

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ПГМ  
Ковальов І.О.  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему

**Розробка зварного трьохгвинтового насоса на  
параметри:**

**$p = 4377600 \text{ Па}$ ,  $n = 1450 \text{ об/хв}$ ,  $Q = 6,25 \text{ м}^3/\text{год}$**

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» (освітня програма  
«Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика»)

Виконавець роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ткаченко Д. А.  
(прізвище, ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ігнат'єв О.С.  
(прізвище, ініціали)

Суми 2021

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедрою ПГМ  
\_\_\_\_\_ І.О.Ковальов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра студентові  
Ткаченку Дмитру Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: “ Розробка зварного трьохгвинтового насоса на параметри:  $p=4377600\text{Па}$ ,  $n=1450\text{об/хв}$ ,  $Q=6,25\text{м}^3/\text{год}$  ”

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

2. Термін задачі студентом закінченої роботи 10.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: тиск  $4377600\text{ Па}$ , число обертів  $1450\text{ об/хв.}$ , витрати  $6,25\text{м}^3/\text{год}$ .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)

Будова та принцип дії. Розрахунок гвинтів, патрубків, каналів, ущільнень, дроселів, клапана, осьової та радіальної сил, тиску на обойму поршень та утовщення. Розрахунки на міцність стінок корпусу, кришки, вала, підшипника, шпонки, болтів

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

Складальні креслення насоса, корпусу, кришки задньої, деталювання гвинтів. Всього 4 аркуші формату А1

6. Консультанти із зазначених розділів роботи

| Розділ | Консультант | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------|----------------|------------------|
|        |             | Завдання видав | Завдання прийняв |
|        |             |                |                  |
|        |             |                |                  |

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № п/п | Назва етапів роботи   | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1     | Опис конструкції та принципу дії насосу                       | 15.03.2021                     |          |
| 2     | Розрахунок розмірів основних деталей насосу                   | 31.03.2021                     |          |
| 3     | Розробка складального креслення насосу                        | 15.04.2021                     |          |
| 4     | Розрахунок на міцність деталей та вузлів насосу               | 30.04.2021                     |          |
| 5     | Розробка робочих креслень деталей та вузлів насосу            | 15.05.2021                     |          |
| 6     | Відшкодування шкоди працівникам у разі ушкодження їх здоров'я | 25.05.2021                     |          |
| 7     | Виробничий процес в інженерній діяльності                     | 01.06.2021                     |          |
| 8     | Оформлення розрахунково-пояснювальної записки                 | 10.06.2021                     |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |

7. Дата видачі завдання 01.03.2021 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ігнат'єв О.С.  
(Прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Записка: 53 с., 7 рис., 11 джерел.

Графічний матеріал: 4 аркуші формату А1.

В процесі виконання бакалаврської роботи виконано  
розрахунок гвинтів трьохгвинтового насоса; -  
профілювання гвинтів насосу;-  
розрахунки ведучого гвинта;-  
розрахунок переливного клапану;-  
розрахунок підшипника;-  
розрахунок корпусу; -  
розрахунок кришки;-  
розрахунок шпильки;

Ключові слова:

ВЕДУЧИЙ ГВИНТ, ВЕДЕНИЙ ГВИНТ, ПРОФІЛЮВАННЯ, КЛАПАН, ПІДШИПНИК, ПРУЖИНА ,КОРПУС, КРИШКА.

## Зміст

Технічне завдання

Реферат

Вступ

6

1. Опис конструкції і принципа дії трьохгвинтових насосів

7

2. Розрахунок розмірів основних деталей насосу

11

2.1. Розрахунок гвинтів 3-х гвинтового насоса

11

2.2. Розрахунок діаметрів всмоктувальної й нагнітальної лінії

13

2.3. Профілювання гвинта

14

3. Розрахунки на міцність

19

3.1. Теоретична подача й теоретичні крутні моменти 3-х гвинтового насоса

19

3.2. Потужність споживана гвинтовим насосом і вибір електро-двигуна

19

3.3. Осьові й радіальні сили діючі на гвинти насоса

23

3.4. Вибір підшипника кочення

24

3.5. Розміри підшипників ковзання

25

3.6. Розрахунок пружини запобіжного клапана

27

3.7. Розрахунок болтів і штифтів

31

3.8. Розрахунок корпусу

34

3.9. Розрахунок кришок корпусів

35

3.10. Розрахунок шпонкового з'єднання

36

3.11. Розрахунок на жорсткість

37

|                |             |              |             |                |                     |             |      |        |
|----------------|-------------|--------------|-------------|----------------|---------------------|-------------|------|--------|
| Підпись и дата | Изм. инв. № | Изм. № дубл. | Изм. инв. № | Підпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ  |             |      |        |
|                |             |              |             |                |                     |             |      |        |
| Изм. № подл.   | Изм. Лист   | № докум.     | Подп.       | Дата           | Трѣхгвинтовий насос | Лит.        | Лист | Листов |
|                | Разраб.     | Ткаченко     |             |                |                     | ВР          | 4    | 53     |
|                | Провер.     | Ігнат'єв     |             |                |                     | СумДУ ГМ-71 |      |        |
|                | Нач. бюро   |              |             |                |                     |             |      |        |
|                | Н. контр.   | Алексєєнко   |             |                |                     |             |      |        |
| Утв.           |             |              |             |                |                     |             |      |        |

Трѣхгвинтовий насос

Пояснювальна записка

СумДУ ГМ-71

|   |    |
|---|----|
| 4 Відшкодування шкоди працівникам у разі ушкодження їх здоров'я | 39 |
| 5. Виробничий процес в інженерній діяльності                    | 43 |
| Висновки  | 52 |
| Література  | 53 |

|              |                |              |              |                |                    |  |  |  |  |   |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------------|--|--|--|--|---|
| Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ |  |  |  |  | 5 |
|              |                |              |              |                |                    |  |  |  |  |   |

# Вступ [1]

## Вступ

Трьохгвинтові насоси знаходять широке застосування в енергетичному машинобудуванні, у верстатобудуванні, у нафтовій промисловості, в авіації, у водному транспорті й інших галузях. Ці насоси використовуються для транспортування рідини або змащування машин і як джерела тиску в різних гідравлічних приводах, які за останні роки набувають все більшого поширення в зв'язку зі збільшенням розмірів і потужності машин і широким впровадженням автоматизації. Трьохгвинтові насоси призначені для перекачування неагресивних рідин, що володіють здатністю, що змазує, з кінетичною в'язкістю від 0, 21 до 7, 6 см<sup>2</sup>/с при температурі до 353(80 оС

собою роботу з вивчення й розуміння основних принципів і законів проектування об'ємних гідромашин і приводів до них. У ході проектування була вивчено конструкція й принцип дії 3-х гвинтового насоса з однобічним підведенням рідини, був зроблений підбір редуктора й електродвигуна по заданих технічних і проектних вимогах.

Основне призначення курсової роботи - дати матеріал стосовно об'ємних гідромашин, що дозволить виробити навички застосування теоретичних відомостей до рішення конкретних завдань технічного характеру й тим самим освоїти практику розрахунку й створення насосів і насосних агрегатів.

Наявність у роботі великого й різноманітного матеріалу у проекті дозволяє сподіватися, що він становить інтерес для читачів які займаються розрахунком 3-х гвинтових насосів у своїй практичній діяльності.

|                |                |              |              |                |                    |   |
|----------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------------|---|
| Инвар. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 6 |
|                |                |              |              |                |                    |   |
|                |                |              |              |                |                    |   |
| Изм            | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |                    |   |

# 1. Опис конструкції і принципа дії, призначення трьохгвинтових насосів

За принципом дії трьохгвинтовий насос - об'ємний.

