                 |          |        |      |  |              |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |          |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |                 |          |        |      |  |              |      |         |

## 5 Визначення осьової сили, що діє на ротор насоса

Осьова гідравлічна сила складається з суми неврівноважених сил, діючих на ротор насоса в осьовому напрямку.

При роботі відцентрового насоса на його ротор діє складна система сил, серед яких є і осьова сила, що виникає внаслідок порушення симетрії робочих коліс відносно площини, перпендикулярної осі ротору насоса. Епюра розподілення тисків в пазухах робочого колеса приведені на рис.5.1.



**Рисунок 5.1** – Схема дії осьових сил в закритому робочому колесі

При нормальній роботі ущільнень, рідина обертається в обох пазухах як тверде тіло з кутовою швидкістю рівною половині кутової швидкості  $\omega_{ж}$  робочого колеса  $\omega$ , та розподілення тиску по радіусам дисків описується параболічним законом, а осьова сила направлена в сторону всмоктування.

При аварійному зношуванні ущільнення виникає додаткова осьова сила  $T_1^*$ , направлена в бік всмоктування. Ця сила буде дорівнювати.

$$T_1^* = \pi \cdot (r_2^2 - r_{y1}^2) \cdot \gamma \cdot \frac{u_2^2}{8 \cdot g} \cdot \left( \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_{y1}^2} \cdot \ln \frac{r_2^2}{r_{y1}^2} + \frac{r_2^2 + r_{y1}^2}{2 \cdot r_2^2} - 2 \right). \quad (5.1)$$

З креслення робочого колеса:  $r_{y1}^2 = 0,096$  м;  $r_2 = 0,2$  м.

Зм  
Рс  
Пл  
Рс

Н. Контр. Алексеевко Н.Г. параметри  $Q = 90$  м<sup>3</sup>/год  
Затверд. та  $H = 50$ м.

СумДУ, ГМ-41

Окружна швидкість на виході робочого колеса:

$$u_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60}; \quad (5.2)$$

$$u_2 = \frac{3,14 \cdot 0,2 \cdot 3000}{60} = 31,4 \text{ [ м/с];}$$

$$T_1^* = 3,14 \cdot (0,2^2 - 0,096^2) \cdot 9810 \cdot \frac{31,4^2}{8 \cdot 9,81} \cdot \left( \frac{0,2^2}{0,2^2 - 0,096^2} \cdot \ln \frac{0,2^2}{0,096^2} + \frac{0,2^2 + 0,096^2}{2 \cdot 0,2^2} - 2 \right) = 625,1 \text{ [Н]}$$

По вісі насоса також діє сила  $T_2$ , обумовлена натіканням потоку на рідину, а також зміною осьового напрямку його руху на радіальне.

Сила  $T_2$  дорівнює :

$$T_2 = V \cdot \frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot v_0, \quad (5.3)$$

де  $V = 1$  – для радіальних коліс;

$v_0 = 5,01$  – швидкість на виході в робоче колесо, м/с.

$$T_2 = \frac{9810 \cdot 90 \cdot 5,01}{3600 \cdot 9,81} = 125,2 \text{ [Н]}.$$

Сумарна осьова сила, що діє на робоче колесо:

$$T = T_1^* - T_2; \quad (5.4)$$

$$T = 625,1 - 125,2 = 500 \text{ [Н]}.$$

Зм

|           |                 |  |  |   |               |  |              |  |    |
|-----------|-----------------|--|--|---|---------------|--|--------------|--|----|
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |  |  | Тема:                                     | Конструювання |  |              |  |    |
| Реценз.   |                 |  |  | консольного насоса на                     |               |  | 37           |  | 70 |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |  |  | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ |               |  | СумДУ, ГМ-41 |  |    |
| Затверд.  |                 |  |  | та $H = 50\text{м}$ .                     |               |  |              |  |    |

## 6 Визначення радіальної сили

Для визначення сили в відцентровому насосі зі спіральним відводом використовуємо формулу:

$$R = K_R \cdot \left(1 - \left(\frac{Q}{Q_{\text{опт}}}\right)^2\right) \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot D_2 \cdot b_2, \quad (6.1)$$

де  $K_R$  – безрозмірний коефіцієнт радіальної сили;

$D_2 = 0,200$  м – зовнішній діаметр робочого колеса;

$b_2 = 0,011$  м – ширина колеса на виході, що включає в себе товщину його дисків.

Коефіцієнт  $K_R$  залежить від  $n_s$ . При  $n_s = 92$ ,  $K_R = 0,23$ .

Максимальна сила буде на режимі  $Q = 0$ .

$$R = 0,23 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 50 \cdot 0,2 \cdot 0,011 = 248 \text{ [Н]}.$$

## 7 Розрахунок насоса на кавітацію

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

Мінімальний кавітаційний запас визначаємо за формулою:

$$\Delta h = \lambda_1 \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g} + \lambda_2 \cdot \frac{W_1^2}{2 \cdot g}, \quad (7.1)$$

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

$v_0$  – середня абсолютна швидкість при вході потоку в колесо;

$W$  – середня відносна швидкість при вході потоку на лопаті насоса.

Для насосів при без ударному вході на лопаті колеса коефіцієнти

$\lambda_1$  та  $\lambda_2$  приймаємо:

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

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|  |  |

Змн. Аг...  
Розроб. Швидкість  $v_0 = 5,01 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

|           |                 |  |  |   |  |  |              |
|-----------|-----------------|--|--|---|--|--|--------------|
| Перевір.  |                 |  |  | консольного насоса на                     |  |  |              |
| Реценз.   |                 |  |  | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ |  |  |              |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |  |  | та $H = 50\text{м}$ .                     |  |  |              |
| Затверд.  |                 |  |  |   |  |  | СумДУ, ГМ-41 |

Відносна швидкість на вході:

$$W_1 = \sqrt{U_1^2 \cdot v_{m1}^2}, \quad (7.2)$$

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

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

Окружна швидкість на вході колеса:

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60}, \quad (7.3)$$

де  $D_1$  – діаметр середньої точки на вході в колесо.

$$D_1 = 0,8D_0;$$

$$D_1 = 0,8 \cdot 0,088 = 0,07 \text{ [м];}$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,07 \cdot 3000}{60} = 11 \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right].$$

Меридіональна складова абсолютної швидкості  $v_{m1}$ :

$$v_{m1} = \psi_1 \cdot v_0, \quad (7.4)$$

де  $\psi_1 = 1,15 - 1,3$  – коефіцієнт стиснення на вході в колесо.

При  $\psi_1 = 1,15$ :

$$v_{m1} = 1,15 \cdot 5,01 = 5,76 \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right];$$

$$W_1 = \sqrt{11^2 + 5,76^2} = 12,42 \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right].$$

Кавітаційний запас:

$$\Delta h = 1,2 \cdot \frac{5,01^2}{2 \cdot 9,81} + 0,3 \frac{12,42^2}{2 \cdot 9,81} = 3,89 \text{ [м].}$$

Кавітаційний коефіцієнт швидкохідності:

$$C = \frac{5,62 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{\Delta h^{\frac{3}{4}}}; \quad (7.5)$$

$$C = \frac{5,62 \cdot 3000 \cdot \sqrt{90}}{60 \cdot 3,89^{\frac{3}{4}}} = 962.$$

60 · 3,89<sup>3/4</sup> = 6095050205 14 БР.000.00 ПЗ

| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | Лит.         |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--------------|------|---------|
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Лит.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |              | 39   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |              |      |         |

Отримане розрахункове значення  $C = 962$  показує, що насос має хороші

Тема: Розробка

консольного насоса на

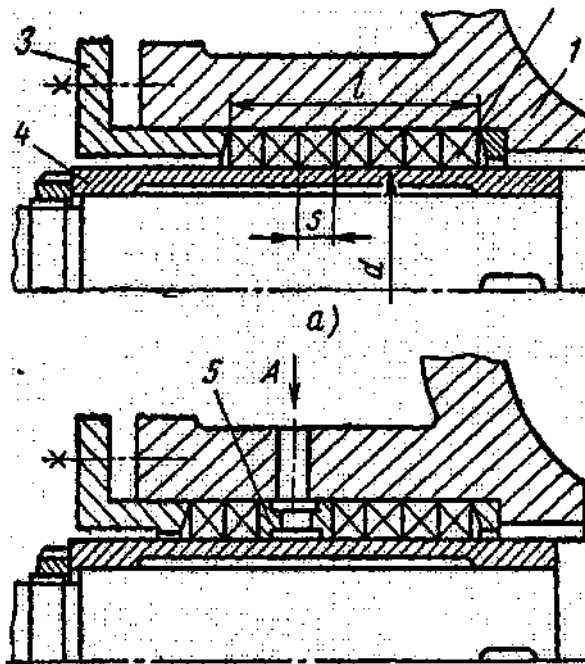
параметри  $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$

та  $H = 50\text{м}$ .