Насос (рисунок 1.1) складається з наступних основних деталей і складальних одиниць: корпусу 24 з кришками, обойми 29, одного ведучого 14 і двох ведених гвинтів 31, торцевого ущільнення (рисунок 1.2).

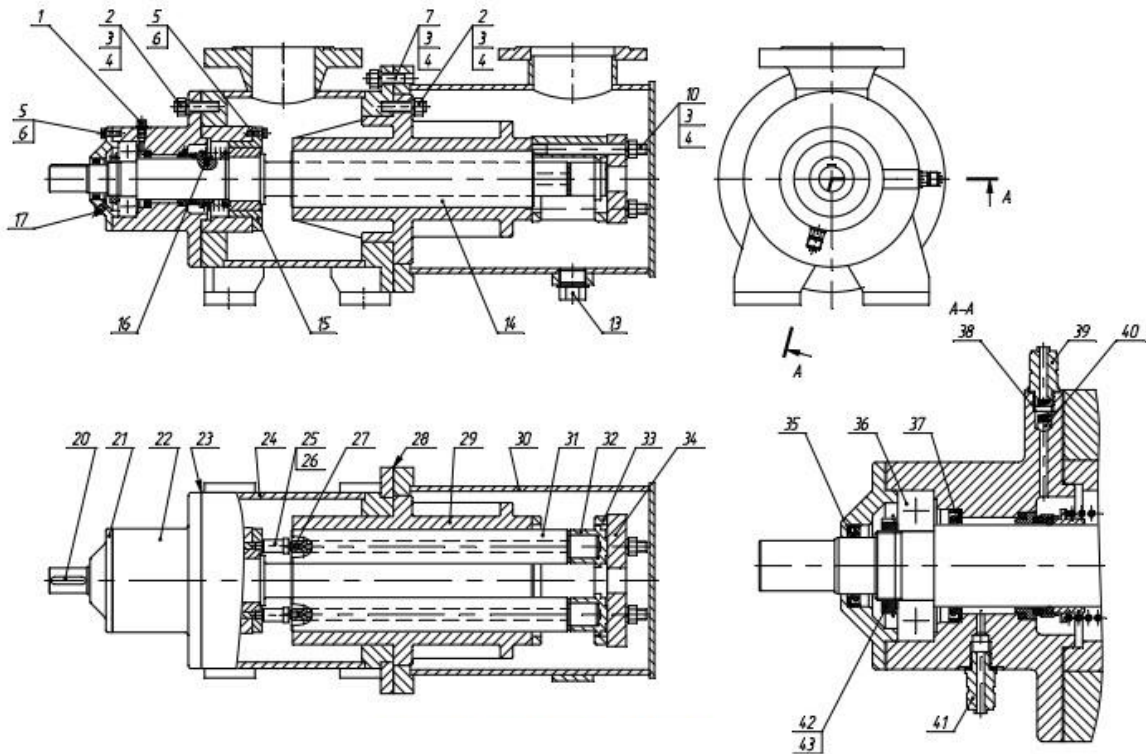


Рисунок 1.1 – Трьохгвинтовий насос

У корпус вставлена обойма з трьома суміжними циліндричними розточками, в яких розташовані один ведучий і два ведених гвинта, які служать для ущільнення ведучого гвинта.

Профіль нарізки гвинтів спеціальний, що забезпечує їх взаємне сполучення, нарізка двозахідна на ведучому гвинті – ліва, на ведених – права.

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инов. № подл.  | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инв. № дубл.   |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |                    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|



По торцях корпус закритий передньою 22 і задньою 30 кришкою. У передній кришці розташований шарикопідшипник 36, ізольований від середовища, що перекачується.

При обертанні гвинтів у всмоктувальній камері насоса створюється розрідження, в результаті чого рідина під атмосферним тиском надходить у западини нарізки гвинтів, які взаємно замикаються при їх обертанні. Замкнутий в нарізці гвинтів об'єм рідини переміщується в обоймі прямолінійно без перемішування і витісняється в нагнітальну порожнину.

Конструкція гідравлічної частини насоса передбачає розвантаження гвинтів від осбових зусиль за рахунок підводу робочої рідини нагнітання під гвинти.

Залишкові осьові зусилля на ведучому гвинті сприймаються порожниною кришки передньої 22, встановлено торцеве ущільнення.

Торцеве ущільнення (рисунок 1.2) складається з під'ятника 3, гумового ста- левої п'яти 5, що має вус, який заходить в паз упорної втулки 6, гумового ущільнюючого кільця 4, пружини 7.

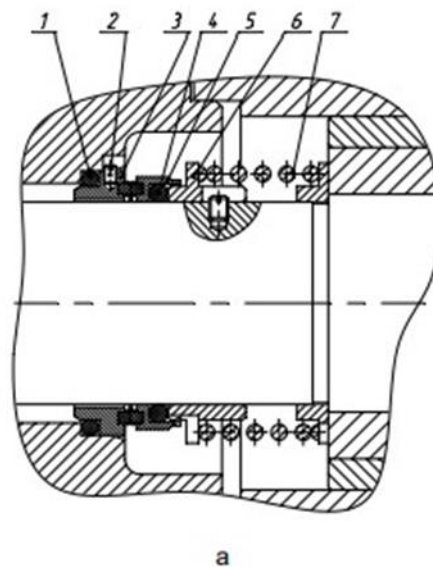


Рисунок 1.2 – Торцеве ущільнення

Упорна втулка 6 (рисунок 1.2) зафіксована на ведучому гвинті який дає можливість переміщатися їй тільки осьовому напрямку.

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инов. № подл.  | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инов. № дубл.  |
| Подпись и дата |                |
| Подпись и дата |                |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

131.09.ВР.000.00ПЗ

Допускається виготовлення насоса з сільфонним торцевим ущільненням

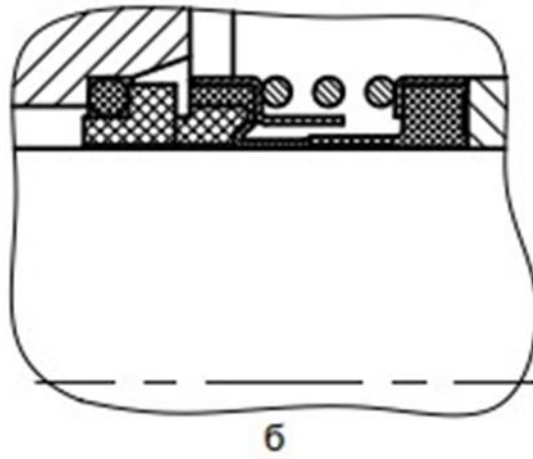


Рисунок 1.3 – Сільфонне ущільнення

У кришці передній змонтований переливний кульковий клапан (рисунок 1.4), який забезпечує підпір в порожнині торцевого ущільнення від 0,1 до 0,3 МПа порівняно з камерою всмоктування. Кульковий клапан складається з кульки 40, пружини 38 і штуцера 39.