## 8 Вибір кінцевого ущільнення

### 8.1 Вибір типу ущільнення

Для розробленої конструкції насоса в якості кінцевого ущільнення вала застосоване сальникове ущільнення (рис. 8.1).



**Рисунок 8.1** – Конструкція сальникового ущільнення.

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

З метою захисту сальникового ущільнення від зносу у вузол ущільнення подається затворна рідина під тиском, перевищуючи тиск на виході з насоса на 0,5 МПа. В якості затворної рідини використовується технічно чиста вода з температурою не вище 40°C. Витрати води, яка подається в сальник 0,01м<sup>3</sup>/год. Згідно товщина кільця набивки:

$$s = \sqrt{d}, \quad (8.1)$$

|  |                 |   |        |         |
|--|-----------------|---|--------|---------|
|  | де d – діаметр  | вала в місці набивання сальника, $d = d_{\text{вт}} + 5 = 35 + 5 =$ |        |         |
|  |                 | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |        |         |
| Змй.   | Арж.            | № докум.  | Підпис | Дата    |
| Розроб.  | Нагорна К.В.    |   |        |         |
| Перевір.   | Ратушний О.В.   |   |        |         |
| Реценз.  |                 |   |        |         |
| Н. Контр.  | Алексеевко Н.Г. |   |        |         |
| Затверд.   |                 |   |        |         |
| Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . |                 | Літ.  | Арк.   | Акрушів |
|  |                 |   | 40     | 70      |
| СумДУ, ГМ-41   |                 |   |        |         |



$$S = \sqrt{40} = 6,3 \text{ [мм]}.$$

Приймаємо  $S = 8 \text{ мм}$ .

Довжина сальникового ущільнення дорівнює:

$$L = i \cdot S, \quad (8.2)$$

де  $i$  – кількість кілець набивки, шт. ( $i = 5$  шт);

$S$  – товщина кільця набивки.

$$L = 5 \cdot 8 = 40 \text{ [мм]}.$$

Згідно з ГОСТ 5152-84 обираємо сальникову набивку АГИ 12х12.

## 8.2 Розрахунок потужності, споживаної в ущільненні

Визначимо втрати потужності в сальнику:

$$N_c = 3,22 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot r^2 \cdot s \cdot \sigma_0 \cdot \left(1 - e^{-2af\frac{l}{s}}\right), \quad (8.3)$$

де  $r$  – радіус натискної втулки, см.

$$r = \frac{d}{2} = 3,5 \text{ [см]},$$

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

$\sigma$  – контактне напруження між набивкою і валом, кг/см<sup>2</sup>;

$l$  – довжина пакета сальникової набивки;

$a = 0,5$  коефіцієнт;

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

Контактне напруження:

$$\sigma_0 = P_0 \cdot e^{2af\frac{l}{s}}, \quad (8.4)$$

де  $l$  – довжина пакета ( $l = 4,8 \text{ см}$ );

|           |                 |  |  |  |                            |      |         |
|-----------|-----------------|--|--|--|----------------------------|------|---------|
|           |                 | $f = 0,05$ – коефіцієнт тертя;                       |  |  | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ |      |         |
|           |                 |  |  |  |                            |      |         |
| Змн.      | Арк.            | Довжина кільця набивки, см ( $S = 1,2 \text{ см}$ ); |  |  |                            |      |         |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |  |  | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.                       | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |  |  |  |                            | 41   | 70      |
| Реценз.   |                 |  |  |  | СумДУ, ГМ-41               |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |  |  |  |                            |      |         |
| Затверд.  |                 |  |  |  |                            |      |         |

$P_0$  – тиск на вході в насос ( $P_0 = 1,5 \text{ кг/см}^2$ ).

$$N_c = 3,22 \cdot 10^{-5} \cdot 3000 \cdot 3,5^2 \cdot 1,2 \cdot 1,83 \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot 0,5 \cdot 0,05 \frac{4,8}{1,2}}\right) = 0,48 \text{ [кВт]}.$$

## 9 Розрахунки по вибору двигуна

### 9.1 Вибір двигуна

Потужність насоса в номінальному режимі при густині рідини

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ :

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta}; \quad (9.1)$$

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 90 \cdot 50}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,745} = 16,5 \text{ [кВт]}.$$

$\eta = 0,745$  – к.к.д. насоса в робочій точці.

Потужність електродвигуна:

$$N_{ед} = K \cdot N, \quad (9.2)$$

де  $K = 1,1-1,3$  – коефіцієнт, що враховує допустиме граничне відхилення напору.

Приймаємо  $K = 1,1$ .

$$N_{ед} = 1,1 \cdot 16,5 = 18,15 \text{ [кВт]}.$$

Для привода насоса обираємо електродвигун 4А160М2У3 з параметрами:

Потужність – 18,5 кВт;

Напруга – 380/360 В;

Частота обертання (синхронна) – 3000 об/хв.

|                  |             |                 |               |             |   |              |             |                |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|--------------|-------------|----------------|
|                  |             |                 |               |             | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |             |                |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |              |             |                |
| <i>Розроб.</i>   |             | Нагорна К.В.    |               |             | Тема: Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$<br>та $H = 50\text{м}$ . | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушіє</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | Ратушний О.В.   |               |             |   |              | 42          | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |             |                 |               |             |   | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             | Алексеевко Н.Г. |               |             |   |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             |                 |               |             |   |              |             |                |

## 9.2 Розрахунок пускового моменту характеристики

Залежність моменту опору ротора насоса від частоти обертання при пуску насоса являє собою параболу:

$$M = K \cdot n^2, \quad (9.3)$$

де  $K$  – коефіцієнт параболи;

$n$  – частота обертання ротора об/хв.

Графік залежності моменту опору будується за трьома точками:

Початкового моменту рушання;

Мінімального моменту опору агрегату (точка С);

Повного розвороту електродвигуна ( $n = 3000$  об/хв.).

В початковий момент часу при  $n = 0$ :

$$M_0 = 0,21 \cdot M_{\text{НОМ}}, \quad (9.4)$$

де  $M_{\text{НОМ}}$  – момент електродвигуна.

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{N_{\text{ед}}}{\omega}, \quad (9.5)$$

де  $N_{\text{ед}} = 18,15$  кВт - номінальна потужність двигуна.

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{18,15}{314} = 0,06 = 60 \text{ [Нм]};$$

$$M_0 = 0,21 \cdot 60 = 12,6 \text{ [Нм]}.$$

Момент опору агрегату при повному розвороті електродвигуна.

Максимальний момент опору:

$$M_{\text{max}} = \frac{N_{\text{max}}}{\omega}, \quad (9.6)$$

де  $N_{\text{max}}$  - максимальна потужність насоса.

$$N_{\text{max}} = N_{\text{ед}} = 18,15 \text{ [кВт]};$$

$$M_{\text{max}} = \frac{18,15}{314} = 0,0578 \text{ кНм} = 57,8 \text{ [Нм]}.$$

Мінімальному моменту опору відповідає точка «С» з координатами:

|           |      |                 |        |   |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|---|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        | $n_c = 0,2 \cdot n$ ; та $M_c = 0,02 \cdot M_{\text{max}} = 0,000,00 \text{ ПЗ}$  |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис |   |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        | $n_c = 0,2 \cdot 3000 = 600 \left[ \frac{\text{об}}{\text{хв}} \right]$ ; обка<br>консольного насоса на<br>параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$<br>та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |   |              | 43   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |   |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |   |              |      |         |

$$M_c = 0,02 \cdot 57,8 = 1,156 \text{ [Нм]}.$$

Коефіцієнт параболи визначається за величиною моменту при повному розвороті двигуна:

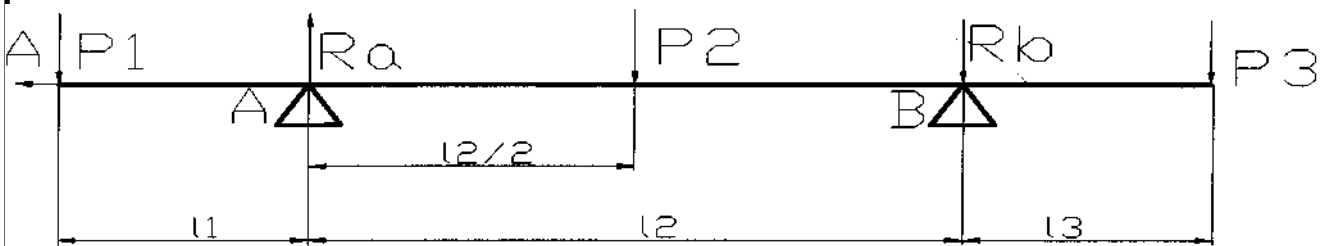
$$K = \frac{M_{max}}{n^2}; \quad (9.7)$$

$$K = \frac{57,8}{(3000)^2} = 6,422 \cdot 10^{-6}.$$

## 10 Механічні розрахунки

### 10.1 Розрахунок реакцій в опорах

Розрахункова схема дії сил на ротор насоса представлена на рисунку 10.1:



**Рисунок 10.1** – Схема навантаження вала

Навантаження  $P_1$  визначається за формулою:

$$P_1 = G_k + \frac{1}{3} \cdot G_{1в} + R, \quad (10.1)$$

де  $G_k = 27 \text{ Н}$  – вага робочого колеса, Н;

$G_{1в} = 15 \text{ Н}$  – вага вала на ділянці  $l_1$ , Н;

$R = 248 \text{ Н}$  – радіальна сила, Н.

$$P_1 = 27 + \frac{1}{3} \cdot 15 + 248 = 280 \text{ [Н]}.$$

Навантаження  $P_2$ :

$$P_2 = \frac{1}{3} \cdot G_{2в}, \quad (10.2)$$

де  $G_{2в} = 19 \text{ Н}$  – вага вала на ділянці  $l_2$ , Н.

|           |                 |    |   |              |      |         |
|-----------|-----------------|----|---|--------------|------|---------|
| Змн.      | Арк.            | де | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ                | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |    | Тема:                                     | Розробка     |      |         |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |    | консольного насоса на                     |              | 44   | 70      |
| Реценз.   |                 |    | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |    | та $H = 50\text{м}$ .                     |              |      |         |
| Затверд.  |                 |    |   |              |      |         |

$$P_2 = \frac{1}{3} \cdot 19 = 6 \text{ [Н]}.$$

Навантаження  $P_3$ :

$$P_3 = G_{\text{ПМ}} + \frac{1}{3} \cdot G_{\text{ЗВ}}, \quad (10.3)$$

де  $G_{\text{ПМ}} = 64 \text{ Н}$  – вага напівмуфти;

$G_{\text{ЗВ}} = 8 \text{ Н}$  – вага вала на ділянці  $l_3$ , Н.

$$P_3 = 64 + \frac{1}{3} \cdot 8 = 67 \text{ [Н]}.$$

Для визначення реакцій в підшипникових опорах складемо рівняння в моментів сил відносно точок сил.  $R_A$  і  $R_B$  – реакції в опорах А і В.

Розміри вала:  $l_1 = 0,21 \text{ м}$ ;  $l_2 = 0,14 \text{ м}$ ;  $l_3 = 0,12 \text{ м}$ .

$$\Sigma M_A = P_2 \cdot \frac{l_2}{2} + R_B \cdot l_2 + P_3 \cdot (l_2 + l_3) - P_1 \cdot l_1 = 0; \quad (10.4)$$

$$R_B = \frac{P_1 \cdot l_1 - P_3 \cdot (l_2 + l_3) - P_2 \cdot \frac{l_2}{2}}{l_2}; \quad (10.5)$$

$$R_B = \frac{280 \cdot 0,21 - 67 \cdot (0,14 + 0,12) - 6 \cdot \frac{0,14}{2}}{0,14} = 293 \text{ [Н]};$$

$$\Sigma M_B = P_2 \cdot \frac{l_2}{2} + P_1 \cdot (l_1 + l_2) - R_A \cdot l_2 - P_3 \cdot l_3 = 0; \quad (10.6)$$

$$R_A = \frac{P_2 \cdot \frac{l_2}{2} + P_1 \cdot (l_1 + l_2) - P_3 \cdot l_3}{l_2}; \quad (10.7)$$

$$R_A = \frac{6 \cdot \frac{0,14}{2} + 280 \cdot (0,21 + 0,14) - 67 \cdot 0,12}{0,14} = 646 \text{ [Н]}.$$

|           |      |                 |        |      |  |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |  |              | 45   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |  |              |      |         |

## 10.2 Розрахунок довговічності підшипників

В опорі А встановлений роликівий підшипник 32314 ГОСТ 8328-75, який сприймає радіальне навантаження, в опорі В – кульковий підшипник 314 ГОСТ 8338-75, який сприймає осьове навантаження та є більш навантаженим.

Статична вантажопідйомність –  $C_0 = 18300$  Н.

Динамічна вантажопідйомність –  $C = 326000$  Н.

Розрахункова довговічність підшипників:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3, \quad (10.8)$$

де  $C$  – динамічна вантажопідйомність підшипника, Н;

$P$  – еквівалентне динамічне навантаження, Н.

Еквівалентне динамічне навантаження на підшипник:

$$P = (X \cdot V \cdot Fr + Y \cdot Fa) \cdot K_T \cdot K_\delta. \quad (10.9)$$

За умови роботи підшипника, приймаємо:

$K_\delta = 1,2$  – коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1,0$  – температурний коефіцієнт;

$V = 1$  – коефіцієнт обертання.

Радіальна і осьова сили, що діють на підшипник:

$$Fr = R_A = 646 \text{ [Н]}; \quad Fa = A = T = 248 \text{ [Н]}.$$

Визначаємо відношення осьового навантаження до радіального:

$$\frac{Fa}{Fr \cdot V} = \frac{248}{646 \cdot 1} = 0,4.$$

При цьому  $e = 0,26$ .

Так як  $\frac{Fa}{Fr \cdot V} > e$ , то коефіцієнт радіального навантаження  $X = 1$ .

Коефіцієнт осьового навантаження  $Y = 1,55$ .

Динамічне навантаження:

$$P = (1 \cdot 1 \cdot 248 + 1,55 \cdot 1229) \cdot 1 \cdot 1,2 = 2583 \text{ [Н]}.$$

Розрахункова довговічність підшипника:

0,050205 14 БР.000.00 ПЗ

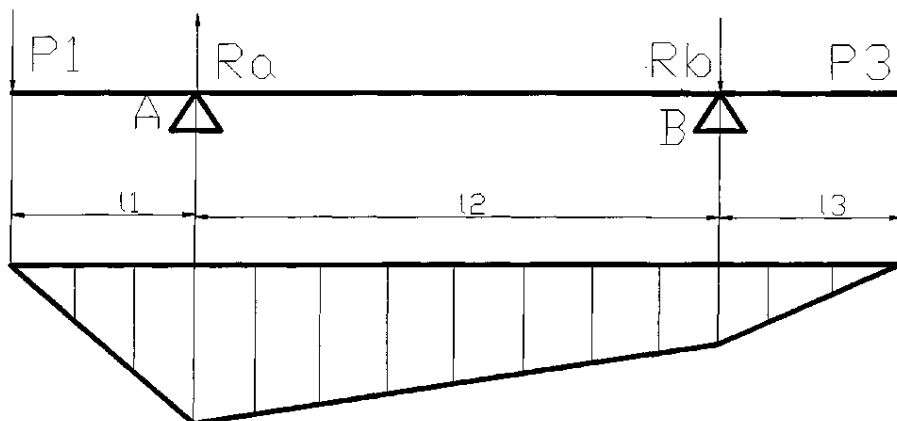
| Змн.      | Арк. | № докум.        |  | п. | Арк. | Акрушів |
|-----------|------|-----------------|--|----|------|---------|
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    | $L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 3000} \cdot \left(\frac{32600}{2583}\right)^3 = 0,72 \cdot 10^6 \text{ [год]}$ |    |      |         |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |  |    | 46   | 70      |
| Реценз.   |      |                 | консольного насоса на  |    |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$  |    |      |         |
| Затверд.  |      |                 | та $H = 50\text{м}$ .  |    |      |         |

СумДУ, ГМ-41

### 10.3 Розрахунок вала на статичну міцність

Розрахунок проводимо за методикою [9].