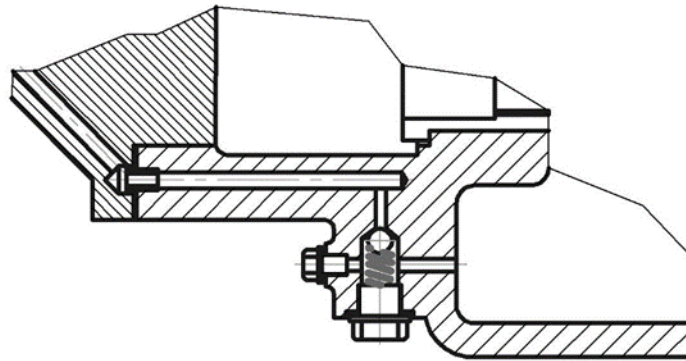


Рисунок 1.4 – Переливний клапан

При підвищенні тиску вище згаданий клапан спрацьовує й частина рідини скидається через канали в корпусі у всмоктувальну порожнину. Для організованого відведення можливих витоків через торцеве ущільнення в кришці передній 22 передбачений штуцер 41.

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инов. № подл.  | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инв. № дубл.   |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

131.09.ВР.000.00ПЗ

## 2. Розрахунок розмірів основних деталей насосу [1]

### 2.1 Розрахунок гвинтів 3-х гвинтового насоса

Для 3-х гвинтового насоса з однобічним підведенням рідини зовнішній діаметр веденого гвинта визначається по формулі [1]

$$d_H = \sqrt[3]{\frac{q}{4.1}}$$

де  $d_H$  - зовнішній діаметр веденого гвинта, м;

$q$  – робочий об'єм, м<sup>3</sup>.

Робочий об'єм визначається за формулою

$$q = \frac{Q_H}{n\eta_{H.O}}$$

де  $Q_H$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$n$  – частота обертання валу насоса, об/хв,

$\eta_{H.O}$  – об'ємний к.к.д. насоса.

Для трьохгвинтових насосів об'ємний к.к.д. складає значення 0,94 – 0,96.

Приймаємо  $\eta_{H.O} = 0,96$ .

$$q = \frac{6,25}{60 \cdot 1450 \cdot 0,96} = 7,48 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

$$d_H = \sqrt[3]{\frac{7,48 \cdot 10^{-5}}{4.1}} = 0,0266 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_H = 27 \text{ мм}$

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Ив. № подл.        | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.BP.000.00ПЗ |                |              |              | 10             |

Співвідношення між окремими розмірами гвинтів приймаються наступними:

$$D_H = \frac{5}{3} d_H$$

$$D_H = \frac{5}{3} 27 = 45 \text{ мм}$$

$$D_B = d_H$$

$$D_B = 27 \text{ мм}$$

$$d_B = \frac{1}{3} d_H$$

$$d_B = \frac{1}{3} 27 = 9 \text{ мм}$$

$$t = \frac{10}{3} d_H$$

$$t = \frac{10}{3} 27 = 90 \text{ мм}$$

де  $D_H$  - зовнішній діаметр привідного гвинта;  
 $D_B$  - внутрішній діаметр нарізки привідного гвинта;  
 $d_B$  - внутрішній діаметр нарізки веденого гвинта;  
 $t$  - хід гвинтової нарізки.

Для визначення довжини гвинта нам необхідно знати кількість кроків гвинта  $z$ .

$$z = \frac{\Delta p}{\Delta p_{\text{пит}}};$$

де  $\Delta p_{\text{пит}}$  – питомий тиск для трьох гвинтових насосів, з урахуванням типу рідини  $\Delta p_{\text{пит}} = 2-3 \text{ МПа}$ .

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инвар. № подл.     | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              | 11             |

$$z = \frac{4.8}{3} = 1.6$$

Приймаємо  $Z = 2$ .

Довжина гвинта:

$$L = Z t$$

$$L = 2 \cdot 90 = 180 \text{ мм}$$

Визначимо довжину обойми  $L'$

$$L' = (1,2 - 1,3)L$$

$$L' = (1,2 - 1,3)180 = 216 - 234 \text{ мм}$$

Приймаємо

$$L' = 220 \text{ мм}$$

### 2.3. Розрахунок діаметрів всмоктувальної й нагнітальної лінії.

Для розрахунку діаметрів нам необхідна формула [4]

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u}}$$

де  $u$  знаходимо із графічної залежності  $u = f(\lg v)$  [4]

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инвар. № подл.     | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              | 12             |

$$d_{\text{нар}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,74 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 9,4}} = 0,015 \text{ м}$$

$$d_{\text{вс}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,74 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 6}} = 0,019 \text{ м}$$

Приймаємо

$$d_{\text{нар}} = 16 \text{ мм}$$

$$d_{\text{вс}} = 20 \text{ мм}$$

### 2.3. Профілювання гвинта

Число точок для побудови профілю  $k=15$

Визначемо радіуси нарізки:

$$R_1 = R_B + x$$

$$R_2 = R_B + 2x$$

...

де

$$x = \frac{R_H - R_B}{k}$$

$$x = \frac{22,5 - 13,5}{15} = 0,6$$

$$R_1 = 13,5 + 0,6 = 14,1 \text{ мм};$$

$$R_2 = 14,7 \text{ мм};$$

$$R_3 = 15,3 \text{ мм};$$

$$R_4 = 15,9 \text{ мм};$$

$$R_5 = 16,5 \text{ мм};$$

|              |                |              |              |                |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инд. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|              |                |              |              |                |

|     |      |          |       |      |                    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ |
|     |      |          |       |      |                    |

$$R_6 = 17,1 \text{ мм};$$

$$R_7 = 17,7 \text{ мм};$$

$$R_8 = 18,3 \text{ мм};$$

$$R_9 = 18,9 \text{ мм};$$

$$R_{10} = 19,5 \text{ мм};$$

$$R_{11} = 20,1 \text{ мм};$$

$$R_{12} = 20,7 \text{ мм};$$

$$R_{13} = 21,3 \text{ мм};$$

$$R_{14} = 21,9 \text{ мм};$$

$$R_{15} = 22,5 \text{ мм}.$$

Визначаємо кути  $\alpha$  і  $\beta$  ієденого і ведучого гвинтів:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{A^2 + r_H^2 - R^2}{2r_H A}\right)$$

$$\alpha_1 = \arccos\left(\frac{27^2 + 13,5^2 - 14,1^2}{2 \cdot 13,5 \cdot 27}\right) = 12,235^\circ$$

$$\alpha_2 = 17.526^\circ$$

$$\alpha_9 = 40.536^\circ$$

$$\alpha_3 = 21.738^\circ$$

$$\alpha_{10} = 43.248^\circ$$

$$\alpha_4 = 25.417^\circ$$

$$\alpha_{11} = 45.909^\circ$$

$$\alpha_5 = 28.772^\circ$$

$$\alpha_{12} = 48.530^\circ$$

$$\alpha_6 = 31.909^\circ$$

$$\alpha_{13} = 51.123^\circ$$

$$\alpha_7 = 34.890^\circ$$

$$\alpha_{14} = 53.694^\circ$$

$$\alpha_8 = 37.757^\circ$$

$$\alpha_{15} = 56.251^\circ$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{A^2 + R^2 - r_H^2}{2RA}\right)$$

|               |                |              |               |                |                    |    |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|--------------------|----|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 14 |
| Изм           | Лист           | № докум.     | Подп.         | Дата           |                    |    |
|               |                |              |               |                |                    |    |

$$\gamma_1 = \arccos\left(\frac{27^2 + 14,1^2 - 13,5^2}{2 \cdot 14,1 \cdot 27}\right) = 11,708^\circ$$