Для визначення напружень в перерізах вала побудуємо епюру згинальних моментів.



**Рисунок 10.2** – Епюра згинальних моментів

Визначимо максимальний згинальний момент в перерізі А:

$$M_u = P_1 \cdot l_1; \quad (10.10)$$

$$P_1 = 280 \text{ [Н]}; \quad l_1 = 0,21 \text{ [м]};$$

$$M_u = 280 \cdot 0,21 = 58,8 \text{ [Нм]}.$$

Найбільший крутний момент на валу:

$$M_{кр} = 9551 \cdot \frac{N}{n}, \quad (10.11)$$

де N – потужність насоса, N = 16,5 кВт.

$$M_{кр} = 9551 \cdot \frac{16,5}{3000} = 53 \text{ [Нм]}.$$

Момент опору перерізу вала в точці А:

$$W_u = 0,1 \cdot d^3, \quad (10.12)$$

де d = 40 мм – діаметр під підшипником.

$$W_u = 0,1 \cdot 0,04^3 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ [м}^3\text{]}.$$

Момент опору кручення:

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

ЗМН Арк. № док. Підпис Дата

$$W_{кр} = 0,2 \cdot d^3;$$

(10.13)лів

Роз

Перевір. Ратушний О.В.

консольного насоса на параметри Q = 90 м<sup>3</sup>/год та Н = 50м.

Реценз.

Н. Контр. Алексеенко Н.Г.

Затверд.

|              |    |
|--------------|----|
| 47           | 70 |
| СумДУ, ГМ-41 |    |

$$W_{кр} = 0,2 \cdot 0,04^3 = 12,8 \cdot 10^{-6} [м^3].$$

Напруження згинання:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W_u}; \quad (10.14)$$

$$\sigma_u = \frac{58,8}{6,4 \cdot 10^{-6}} = 9,18 [МПа].$$

Напруження кручення:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}; \quad (10.15)$$

$$\tau_{кр} = \frac{53}{12,8 \cdot 10^{-6}} = 0,41 [МПа].$$

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{кр}^2 + 3 \cdot \tau_{кр}^2}; \quad (10.16)$$

$$\sigma_{екв} = \sqrt{9,18^2 + 3 \cdot 0,41^2} = 9,21 [МПа].$$

Матеріал вала – Сталь 40Х;

Межа текучості –  $\sigma_T = 330$  МПа.

Запас міцності за межею текучості:

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{екв}}; \quad (10.17)$$

$$n_T = \frac{330}{9,21} = 36.$$

Умова міцності виконується.

|           |      |                 |        |      |  |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год<br>та H = 50м. | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |  |              | 48   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |  |              |      |         |



#### 10.4 Розрахунок шпонкового з'єднання вала з колесом

Вихідні дані для розрахунку. Матеріал вала – Сталь 40Х. Межа текучості  $\sigma_{0,2} = 780$  МПа. Матеріал шпонки – Сталь 45. Межа текучості  $\sigma_{0,2} = 350$  МПа. Матеріал колеса – Сталь 20Х13Л. Межа текучості  $\sigma_{0,2} = 440$  МПа. Крутний момент на валу  $M_{кр} = 53$  Нм.

Розмір шпонки під робочим колесом  $b \times h \times l = 8 \times 11 \times 28$ .

При розрахунку шпонкового з'єднання валом з колесом визначальним є напруження зминання:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)}, \quad (10.18)$$

де  $l_p$  – робоча довжина шпонки;

$t_1 = 8$  мм – глибина паза вала;

$h = 11$  мм – висота шпонки;

$d = 28$  мм – діаметр вала.

$$l_p = d - b = 28 - 8 = 20 \text{ [мм]}.$$

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 53}{0,028 \cdot 0,020 \cdot (0,011 - 0,008)} = 63,09 \text{ [МПа]}.$$

Допустиме напруження зминання визначаємо для матеріала шпонки, що має найнижчу межу текучості.

Допустиме напруження зминання:

$$[\sigma_{см}] = 0,56 \cdot \sigma_{0,2}; \quad (10.19)$$

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

$$\sigma_{см} < [\sigma_{см}].$$

Умова міцності виконується.

|           |      |                 |        |      |  |              |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |  |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.    |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.   |        |      |  |              | 49   | 70      |
| Реценз.   |      |                 |        |      |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г. |        |      |  |              |      |         |
| Затверд.  |      |                 |        |      |  |              |      |         |

# 11 Розділ з охорони праці

## Явища, які виникають при стіканні електричного струму в землю.

### Напруга кроку та дотику

**Крокова напруга** - електрична напруга, що виникає між двома точками навколо струмопровідної лінії, яка торкається землі, на відстані одного кроку.

Чим ближче людина знаходиться до місця торкання, тим вищою є небезпека ураження при пересуванні в небезпечній зоні. На відстані 1 м від заземлювача зниження напруги становить 68%, на відстані 10 м — 92%. Практично на відстані 20 м і більше від місця торкання струмопровідної частини небезпечний вплив електричного струму на людину зводиться до нуля. Напруга, що уражає людину, залежить від ширини кроку: чим більше крок, тим небезпечніше. Навіть невелика напруга в 50-80 В викликає мимовільні судорожні скорочення м'язів ніг і, як наслідок, падіння людини на землю. Якщо людина падає у бік місця дотику, тоді вражаюча напруга стає смертельною. У загрозовій ситуації при виході з небезпечної зони необхідно застосувати ходу «п'ята — носок» у сторону від місця падіння струмопровідної частини.

### Аналіз безпеки, що виникає при стіканні струму в землю.

#### Захисне заземлення

**Стікання струму** в землю можливе тільки через провідник, який знаходиться в безпосередньому контакті з землею. Такий контакт може бути випадковим або навмисним. В останньому випадку провідник, який знаходиться в контакті з землею, називається заземлювачем.

При стіканні струму в землю відбувається різке пониження потенціалу заземленої струмопровідної частини до значення потенціалу заземлювача, рівного добутку струму, що стікає в землю, на опір, який цей струм зустрічає на своєму шляху.

|  |      |                 |        |         |
|--|------|-----------------|--------|---------|
| 6.05030205 14 ВР.000.00 ПЗ   |      |                 |        |         |
| Це явище різкого зниження потенціалу є одним з найбільш нещасливих поєднань                          |      |                 |        |         |
| Змн.   | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата    |
| Розроб.  |      | Нагорна К.В.    |        |         |
| Перевір.   |      | Ратушний О.В.   |        |         |
| Реценз.  |      |                 |        |         |
| Н. Контр.  |      | Алексеевко Н.Г. |        |         |
| Затверд.   |      |                 |        |         |
| Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . |      |                 | Літ.   | Арк.    |
|  |      |                 |        | Аркушів |
|  |      |                 | 50     | 70      |
| СумДУ, ГМ-41   |      |                 |        |         |

випадковій появі напруги на металічних струмопровідних частинах, які з цією метою заземлюють.

Однак наряду з пониженням потенціалу заземленої струмопровідної частини при стіканні струму в землю виникають і негативні явища, а саме:

1) поява потенціалу на заземлювачі і металічних частинах, які знаходяться з ним в контакті;

2) поява потенціалу на поверхні ґрунту навколо місця стікання струму в землю.