$$\gamma_2 = 16.035^\circ$$

$$\gamma_9 = 27.660^\circ$$

$$\gamma_3 = 19.074^\circ$$

$$\gamma_{10} = 28.316^\circ$$

$$\gamma_4 = 21.372^\circ$$

$$\gamma_{11} = 28.842^\circ$$

$$\gamma_5 = 23.192^\circ$$

$$\gamma_{12} = 29.259^\circ$$

$$\gamma_6 = 24.664^\circ$$

$$\gamma_{13} = 29.565^\circ$$

$$\gamma_7 = 25.867^\circ$$

$$\gamma_{14} = 29.786^\circ$$

$$\gamma_8 = 26.853^\circ$$

$$\gamma_{15} = 29.971^\circ$$

Визначаємо кути повороту  $\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots$ , що відповідають радіусам  $R_1, R_2, R_3 \dots$

$$\beta = \alpha_i - \gamma_i$$

$$\beta_1 = 12.236^\circ - 11.708^\circ = 0.528^\circ$$

$$\beta_2 = 1.471^\circ$$

$$\beta_9 = 12.875^\circ$$

$$\beta_3 = 2.664^\circ$$

$$\beta_{10} = 14.932^\circ$$

$$\beta_4 = 4.045^\circ$$

$$\beta_{11} = 17.067^\circ$$

$$\beta_5 = 5.580^\circ$$

$$\beta_{12} = 19.277^\circ$$

$$\beta_6 = 7.245^\circ$$

$$\beta_{13} = 21.558^\circ$$

$$\beta_7 = 9.024^\circ$$

$$\beta_{14} = 23.908^\circ$$

$$\beta_8 = 10.904^\circ$$

$$\beta_{15} = 26.325^\circ$$

Координати профілю ведучого гвинта в перетині площиною в здовж осі:  
абсцисс

$$x_1 = R_i - R_B$$

$$x_1 = 14.1 - 13.5 = 0.6 \text{ мм}$$

$$x_2 = 1,2 \text{ мм}$$

$$x_9 = 5,4 \text{ мм}$$

$$x_3 = 1,8 \text{ мм}$$

$$x_{10} = 6,0 \text{ мм}$$

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инд. № подл.   | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инд. № дубл.   |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |                    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ |
|     |      |          |       |      |                    |



$$x_4 = 2,4 \text{ мм}$$

$$x_{11} = 6,6 \text{ мм}$$

$$x_5 = 3,0 \text{ мм}$$

$$x_{12} = 7,2 \text{ мм}$$

$$x_6 = 3,6 \text{ мм}$$

$$x_{13} = 7,8 \text{ мм}$$

$$x_7 = 4,2 \text{ мм}$$

$$x_{14} = 8,4 \text{ мм}$$

$$x_8 = 4,8 \text{ мм}$$

$$x_{15} = 9,0 \text{ мм}$$

ординат

$$y = \frac{\beta\tau}{360}$$

$$y_1 = \frac{0.528 \cdot 9}{360} = 0.013 \text{ мм}$$

$$y_2 = 0,037 \text{ мм}$$

$$y_9 = 0,294 \text{ мм}$$

$$y_3 = 0,066 \text{ мм}$$

$$y_{10} = 0,373 \text{ мм}$$

$$y_4 = 0,101 \text{ мм}$$

$$y_{11} = 0,426 \text{ мм}$$

$$y_5 = 0,140 \text{ мм}$$

$$y_{12} = 0,482 \text{ мм}$$

$$y_6 = 0,181 \text{ мм}$$

$$y_{13} = 0,539 \text{ мм}$$

$$y_7 = 0,326 \text{ мм}$$

$$y_{14} = 0,597 \text{ мм}$$

$$y_8 = 0,226 \text{ мм}$$

$$y_{15} = 0,658 \text{ мм}$$

Для ліквідції зазору профіль гвинта корегується, тобто ординати перерховуються по формулі:

$$y_k = y + s - \frac{(k-1; k-2)}{k-1}$$

де  $y$  – попередня ордината;

$s$  – фаска,  $s = 0.029d_H = 0.029 \cdot 27 = 0.783 \text{ мм}$

$k$  – кількість точок,  $k=15$

$$y_{k1} = 0,019 \text{ мм}$$

$$y_{k9} = 1,022 \text{ мм}$$

$$y_{k2} = 0,123 \text{ мм}$$

$$y_{k10} = 1,166 \text{ мм}$$

$$y_{k3} = 0,235 \text{ мм}$$

$$y_{k11} = 1,313 \text{ мм}$$

|                |                |
|----------------|----------------|
| Ив. № подл.    | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Ив. № дубл.    |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

131.09.ВР.000.00ПЗ

$$y_{k4} = 0,355 \text{ мм}$$

$$y_{k5} = 0,485 \text{ мм}$$

$$y_{k6} = 0,610 \text{ мм}$$

$$y_{k7} = 0,744 \text{ мм}$$

$$y_{k8} = 0,881 \text{ мм}$$

$$y_{k12} = 1,393 \text{ мм}$$

$$y_{k13} = 1,545 \text{ мм}$$

$$y_{k14} = 1,699 \text{ мм}$$

$$y_{k15} = 1,856 \text{ мм}$$

За отриманими значеннями радіусів та кутів будуюмо профіль ведучого гвинта – рис.2.1.

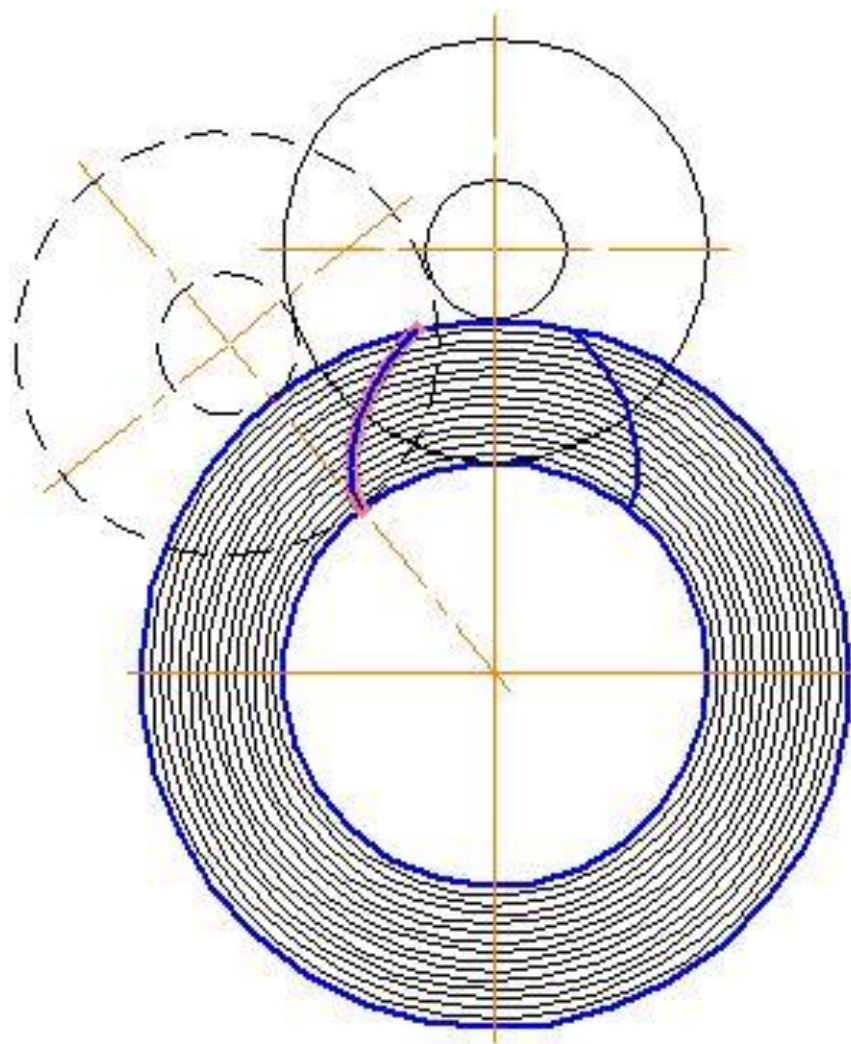


Рисунок 2.1 – Профіль ведучого гвинта

|               |                |              |               |                |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
|               |                |              |               |                |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