Електричний струм замикається на землю через провідники, що мають з нею контакт. Причинами замикання і стікання струму в землю є:

- замикання електричної мережі в результаті аварії на заземлений корпус електроустановки;

- падіння проводів на землю;

- пробій чи uszkodження ізоляції електричних кабелів. При замиканні струму на землю відбувається різке зниження потенціалу.

Струм в землі призводить до появи потенціалів на заземлювачі, на металевих частинах комунікацій, що знаходяться поблизу заземлювача, у землі та на її поверхні навколо місця замикання і стікання струму в землю.

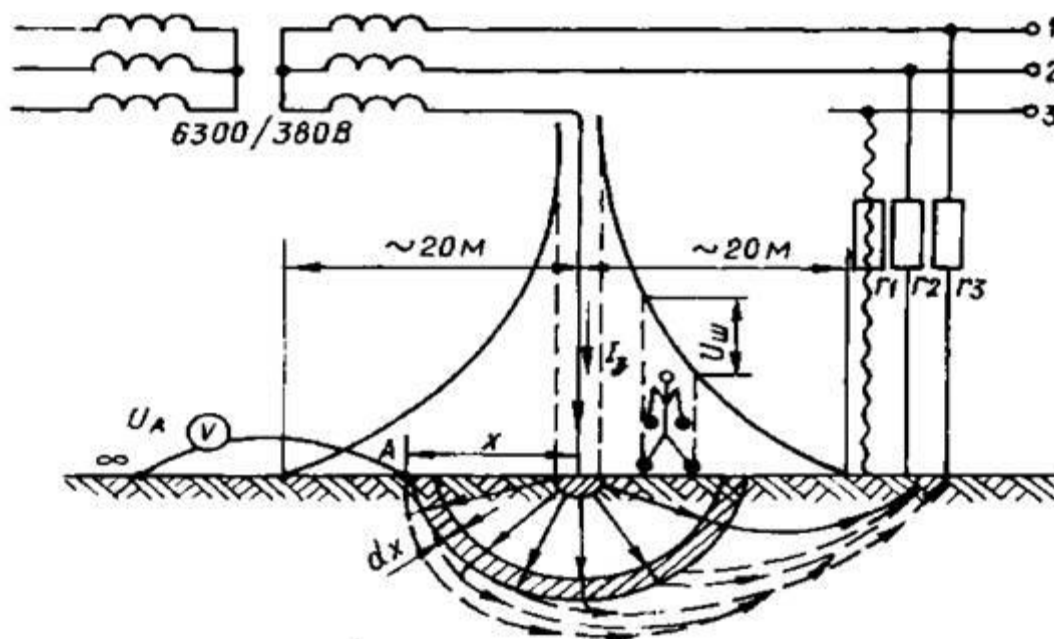
Різниця потенціалів поблизу замикання може досягати великих значень і тому є небезпечною для людини, що наближається чи рухається в зоні замикання. Людина при цьому зазнає впливу електричного струму по шляху "нога-нога". Розтікання струму в землі, різниця потенціалів між сусідніми точками, а, отже, і небезпека ураження людини залежать:

- від значення струму замикання на землю;
- провідності ґрунту;
- опору заземлених конструкцій;
- їхньої форми і ступеня зіткнення з ґрунтом;

|           |      |                                 |                                      |      |                            |      |         |
|-----------|------|---------------------------------|--------------------------------------|------|----------------------------|------|---------|
|           |      | - напруги в мережі (до 1000 В); |                                      |      | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ |      |         |
| Змн.      | Арк. | Розроб.                         | Перевір.                             | Дата |                            |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорна К.В.                    | Розробка                             |      | Літ.                       | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.                   | консольного насоса на                |      |                            | 51   | 70      |
| Реценз.   |      |                                 | параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год |      | СумДУ, ГМ-41               |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г.                 | та Н = 50м.                          |      |                            |      |         |
| Затверд.  |      |                                 |                                      |      |                            |      |         |

Слід розглянути, як розтікається електричний струм у землі від проводу, що впав на землю, який закон розподілу потенціалів від місця падіння його і яка небезпека крокової напруги.

**Напруга кроку** - напруга між двома точками ланцюга електричного струму, що знаходяться одна від одної на відстані кроку і на яких одночасно стоїть людина (мал.12.3).



**Рисунок 11.1** – Розподіл потенціалу по поверхні землі навколо напівкульового заземлювача

Розтікання постійного і змінного струмів частотою 50 Гц в однорідному провідному середовищі можна вважати стаціонарним електричним полем. Тобто напруга від місця падіння електричного дроту по поверхні однорідного ґрунту буде зменшуватися в сторони згідно з гіперболічним законом. **Різниця потенціалів**, прикладена до двох ніг, що знаходяться на відстані кроку (0,8 м), і називається **кроковою напругою**. Значення напруги з віддаленням від місця замикання зменшується, а при відстані більше 20 м у мережах до 0,4 кВ стає

незначною і небезпеки для людини не становить.

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| Змн.   | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата | Літ.         | Арк. | Акрушів |
|--|-----------------|----------|--------|------|--------------|------|---------|
| Розроб.  | Нагорна К.В.    |          |        |      |              | 52   | 70      |
| Перевір.   | Ратушний О.В.   |          |        |      | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Реценз.  |                 |          |        |      |              |      |         |
| Н. Контр.  | Алексеевко Н.Г. |          |        |      |              |      |         |
| Затверд.   |                 |          |        |      |              |      |         |
| Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . |                 |          |        |      |              |      |         |

Практично ґрунт не завжди однорідний навколо місця замикання струму. І тоді екіпотенційні лінії не будуть концентричними окружностями, а потенціал від місця замикання буде змінюватися за якимось іншим складним законом, що залежить від питомого опору ґрунту навколо заземлювача.

Якщо людина потрапила в зону впливу крокової напруги, тоді варто виходити із неї повільними кроками з урахуванням напрямку зниження дії струму. Стрибати на одній нозі чи тікати не слід, тому що при падінні до тіла людини буде прикладатися ще більша напруга, ніж напруга кроку.

**Напруга дотику** - напруга між двома точками ланцюга, яких людина торкається одночасно. Іншими словами, це спадання напруги на опорі тіла людини при її підключенні в електричний ланцюг.

## 12 Економічний розділ

### Суть та характеристика потокового виробництва

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

**Потокове виробництво** — це найбільш ефективна форма організації виробництва по масовому випуску продукції, що забезпечує високе зростання

|  |                 |          |        |                            |              |      |
|--|-----------------|----------|--------|----------------------------|--------------|------|
| продуктивності праці, безперервність виробничого процесу і найвищий рівень |                 |          |        | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ |              |      |
| ЗМЯК   | Освіт.          | № докум. | Підпис | Дата                       |              |      |
| Розроб.  | Нагорна К.В.    |          |        |                            | Літ.         | Арк. |
| Перевір.   | Ратушний О.В.   |          |        |                            |              | 53   |
| Реценз.  |                 |          |        |                            | Акрушів 70   |      |
| Н. Контр.  | Алексеевко Н.Г. |          |        |                            | СумДУ, ГМ-41 |      |
| Затверд.   |                 |          |        |                            |              |      |

Тема: Розробка консольного насоса на параметри  $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$  та  $H = 50\text{м}$ .