131.09.ВР.000.00ПЗ

### 3. Розрахунки на міцність

#### 3.1 Теоретична подача й теоретичні крутні моменти 3-х гвинтового насоса

Для насоса з однобічним підведенням рідини теоретична подача визначається по формулі [1]:

$$Q_T = 0,0691n d_H^3,$$
$$Q_T = 0,0691 \cdot 1450 \cdot 0,027^3 = 1,81 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Теоретичний крутний момент визначається по формулі [1]:  
для ведучого гвинта:

$$M_{T_1} = 0.6691 \cdot p \cdot d_H^3, \text{ Н} \cdot \text{м};$$
$$M_{T_1} = 0.6691 \cdot 4.8 \cdot 10^6 \cdot 0.027^3 = 63 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

для веденого гвинта:

$$M_{T_1} = -0.0048 \cdot p \cdot d_H^3, \text{ Н} \cdot \text{м}$$
$$M_{T_1} = -0.0048 \cdot 4.8 \cdot 10^6 \cdot 0.027^3 = -0.45 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Фактична подача:

$$Q_\phi = Q_T \eta_0;$$
$$Q_\phi = 1,81 \cdot 10^{-3} \cdot 0,96 = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инов. № подл.      | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              | 18             |

### 3.3 Потужність споживана гвинтовим насосом і вибір електродвигуна.

Теоретична потужність насоса визначається по формулі [1]:

$$N_T = p \cdot Q_T$$

$$N_T = 4.8 \cdot 10^6 \cdot 1.81 \cdot 10^{-3} = 8690 \text{ Вт}$$

#### 3.3.1. Розрахунок манжети та знаходження потужності тертя

Величина витоків:

$$\Delta Q = Q_T(1 - \eta_0);$$

$$\Delta Q = 1,81 \cdot 10^{-3}(1 - 0.96) = 7,24 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості:

$$\mu = \nu\rho;$$

$$\mu = 140 \cdot 10^{-6} \cdot 924 = 0,1294 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Величина зазору:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{12\mu l \Delta Q}{f_{оп} p}}$$

Опорна поверхня:

$$f_{оп} = \frac{\pi D}{l_{кон}};$$

де  $l_{кон}$  - контактна довжина

|             |                |              |              |                |
|-------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Ив. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|             |                |              |              |                |
| Изм         | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |

$$l_{\text{кон}} = \frac{t}{2} z;$$

$$l_{\text{кон}} = \frac{90}{2} 2 = 90 \text{ мм};$$

$$f_{\text{оп}} = \frac{3,14 \cdot 0,045}{0,09} = 1,57 \text{ м};$$

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 0,1294 \cdot 0,180 \cdot 7,24 \cdot 10^{-5}}{1,57 \cdot 4,4 \cdot 10^6}} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Знаходимо потужність тертя на гвинті

Колова швидкість:

$$u = r\omega = r \frac{2\pi n}{60};$$

$$u = 0,0225 \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1460}{60} = 3,4 \text{ м/с}$$

Сила тертя:

$$F = \mu \frac{du}{dy} f_{\text{оп}};$$

$$F = 0,1294 \frac{3,4}{0,2} 1,57 = 34,7 \text{ Н}$$

Момент тертя:

$$M = Fr;$$

$$M = 34,7 \cdot 0,0225 = 0,78 \text{ Н/м}$$

Потужність тертя:

$$N_{\text{тр}} = M\omega;$$

$$N_{\text{тр}} = 0,78 \cdot 151,8 = 118,4 \text{ Вт}$$

|               |                |               |                |
|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Инва. № подл. | Подпись и дата | Инва. № дубл. | Подпись и дата |
| Взам. инв. №  |                |               |                |
| Инва. № подл. |                |               |                |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 20 |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|

Знаходимо потужність тертя на манжеті

$$N_{тр} = M_{тр} \omega$$

Момент тертя на манжеті

$$M_{тр} = Fr = \psi p S = \psi r \pi D n;$$

де  $h$  – довжина контактної поверхні,  $h$ ;

$D$  – діаметр вала під манжету,  $D=20$  мм;

$\Psi$  – коефіцієнт тертя,  $\Psi=0,006$ ;

$$M_{тр} = 0,006 \cdot 4,4 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,02 \cdot 0,008 = 1,99 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$N_{тр} = 1,99 \cdot 151,8 = 303 \text{ Вт}$$

Для вибору електродвигуна нам необхідно знати механічний ккд насоса  $\eta_m$

З рекомендацій [1] варто приймати  $\eta_m = (0,7 \div 0,9)$ . Приймаємо значення  $\eta_m = 0,9$  -  
крайнє менше, що потужність, що розраховує би, електродвигуна була максима-  
льною.

$$N_{сп} = N_T + N_{тр} = 8690 + 118 + 303 = 9111 \text{ Вт}$$

$$N_{ел} = \frac{N_c}{\eta_m}, \text{Вт}$$

$$N = \frac{9111}{0,9} = 10123 \text{ Вт}$$

Вибираємо трьохфазний асинхронний двигун серії 4А [4]

Двигун АИР 132М4 У3:  $N = 11$  кВт

$$s = 3\%$$

$$n = 1500 \text{ об/хв}$$

Робоча частота обертання вала насосу [3]

$$n_p = n_H \left( 1 - \frac{N_{дв}}{N_{ном}} s \right)$$

$$n_p = 1500 \left( 1 - \frac{10,123}{11} 0,03 \right) = 1458 \text{ об/хв}$$

|             |                |              |             |                |                    |    |
|-------------|----------------|--------------|-------------|----------------|--------------------|----|
| Ив. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Ив. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 21 |
|             |                |              |             |                |                    |    |
|             |                |              |             |                |                    |    |
| Изм         | Лист           | № докум.     | Подп.       | Дата           |                    |    |

### 3.3. Осьові й радіальні сили діючі на гвинти насоса.

Для знаходження осьових і радіальних сил нам необхідно знати діаметри розвантажувальних поршнів на гвинтах, а так само діаметр підшипника ковзання на ведучому гвинті. Для цього скористаємося формулами [1]

$$P_1 = [2.529 \cdot d_H^2 - 0.7854(d_1^2 + d_2^2)] \cdot p, \text{ Н}$$

$$P_2 = [0.4193 \cdot d_H^2 - 0.7854 \cdot d_3^2] \cdot p, \text{ Н}$$

приймаємо  $P_2, P_1$  - осьові сили рівні нулю.

$$P_2 = [0.4193 \cdot d_H^2 - 0.7854 \cdot d_3^2] \cdot p = 0$$

звідки треба, щоб

$$d_3 = \sqrt{\frac{0.4193 \cdot 0.027^2}{0.7854}} = 0.0197 \text{ м}$$

приймаємо  $d_3 = d_2 = 20 \text{ мм}$

Знаходимо

$$d_1 = \sqrt{\frac{2.529 \cdot 0.039^2 - 0.7854 \cdot 0.028^2}{0.7854}} = 65 \text{ мм}$$

Осьова сила на привідному гвинті, що має осьове розвантаження може бути визначена по формулі [1].

$$P_1 = [2.529 d_H^2 - 0.7854(d_1^2 + d_2^2)] \cdot p, \text{ Н.}$$

$$P_1 = (2.529 \cdot 0.039^2 - 0.7854(0.065^2 - 0.028^2)) \cdot 6.3 \cdot 10^6 = -551 \text{ Н}$$

3) Для веденого гвинта осьова сила визначається по вираженню [1, с.92].

$$P_2 = (0.4193 \cdot d_H^2 - 0.7854 \cdot d_3^2) \cdot p, \text{ Н.}$$

|                |                |              |              |                |                    |    |
|----------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------------|----|
| Инвар. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 22 |
| Изм            | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |                    |    |
|                |                |              |              |                |                    |    |

$$P_2 = (0.4193 \cdot 0.039^2 - 0.7854 \cdot 0.028^2)6.3 \cdot 10^6 = 138.4 \text{ Н}$$

Максимальна радіальна сила  $P_r$ , що діє на ведений гвинт, спрямована нормально до площини осей гвинтів і дорівнює по величині [1].

$$P_r = 1,401pd_n^2, \text{ Н.}$$

$$P_r = 1.401 \cdot 4.8 \cdot 10^6 \cdot 0.027^2 = 4900 \text{ Н}$$

### 3.4. Вибір підшипника кочення.

Знаючи радіальну силу на провідному гвинті, а так само з огляду на залишкове осьове навантаження, приймаємо радіально - упорний підшипник.

Радіально - упорні підшипники вибираються виходячи з [2, с.335]

$$P_r = (XVF_r + YF_a)K_\sigma K_T$$

де  $F_r, F_a$  - радіальне й осьове навантаження;

X, Y - коефіцієнти радіального й осьового навантажень;

V - коефіцієнт обертання, що залежить від того яке кільце підшипника обертється (при обертанні внутрішнього кільця  $V=1$ );

$K_\sigma$  - коефіцієнт безпеки, що враховує характер навантаження (при спокійної  $K_\sigma=1$ );

$K_T$  - температурний коефіцієнт ( $K_T = 1$ );

Виходячи з [2,табл. 16.5]  $X=1, Y=0$ .

$$P_r = 13424.8 \text{ Н} = 13.5 \text{ кН}$$

Підбираємо підшипник виходячи з радіального навантаження за ГОСТ 4657-71

$d=40\text{мм}, D=52\text{мм}, B=15\text{мм}, C=90\text{кН}$ .

Визначимо ресурси роботи даного підшипника. Динамічна вантажопідйомність і ресурс зв'язані емпіричною залежністю [2,с.332]:

$$L = \left[ \frac{C}{P} \right]^p$$

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инов. № подл.  | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инов. № дубл.  |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 23 |
|     |      |          |       |      |                    |    |



де  $L$  - ресурс млн. обертів;

$P$  - еквівалентне навантаження, Н;

$p = 3$  для кулькових підшипників.

$$L = \left[ \frac{90}{13.5} \right]^3 = 296.3 \text{ млн.об.}$$

Номинальна довговічність (ресурс) виражена в годинах [2,с.334]:

$$L_{\text{п}} = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n};$$
$$L_{\text{п}} = \frac{296,3 \cdot 10^6}{60 \cdot 3000} = 1646 \text{ год.}$$

### 3.5. Розміри підшипників ковзання.

Розрахунок виконується по питомому тиску  $p$  в підшипнику й величині  $pv$ .

Питомий тиск у підшипнику [3]:

$$p' = \frac{P}{dl} \leq [p]$$

де  $d$  й  $l$  - діаметр і довжина підшипника;

$P$  - зусилля діюче на підшипник.

Приймаємо  $p = 3$  МПа (виходячи з [3]).

$$l_1 = \frac{P}{pd_1};$$
$$l_1 = \frac{4900}{3 \cdot 10^6 \cdot 0.045} = 0.036 \text{ м};$$

$$l_2 = \frac{P}{pd_2};$$
$$l_2 = \frac{4900}{3 \cdot 10^6 \cdot 0.02} = 0.082 \text{ м.}$$

|               |                |              |               |                |                    |    |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|--------------------|----|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 24 |
| Изм           | Лист           | № докум.     | Подп.         | Дата           |                    |    |
|               |                |              |               |                |                    |    |
|               |                |              |               |                |                    |    |

Розміри вкладишів під обрані підшипники ковзання вибираємо виходячи з конструктивних міркувань, і перевіряємо вкладиші по динамічних навантаженнях.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60};$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 3000}{60} = 314 \text{ рад/с}$$

максимальна швидкість поверхонь тертя

а) для вкладиша з розмірами  $d = 0.045\text{м}$ ,  $l = 0.04\text{м}$

$$v_1 = \frac{d_1 \omega}{2};$$

$$v_1 = \frac{0.045 \cdot 151}{2} = 3,4 \text{ м/с}$$

Динамічне навантаження

$$pV = \frac{P_r}{dl_1} v_1$$

$$pV = \frac{4900 \cdot 3,4}{0.045 \cdot 0.04} = 9.3 \text{ МПа}$$

що нижче припустимих значень  $pV = 40\text{МПа}$

для вкладиша з розмірами  $d = 0.02\text{м}$ ,  $l = 0.08\text{м}$

$$v_2 = \frac{d_2 \omega}{2};$$

$$v_1 = \frac{0.02 \cdot 151}{2} = 1,5 \text{ м/с}$$

$v_{дон}$  для композицій (термопласти):  $v_{дон} = 5 \text{ м/с}$

$v < v_{дон}$ ;

Динамічне навантаження

|              |                |              |              |                |                    |    |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------------|----|
| Инд. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 25 |
| Изм          | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |                    |    |
|              |                |              |              |                |                    |    |
|              |                |              |              |                |                    |    |

$$pV = \frac{P_r}{dl_2} v_2$$

$$pV = \frac{4900 \cdot 1,5}{0,02 \cdot 0,08} = 4,6 \text{ МПа}$$

що нижче припустимих значень  $pV = 20 \text{ МПа}$

### 3.6. Розрахунок пружини запобіжного клапана.

Розрахунок пружини будемо робити виходячи з [1].

Посилаючись на [1] приймаємо  $v_{\text{доп}} = 5 \text{ м/с}$  – швидкість руху масла в клапані.

Знайдемо діаметр сідла

$$d_c = \sqrt{\frac{4Q}{\pi U_{\text{дон}} \eta_{\text{об}}}};$$

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,74 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,96}} = 0,021 \text{ м}$$

Коефіцієнт витрати  $\mu$  для конічних клапанів (рисунок 2.2) масляних насосів можна прийняти 0,56.