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

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

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

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

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

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

Основні характеристики поточної лінії:

1. Закріплення за кожним робочим місцем тільки однієї операції по виготовленню деталей або збору продукції.
2. Розташування робочих місць по ходу лінії.
3. Після закінчення операції на наступне робоче місце деталі передають по одній.
4. Синхронізація продовження кожної операції технологічного процесу на поточковій лінії. Тобто операції повинні бути кратні такту лінії.
5. Механізація передачі деталей та виробів з одного робочого місця на

|           |                 |              |          |            |  |                                 |              |  |
|-----------|-----------------|--------------|----------|------------|--|---------------------------------|--------------|--|
| інше.     |                 |              |          |            | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ             |                                 |              |  |
| Змн.      | Арк.б.          | Задані умови | Гідність | деталі     | виробництва, який включає всі роботи з |                                 |              |  |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    | виготовлення | деталей  | та виробів | Тема:                                  | Розробка                        | Літ.         |  |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |              |          |            | консольного                            | насоса на                       | Арк.         |  |
| Реценз.   |                 |              |          |            | параметри                              | $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ | Акрушів      |  |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |              |          |            | та                                     | $H = 50\text{м.}$               | 54           |  |
| Затверд.  |                 |              |          |            |  |                                 | 70           |  |
|           |                 |              |          |            |  |                                 | СумДУ, ГМ-41 |  |

Потокові лінії можуть відрізнятися одна від одної за такими характеристиками:

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

При організації поточкових ліній розраховуються:

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

Основними напрямками поліпшення роботи поточкових ліній можуть бути:

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

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

Існують три види конвеєрів: безперервний, пульсуючий і розподільний. Пульсуючий конвеєр характеризується тим, що виріб знімається з лінії і обробляється на робочому місці, потім виріб повертається на лінію, що здійснює його транспортування на інше робоче місце. Умовою роботи цієї лінії є рівність такту сумі часу оброблення деталі і часу транспортування.

|  |                 |  |  |  |              |      |         |
|--|-----------------|--|--|--|--------------|------|---------|
| Для організації поточкового виробництва в часі застосовується три види |                 |  |  | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Зм.руху, рівноб. і змішаний, рівноб. і змішаний.                       |                 |  |  |  |              |      |         |
| Розроб.  | Нагорна К.В.    |  |  | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.   | Ратушний О.В.   |  |  |  |              | 55   | 70      |
| Реценз.  |                 |  |  |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр.  | Алексеевко Н.Г. |  |  |  |              |      |         |
| Затверд.   |                 |  |  |  |              |      |         |

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

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

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

Потоковий метод організації можна застосовувати за дотриманням таких умов:

а) обсяг випуску продукції досить великий і не змінюється протягом тривалого періоду часу;

б) конструкція виробу технологічна, окремі вузли і деталі піддаються транспортуванню, виріб можна розділяти на конструктивно-складальні одиниці, що особливо важливо для організації потоку з складання;

в) витрати часу за операціями може бути встановлено з достатньою точністю, синхронізовано і зведено до єдиної величини; забезпечується безперервна подача до робочих місць матеріалів, деталей, складальних вузлів; можливе повне завантаження устаткування.

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

Вихідним моментом за проектування обсягу випуску продукції є такт потоку.

|  |                 |  |  |  |              |      |         |
|--|-----------------|--|--|--|--------------|------|---------|
| Такт — це проміжок часу між запуском (або випуском) двох суміжних виробів на конвеєрі. |                 |  |  | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |      |         |
| Зміна такту здійснюється шляхом заміни деталей з середнім і робочим.                   |                 |  |  |  |              |      |         |
| Розроб.  | Нагорна К.В.    |  |  | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.   | Ратушний О.В.   |  |  |  |              | 56   | 70      |
| Реценз.  |                 |  |  |  | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр.  | Алексеевко Н.Г. |  |  |  |              |      |         |
| Затверд.   |                 |  |  |  |              |      |         |



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

Робочий такт — це частина тривалості операції на одному робочому місці.

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

$$r = \frac{(\Phi - \Pi)}{N},$$

де  $\Phi$  — добовий фонд часу;

$\Pi$  — технічно-неминучі витрати часу, хв (15—20 хв за зміну);

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

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

$$T = \frac{(\Phi - \Pi)}{r}.$$

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

$$R = r \cdot n.$$

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

$$C_{pi} = \frac{t_i}{r},$$

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

Прийнята кількість робочих місць ( $C_{pi}$ ) визначається округленням

|   |                 |  |              |
|---|-----------------|--|--------------|
| розрахункової кількості до найближчого цілого числа. При цьому враховується, 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ |                 |  |              |
| Зм. Дод. Стадія проектування даних випускається перевантаження в межах 10—12 % на                       |                 |  |              |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    | Тема: Розробка консольного насоса на параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |  | Арк.         |
| Реценз.   |                 |  | 57           |
| Н. Контр.   | Алексеевко Н.Г. |  | Акрушіє      |
| Затверд.  |                 |  | 70           |
|   |                 |  | СумДУ, ГМ-41 |

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

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

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

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

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

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

Характерними ознаками організації виробництва є: подетальна спеціалізація виробничих підрозділів; запуск деталей у виробництво партіями за спеціально розробленими графіками; паралельно-послідовне проходження

|           |                 |            |  |      |   |              |      |         |
|-----------|-----------------|------------|--|------|---|--------------|------|---------|
| партій    | деталей за      | операціями | виконання на ділянках (у цехах) технологічно<br>6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ |      |   |              |      |         |
| Зм.       | Вар.            | ІН         | В.О.К.   | П.І. | С.П.  | Дата         |      |         |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |            |  |      | Тема: Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$<br>та $H = 50\text{м}$ . | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |            |  |      |   |              | 58   | 70      |
| Реценз.   |                 |            |  |      |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |            |  |      |   |              |      |         |
| Затверд.  |                 |            |  |      |   |              |      |         |

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

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

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

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

Виробництво масовими партіями становило і становить на численних підприємствах основний тип виробництва, воно є апогеєм тейлористської індустріальної культури. У ситуації, коли основною формою конкурентної боротьби є цінова, пріоритет надається економіці з масовим виробництвом

|  |                 |           |  |  |              |      |         |
|--|-----------------|-----------|--|--|--------------|------|---------|
| (великими партіями), а також процесу стандартизації продукції (коли клієнт |                 |           |  | 6,05050205 14 БР.000.00 ПЗ                       |              |      |         |
| ЗМ.ОС.М.Ж.У.Є.Т.Є.В.В.Д.Н.О.С.Т.О.Л.Ь.В.Д.А.Н.А                            |                 |           |  | ним вибором) і стандартизації операцій, наслідки |              |      |         |
| Розроб.  | Нагорна К.В.    | Тема      |  | Розробка   | Літ.         | Арк. | Акрушіє |
| Перевір.   | Ратушний О.В.   | у вигляді |  | консольного насоса на                            |              | 59   | 70      |
| Реценз.  |                 |           |  | параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год             | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр.  | Алексеевко Н.Г. |           |  | та H = 50м.                                      |              |      |         |
| Затверд.   |                 |           |  |  |              |      |         |

кваліфікованої робочої сили, вузько спеціалізованої і незначно пов'язаної із самим процесом виробництва. Виробництво масовими серіями означає виробництво максимально великими партіями, де зміну знарядь праці зведено до мінімуму, для того щоб скоротити до мінімуму витрати при випуску великої кількості продукції.

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

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

### 13 Технологічний розділ

#### Аналіз конструкції робочого колеса і технічних умов на його виготовлення

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

Основною задачею аналізу конструкції деталі являється виявлення

|   |                 |          |        |      |  |      |      |    |  |
|---|-----------------|----------|--------|------|--|------|------|----|--|
| можливостей підвищення її технологічності. Тому увагу необхідно звернути на |                 |          |        |      | 6.05050205.14 БР.000.00 ПЗ   |      |      |    |  |
| Змін.   | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата | змєнення розмірів оброблюваних поверхонь, що знижує трудємність механічної обробки; уніфікацію розмірів і форм прізв, канав, отворів |      |      |    |  |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |          |        |      | Діаметр  | Арк. | Арк. |    |  |
| Реценз.   |                 |          |        |      |  |      | 60   | 70 |  |
| Н. Контр.   | Алексєенко Н.Г. |          |        |      | консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та H = 50м.   |      |      |    |  |
| Затверд.  |                 |          |        |      | СумДУ, ГМ-41   |      |      |    |  |

і інших елементів, що скорочує номенклатуру ріжучих інструментів і зменшення часу обробки при послідовному виконанні технологічних переходів; забезпечення надійного і зручного базування; можливість суміщення технологічної і вимірювальної баз для підвищення точності обробки.