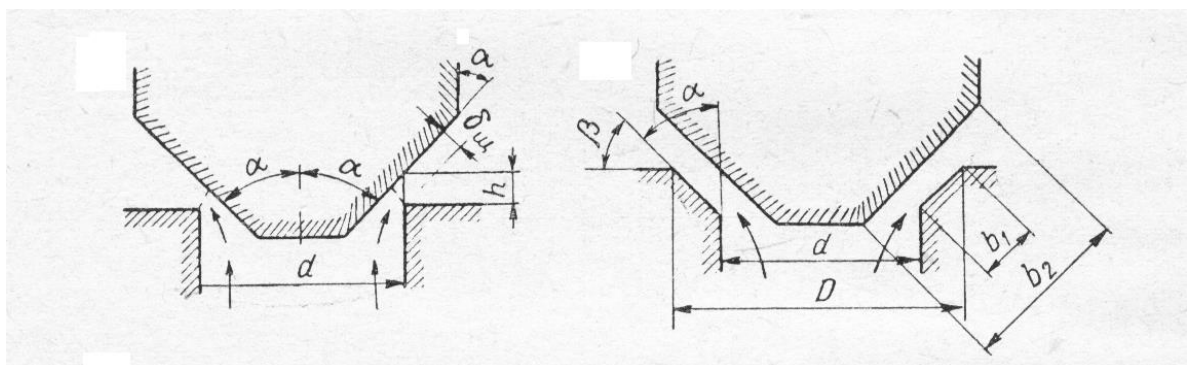


Рисунок 2.2 Конічний клапан.

|                |                |              |              |                |
|----------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инвар. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                |                |              |              |                |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

131.09.ВР.000.00ПЗ

Ширину сідла конічного клапана приймають  $b_1 = 2,5 \text{ мм}$ .

приймаємо  $b_2 = 2b_1 = 5 \text{ мм}$ .

Великий діаметр конусного сідла конічного клапана

$$D = d_c + 2b_1$$

$$D = 21 + 5 = 26 \text{ мм}$$

Для розрахунку пружини нам необхідно знати середній діаметр конусного сідла

$$d_{cp} = \frac{D + d_c}{2};$$

$$d_{cp} = \frac{26 + 21}{2} = 23,5 \text{ мм}$$

Знаходимо висоту підйому клапана:

$$h = \frac{Q}{\mu \pi d_{cp} \cos \beta \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}};$$

$$h = \frac{1,74 \cdot 10^{-3}}{0,56 \cdot 3,14 \cdot 0,0235 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 4,8 \cdot 10^6}{924}}} = 1,4 \text{ мм}$$

Починаємо безпосередньо розрахунок пружини.

Сила діюча на пружину дорівнює  $P_n = p_n - G_{жс}$ ;

де  $G_{жс}$  - вага рідини (приймаємо рівним нулю).

Сила попереднього стиску пружини

$$P_n = 1,2 p_n \frac{\pi d_c^2}{4};$$

|               |                |              |               |                |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инва. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инва. № дубл. | Подпись и дата |
|               |                |              |               |                |
|               |                |              |               |                |
|               |                |              |               |                |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

131.09.ВР.000.00ПЗ

$$P_{\Pi} = 1,2 \cdot 4,8 \cdot 10^6 \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} = 1996 \text{ Н}$$

приймаємо зусилля

$$P_{\Pi 0} = (0,5 \div 0,8)P_H$$

$$P_{\Pi 0} = (0,5 \div 0,8)1996 = (998 \div 1596)\text{Н}$$

Приймаємо  $D_{\Pi 0} = 16 \text{ мм}$

згідно [3] вибираємо стандартну пружину 361.

Згідно [1]

$$\sigma_{\text{ж}} = 140 \text{ кг/мм}^2$$

$$\Gamma = 0,5[D_{\Pi}] = 7000 \text{ кг/см}^2$$

$$d_{\text{пр}} = 2 \text{ мм}$$

$$\frac{D_n}{d_{\text{пр}}} = \frac{16}{2} = 8 \Rightarrow k = \frac{1,25 + 1,21}{2} = 1,23.$$

Робоче число витків пружини

$$C_0 = \frac{P_{\Pi} - P_{\text{оп}}}{h_{\text{кл}}}$$

$$C_0 = \frac{1996 - 1596}{0.0014} = 22.1 \text{ кН/м} \approx 22 \text{ кН/м}$$

Кількість витків

$$i_p = \frac{Gd_{\text{пр}}^4}{8D_H C};$$

$$C = \frac{C_p}{g};$$

$$C = \frac{1.8 \cdot 10}{9.81} = 18.3;$$

$$i_p = \frac{7.85 \cdot 10^5 \cdot 0.2^4}{8 \cdot 1.6^3 \cdot 18.3} = 20.1$$

Приймаємо  $i_p = 20;$

|                    |                |              |               |                |
|--------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл.      | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |               |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.         | Дата           |
|                    |                |              |               |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |               | 28             |

Знаходимо повне число витків

$$i_{\text{пов}} = i_p + (1.5 + 2);$$

$$i_{\text{пов}} = 20 + 2 = 22$$

Попереднє осідання пружини

$$\lambda_0 = \frac{P_{\text{по}}}{C_0};$$

$$\lambda_0 = \frac{7596.29}{18000} = 0.42$$

Довжина стисненої пружини

$$l_{\text{соб}} = (i_{\text{п}} - 0.5)d_{\text{п}};$$

$$l_{\text{соб}} = (1.5 - 0.5)2 = 29 \text{ мм}$$

Довжина ненавантаженої пружини

$$l_0 = l_{\text{соб}} + i_{\text{п}}(f - d_{\text{п}});$$

$$f = \lambda_0 + d_{\text{п}} = 0.42 + 2 = 2.42;$$

$$l_0 = 29 + 15(2.42 - 2) = 35.3 \text{ мм}$$

Максимальне осідання

$$\lambda_{\text{max}} = l_0 - l_{\text{соб}};$$

$$\lambda_{\text{max}} = 35.3 - 29 = 6.3 \text{ мм}$$

Максимальне навантаження на пружину

$$P_{\text{пр max}} = C_0 \lambda_{\text{max}};$$

$$P_{\text{пр max}} = 18 \cdot 2 \cdot 10^{-1} = 8 \text{ кг (80Н)}$$

Максимальна напруга в пружині

$$\tau_{\text{пр}} = k \frac{8P_{\text{пр max}} D_{\text{ср}}}{\pi d_{\text{п}}^3};$$

$$\tau_{\text{пр}} = 1.23 \frac{8 \cdot 8 \cdot 0.023}{3.14 \cdot 0.002^3} = 2.55 \cdot 10^6 \text{ Па} < 7 \text{ МПа}$$

що й було потрібно довести.

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инвар. № подл.     | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              | 29             |

### 3.7. Розрахунок болтів і штифтів

Приймаємо конструктивно болти й штифти діаметром 8 мм. Для більшості нарізних сполучень необхідне попереднє затягування болтів, що забезпечує щільність з'єднання й відсутність взаємних зсувів деталей стику, що порушують роботу з'єднання.

Після попереднього затягування болта силою  $F_3$  болт розтягується, а деталі стику стискаються. При дії на болтове з'єднання зовнішньої сили  $F$  тільки частина її  $x F$  додатково навантажує болти а іншу частину  $(1 - x) F$  іде на часткове розвантаження деталей стику від стиску. Коефіцієнт  $x$ , що враховує долю зовнішнього навантаження  $F$ , що доводиться на болт, називається коефіцієнтом зовнішньої (основний) навантаження.

Так, як завдання на розподіл сили  $F$  між болтом і стиком невизначена, то вона вирішується за допомогою умови сумісності деформації.

При дії на з'єднання зовнішньої сили  $F$  до розкриття стику стиску з'єднаних болтом деталей зменшується на стільки, на скільки болтів розтягується:

$$(1 - x) * P * \lambda_0 = x * P * \lambda_b$$

де  $\lambda_0$  – коефіцієнт піддатливості з'єднаних болтом деталей.