Аналіз конструкції зводиться до докладного вивченні креслення деталі, технічних умов на виготовлення, умов роботи деталі в гідромашині. При цьому перевіряється достатність проєкцій, правильність проставляння розмірів, вивчаються вимоги по точності і шорсткості обробки поверхонь, інші вимоги технічних умов.

### Визначення типу виробництва

Тип виробництва даної деталі – малосерійне. Малосерійне виробництво наближається по своїм технологічним особливостям до одиничного виробництва. В ньому, як і в одиничному виробництві, застосовують переважно універсальне обладнання (з розташуванням його в цехах по типам станків), нормальний робочий і універсальний вимірювальний інструмент. Малосерійному виробництву притаманна велика номенклатура виробів що виготовляються і велика кількість виконуваних на різних робочих місцях операцій.

### Вибір методу отримання заготовки

Вибір методу отримання заготовки, у відповідності визначається:

- 1) технологічними характеристиками матеріалу деталі; структурними змінами матеріалу, отримуваними в результаті застосування того чи іншого методу отримання заготовки;
- 2) формою і розмірами заготовки;
- 3) необхідною точністю заготовки, шорсткістю і якістю її поверхні;
- 4) програмою випуску і строками виконання цієї програми;
- 5) наявністю відповідного технологічного обладнання;

6) строками підготовки технологічної оснастки.

6.05050205 14 БР.000.00.ПЗ

|           |  |  |  |                 |  |  |  |   |  |  |  |
|-----------|--|--|--|-----------------|--|--|--|---|--|--|--|
| Змн.      |  |  |  | Арк.            |  |  |  | Конструкція в даному випадку, що розглядається в даній роботі, найбільш |  |  |  |
| Розроб.   |  |  |  | Нагорна К.В.    |  |  |  | Тема: Розробка  |  |  |  |
| Перевір.  |  |  |  | Ратушний О.В.   |  |  |  | Лит.  |  |  |  |
| Реценз.   |  |  |  |                 |  |  |  | Арк.  |  |  |  |
| Н. Контр. |  |  |  | Алексеевко Н.Г. |  |  |  | Акрушіє   |  |  |  |
| Затверд.  |  |  |  |                 |  |  |  | 67  |  |  |  |
|           |  |  |  |                 |  |  |  | 70  |  |  |  |
|           |  |  |  |                 |  |  |  | СумДУ, ГМ-41  |  |  |  |
|           |  |  |  |                 |  |  |  | консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та H = 50м.  |  |  |  |

до технічних вимог ГОСТ 5525-88. Даний вид лиття надає можливість виготовлення великих і важких виливків. Поруч з цим, варто виділити високу шорсткість поверхні, яка є основним недоліком цього способу лиття.

### Умови вибору технологічних баз

Основні положення по вибору баз і вимоги до базових поверхонь у достатній мірі наведені:

- 1) За технологічну базу в першій операції механічної обробки приймають необроблені поверхні, найбільш надійно отримані в заготовці.
- 2) Вибрана чорнова база повинна забезпечити найбільш точне розташування оброблюваних поверхонь відносно необроблюваних базових.
- 3) При виборі базуючих поверхонь необхідно прагнути суміщення конструкторської, технологічної і вимірювальної баз.
- 4) В якості опорної технологічної бази необхідно використовувати поверхні найбільших розмірів, що забезпечить кращу стійкість заготовки. Направляюча база повинна мати найбільшу довжину відносно направляючої площини пристосування.
- 5) Вибрані технологічні бази повинні забезпечити найменшу деформацію заготовки від зусиль затиснення і виникаючих при обробці зусиль різання.
- 6) Базові поверхні повинні забезпечити найкращі умови базування, закріплення і виміру деталі, а також простоту конструкції пристосування.

### Вибір маршруту обробки поверхонь деталі

Маршрут обробки вибирається виходячи з вимог робочого креслення колеса та прийнятої заготовки. За заданими квалітетами точності, класами чистоти поверхонь деталі, а також враховуючи її розміри, масу та конфігурацію вибирається необхідна кількість стадій обробки і тип відповідного обладнання. Кожна стадія виконується на своїх режимах обробки необхідним інструментом.

|                  |             |                 |               |             |   |              |             |                |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|--------------|-------------|----------------|
|                  |             |                 |               |             | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |             |                |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |              |             |                |
| <i>Розроб.</i>   |             | Нагорна К.В.    |               |             | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та H = 50м. | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | Ратушний О.В.   |               |             |   |              | 62          | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |             |                 |               |             |   | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             | Алексеевко Н.Г. |               |             |   |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             |                 |               |             |   |              |             |                |

## Проведення складання маршруту обробки робочого колеса

Технологічний процес обробки колеса робочого складений за загально прийнятими нормами, що є обгрунтованими практичним досвідом. Бачу проведення цього процесу наступним чином:

### 1) Операція 005. Заготівельна.

- Заготовку отримують методом лиття у піщані форми.

### 2) Операція 010. Токарно-гвинторізна.

- Станок токарно-гвинторізний 16К20.
- Деталь закріплюється в трьохкулачковому патроні. Таким чином мають місце дві технологічні бази: установочна (торець – позбавляє трьох ступенів свободи); подвійна опорна (зовнішня циліндрична поверхня заготовки - позбавляє двох ступенів свободи). Оброблюються торцева поверхня заготовки, точаться внутрішні циліндричні поверхні втулки, точиться фаска: внутрішня.
- Обробка проводиться різцями: розточним ГОСТ 18883-73 з пластиною із твердого сплаву ВК8, розточним Т30К4 S30K-PSYFR06 та свердлом Ø 40 ГОСТ 12121-77.

Контроль розмірів на місці проводиться штангенциркулем ШЦ-II ГОСТ 166 89 та калібр-пробкою гладкою Ø50h7.

### 3) Операція 015. Токарно-гвинторізна.

- Станок токарно-гвинторізний 16К20.
- Деталь закріплюється в трьохкулачковому патроні. Маємо дві технологічні бази: установочна (торець – позбавляє трьох ступенів свободи); подвійна опорна (внутрішня циліндрична поверхня втулки - позбавляє двох ступенів свободи). Оброблюються торцеву поверхню заготовки.
- Обробка проводиться різцями: прохідним упорним ГОСТ 18879-73 з

|   |                 |   |              |      |         |
|---|-----------------|---|--------------|------|---------|
| пластиною із твердого сплаву ВК6, прохідним упорним Т30К4 |                 | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |      |         |
| Зм.   | 830К-PSYFR06    | Підпис  | Дата         |      |         |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та Н = 50м. | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |   |              | 63   | 70      |
| Реценз.   |                 |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр.   | Алексеевко Н.Г. |   |              |      |         |
| Затверд.  |                 |   |              |      |         |

▪ Контроль розмірів проводиться штангенциркулем ШЦ-II ГОСТ 166-80.

**4) Операція 020. Контроль ВТК.**

▪ Стіл ВТК.  
 ▪ Контролюються розміри по шаблонам, контролюється розмір діаметром 50 мм гладкою калібр-пробкою.

**5) Операція 025. Слюсарна.**

- Верстак слюсарний.
- Обрізати зовнішній диск

**6) Операція 030. Токарно-гвинторізна.**

▪ Станок токарно-гвинторізний 16К20.  
 ▪ Деталь закріплюється в трьохкулачковому патроні. Маємо дві технологічні бази: установочна (торець – позбавляє трьох ступенів свободи); подвійна опорна (зовнішня циліндрична поверхня втулки - позбавляє двох ступенів свободи). Оброблюються зовнішні поверхні лопатей робочого колеса, центрування робочого колеса.

▪ Обробка проводиться різцями: прохідним упорним ГОСТ 18879-73 з пластиною із твердого сплаву ВК6; прохідним упорним Т30К4 S30K-PSYFR06.

▪ Контроль розмірів проводиться штангенциркулем ШЦ-II ГОСТ 166-80.

**7) Операція 035. Контроль ВТК.**

- Стіл ВТК.

▪ Контролюються розміри по шаблонам, контролюється розмір 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

|           |                 |       |        |      |   |              |      |         |
|-----------|-----------------|-------|--------|------|---|--------------|------|---------|
| Зм.       | Діаметр         | 40 мм | Підпис | Дата | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та Н = 50м. | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    |       |        |      |   |              | 64   | 70      |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   |       |        |      |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Реценз.   |                 |       |        |      |   |              |      |         |
| Н. Контр. | Алексеевко Н.Г. |       |        |      |   |              |      |         |
| Затверд.  |                 |       |        |      |   |              |      |         |



### 8) Операція 040. Розміточна.

- Плита розміточна.
- Проводиться розмітка: центрів отворів у диску; шпоночного паза у втулці колеса.
- Розмітка проводиться лінійкою слюсарною, циркулем слюсарним, штангенциркулем ШЦ-II ГОСТ 166-80, керном та молотком.

### 9) Операція 045. Довбальна.

- Станок довбальний 7А420.
- Заготовка встановлюється в спеціальний пристрій, вивіряється і закріплюється. Допуск шпоночного паза забезпечується за рахунок принципу суміщення баз.
- Проводиться довбання шпоночного пазу різцем довбальним ГОСТ 18888-73 з пластиною із твердого сплаву ВК6.
- Контроль розмірів паза проводиться калібром пазовим.

### 10) Операція 050. Свердлильна.

- Станок свердлильний 2Л53.
- Заготовка встановлюється в спеціальний пристрій, вивіряється і закріплюється. Проводиться свердлення трьох наскрізних отворів  $\varnothing 10,77H14$ , зенкування фаски  $1,6 \times 45^\circ$ , нарізання різі М12-7Н
- Операція проводиться свердлом  $\varnothing 10,77$  ГОСТ 12121-77, зенківка  $\varnothing 12 \times 90^\circ$  ГОСТ 14953-69, нарізування різі М12-7Н мітчик машинно ручний М12 ГОСТ 3266-71, патрон 10-В16 ГОСТ 8522-79.

### 11) Операція 055. Контроль ВТК.

- Стіл ВТК.

|   |                 |   |              |      |         |
|---|-----------------|---|--------------|------|---------|
| Контролюються розміри по шаблонам, контролюється розмір пробка різьбова: 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ |                 |   |              |      |         |
| Зм. М12-7Н ГОСТ 17757-72  |                 |   |              |      |         |
| Розроб.   | Нагорна К.В.    | Тема:                                     | Розробка     |      |         |
| Перевір.  | Ратушний О.В.   | консольного насоса на                     | Літ.         | Арк. | Акрушів |
| Реценз.   |                 | параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$ |              | 65   | 70      |
| Н. Контр.   | Алексеевко Н.Г. | та $H = 50\text{м}$ .                     | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Затверд.  |                 |   |              |      |         |

## 12) Операція 055. Слюсарна.

- Верстак слюсарний.
- Зачищаються надфілем заусенці після фрезерної, свердлильної та довбальної операцій.

## 13) Операція 060. Балансувальна.

- Статичне балансування здійснюється на ножах шляхом використання вантажиків. Після збалансування колеса вантажики знімаються і зважуються.

## 14) Операція 065. Слюсарна.

- Верстак слюсарний.

Усувається дисбаланс колеса за допомогою свердління отворів у циліндричних поверхнях згідно технічних вимог робочого креслення колеса робочого.

|                  |             |                 |               |             |   |              |             |                |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|--------------|-------------|----------------|
|                  |             |                 |               |             | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ  |              |             |                |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |              |             |                |
| <i>Розроб.</i>   |             | Нагорна К.В.    |               |             | Тема: Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$<br>та $H = 50\text{м}$ . | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | Ратушний О.В.   |               |             |   |              | 66          | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |             |                 |               |             |   | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             | Алексеенко Н.Г. |               |             |   |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             |                 |               |             |   |              |             |                |

## Список використаної літератури

1. Ржебаева Н.К., Ржебаев Э.Е. Расчет и конструирование центробежных насосов: Учебное пособие – Сумы: Изд-во СумГУ, 2009. – 220с.
2. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. Пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов/С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 416с. ил.
3. Справочник металлиста. Под редакцией Чернавского. Том 1. М.; Машиностроение, 1976, 768с.
4. Справочник конструктора-машиностроителя. ВЗ-х т. Т.2 – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. -584с., ил.
5. Методичні вказівки до виконання курсового та дипломного проектування зі спеціальності 05050205 «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика» /укладачі: Е. В. Колісніченко, В.О.Панченко. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 48с.
6. Методичні вказівки до виконання курсового проекту зі спеціальності «Розрахунок та проектування консольного насоса з використанням теорії подібності» / укладачі: Е. В. Колісніченко, В. О. Панченко. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 37 с.
7. Насосы консольные типа К, 1К, 2К [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.agrovodcom.ru/konsol\\_pump.php](http://www.agrovodcom.ru/konsol_pump.php).
8. Економіка підприємства [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://pidruchniki.com/15220122/ekonomika/virobnichiy\\_tsikl\\_yogo\\_harakteristika\\_struktura](http://pidruchniki.com/15220122/ekonomika/virobnichiy_tsikl_yogo_harakteristika_struktura).
9. Михайлов А.К. Малюшенко В.В. Лопасные насосы. Теория, расчет и конструирование. М., «Машиностроение» 1977.
10. Биргер И.А. и др. Расчёт на прочность деталей машин: Справочник/ И.А.

Бюргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Иосилевич. – 36 05050205-14 БД 000-00:ПЗ

| Змн.      | Арк. | № докум.                    | Підпис | Дата |   | Літ.         | Арк. | Акрушів |
|-----------|------|-----------------------------|--------|------|---|--------------|------|---------|
|           |      | Машиностроение, 1979.-702с. |        |      | Тема: Розробка консольного насоса на параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год та H = 50м. |              |      |         |
| Розроб.   |      | Нагорняк В.                 |        |      |   |              |      |         |
| Перевір.  |      | Ратушний О.В.               |        |      |   |              | 67   | 70      |
| Реценз.   |      |                             |        |      |   | СумДУ, ГМ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Алексеевко Н.Г.             |        |      |   |              |      |         |
| Затверд.  |      |                             |        |      |   |              |      |         |

## Додаток А

### (маршрутна карта)

|                  |                 |                 |               |             |  |              |             |                |
|------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|--|--------------|-------------|----------------|
|                  |                 |                 |               |             | 6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ   |              |             |                |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i>     | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |              |             |                |
| <i>Розроб.</i>   | Нагорна К.В.    |                 |               |             | Тема: Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год<br>та H = 50м. | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  | Ратушний О.В.   |                 |               |             |  |              | 68          | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |                 |                 |               |             |  | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> | Алексеевко Н.Г. |                 |               |             |  |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |                 |                 |               |             |  |              |             |                |

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |              |             |                |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|--------------|-------------|----------------|
| <i>Розроб.</i>   |             | Нагорна К.В.    |               |             | <b>Тема:</b> Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$<br>та $H = 50\text{м.}$ | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | Ратушний О.В.   |               |             |   |              | 69          | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |             |                 |               |             |   | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             | Алексеевко Н.Г. |               |             |   |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             |                 |               |             |   |              |             |                |

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |              |             |                |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|--------------|-------------|----------------|
| <i>Розроб.</i>   |             | Нагорна К.В.    |               |             | <b>Тема:</b> Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри $Q = 90 \text{ м}^3/\text{год}$<br>та $H = 50\text{м.}$ | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | Ратушний О.В.   |               |             |   |              | 70          | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |             |                 |               |             |   | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             | Алексеевко Н.Г. |               |             |   |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             |                 |               |             |   |              |             |                |

6.05050205 14 БР.000.00 ПЗ

| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |              |             |                |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|--------------|-------------|----------------|
| <i>Розроб.</i>   |             | Нагорна К.В.    |               |             | <b>Тема:</b> Розробка<br>консольного насоса на<br>параметри Q = 90 м <sup>3</sup> /год<br>та Н = 50м. | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | Ратушний О.В.   |               |             |   |              | 71          | 70             |
| <i>Реценз.</i>   |             |                 |               |             |   | СумДУ, ГМ-41 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             | Алексеевко Н.Г. |               |             |   |              |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             |                 |               |             |   |              |             |                |