$\lambda_b$  – коефіцієнт піддатливості болта, тобто подовження болта при розтягуванні під дією сили в 1Н.

При великому коефіцієнті коефіцієнт піддатливості  $\lambda_b$  болта й малому коефіцієнту піддатливості  $\lambda_0$  з'єднаних деталей, наприклад при застосуванні в стикі товстої пружної прокладки, більша частина зовнішньої сили  $F$  передається на болт. При відсутності пружних прокладок

|               |                |              |               |                |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
|               |                |              |               |                |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 30 |
|     |      |          |       |      |                    |    |

коефіцієнт зовнішнього навантаження  $x=0.2...0.3$ . При наявності пружних прокладок коефіцієнт  $x$  має велике значення й може бути близьким до одиниці.

Умова неможливості розкриття стику:

$$F_3 = k * (1 - x) * F$$

де  $k$  – коефіцієнт затягування болта, що враховує силу  $F_3$  попередні затягування болта; у з'єднаннях без прокладок при постійній зовнішній навантаженні до  $=1.25...2$ . при змінній зовнішній навантаженні до  $=2...4$ . За умовами герметичності в з'єднаннях із прокладками коефіцієнт  $k$  рекомендується підвищувати до 5, а іноді й більше.

Сила  $F_0$ , що розтягує, складається з сили що діє на болт після попереднього затягування й зовнішньої сили  $F$ .

$$F_0 = F_3 + x * F = k * (1 - x) * F + x * F$$

або

$$F_0 = [k * (1 - x)] * F$$

Проектний розрахунок болта, для якого можливе наступне затягування, проводять із урахуванням крутного моменту, викликаного цієї затяжкою, по розрахунковій силі, що рівняється  $1.3 * F_0$

$$\frac{\pi * d_1^2}{4} = 1,3 * \frac{F_0}{[\delta_p]}$$

Допустиме напруження на розтягання:

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Ив. № подл.        | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              | 31             |



$$[\delta_p] = \frac{\delta_T}{[S]}$$

де  $\sigma_T$  – границя плинності матеріалу болта;

$[S]$  - припустимий коефіцієнт запасу міцності.  $[S]$  залежить від того, чи контролюється затягування болта. При неконтрольованому затягуванні  $[S]$  для болтів малих діаметрів приймають більшим, а для болтів більших діаметрів - меншим.

Приймаємо:

$$k = 5; x = 0.5; \sigma_T = 240 \text{ Мпа}; [S] = 4$$

$$F_0 = \frac{\pi * d_1^2 * \delta_p}{4 * 1,3} = \frac{\pi * d_1^2 * \delta_T}{4 * 1,3 * [S]}$$

$$F_0 = \frac{\pi * 0,008^2 * 240 * 10^6}{4 * 1,3 * 4} = 2320 \text{ Н.}$$

$$F = \frac{F_0}{k * (1 - x) + x}$$

$$F = \frac{2320}{5 * (1 - 0,5) + 0,5} = 773 \text{ Н.}$$

Сила затягування:

$$F_3 = F_0 - k * F;$$

$$F_3 = 2320 - 773 = 1547 \text{ Н.}$$

при навантаженні поперечною силою болт розраховують на зріз:

$$\tau_c = \frac{F}{\left( \frac{\pi * d_0^2}{4} \right)} \leq [\tau_c]$$

|                    |                |              |               |                |
|--------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл.      | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |               |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.         | Дата           |
|                    |                |              |               |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |               | 32             |

де  $\tau_3$  – розрахункову напругу зрізу болта;

$F$  - поперечна зовнішня сила, що зрізує болт;

$[\tau_c]$  – припустиме навантаження на зріз болта.

$$[\tau_c] = (0.2 \dots 0.3) \sigma_T$$

приймаємо  $[\tau_3] = 0.25 \cdot \sigma_T$

$$F \leq \frac{d_0^2 \cdot \pi \cdot [\tau_c]}{4} = \frac{d_0^2 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot \sigma_T}{4};$$

$$F = \frac{0,008^2 \cdot 3,14 \cdot 0,25 \cdot 240 \cdot 10^6}{4} = 3007 \text{ Н.}$$

### 3.8. Розрахунок корпусу

Розрахунок товщини стінок корпусів насосів виконується виходячи з величини максимального тиску  $p_i$  рідини й обраного матеріалу корпусу згідно [1]

Якщо відношення зовнішнього радіуса  $r_2$  корпусу до внутрішнього його радіуса  $r_1 > 1,15$ , то корпус варто розглядати як товстостінний циліндр.

При розрахунку корпусів із пластинчастого матеріалу (сталь) товщину стінки варто знаходити по формулі:

$$\delta_c = r_1 \left( \sqrt{\frac{[\sigma_p]}{[\sigma_p] - 2 \cdot p_i}} - 1 \right),$$

Допустиме напруження  $[\sigma_p]$  для сталі приймається рівним 800 – 1000 кг/см<sup>2</sup>

При відношенні  $\frac{r_2}{r_1} \leq 1,15$  корпуса розраховують по формулах для тонкостінних циліндрів. Можна користуватися наступною спрощеною формулою:

|                    |                |              |             |                |
|--------------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| Ив. № подл.        | Подпись и дата | Взам. инв. № | Ив. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |             |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.       | Дата           |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |             | 33             |

$$\delta_c = \frac{P_i * r_i}{[\delta_p]}$$

З огляду на можливості відхилення в товщині стінки й деякі наступні фактори (корозія, зношування) отриману розрахункову товщину стінки збільшують на 0,1 -0,5 см.

Розрахуємо корпус:

$$\delta_c = 7.15 \left( \sqrt{\frac{40 * 10^6 + 0.4 * 5 * 10^6}{40 * 10^6 - 1.3 * 5 * 10^6}} - 1 \right) = 0.86 \text{ см}$$

конструктивно приймаємо  $\delta_c = 1 \text{ см}$

### 3.9. Розрахунок кришок корпусів

Кришки корпусів насосів і запобіжно пропускних клапанів згідно [1] можна розглядати як круглі пластини закріплені по контуру й навантажені рівномірно розподіленим навантаженням.

Розрахункова формула для визначення товщини  $\delta_k$  стінки кришки має вигляд:

$$\delta_k = r_r \sqrt{\frac{0,75 * P_i}{[\delta_u]}}$$

де  $r_k$  – внутрішній радіус кришки, що рівняється внутрішньому радіуса корпуса, див.

Допустиме напруження  $[\delta_u]$  для сталі у можна прийняти рівним

750 – 900  $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ . Отриману розрахунком товщину стінки  $\delta_k$  необхідно збільшити на 0,1 – 0,3 см.

Розрахуємо  $\delta_k$ :

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инвар. № подл.     | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              | 34             |

$$\delta_k = 7.15 \sqrt{\frac{0.75 \cdot 4.8}{75}} = 1.56 \text{ см}$$

Приймаємо  $\delta_k = 1.6 \text{ мм}$

### 3.10. Розрахунок шпонкового з'єднання.

Для вала ( $d_B = 30 \text{ мм}$ ) визначаємо параметри шпонки [7] для діаметра вала  
випишуємо параметри шпонки:

$$b \times h = 10 \times 8 \text{ мм}; l = 40 \text{ мм}; t_1 = 5 \text{ мм}.$$

Довжину шпонки призначають зі стандартного ряду. Напруга зминання вузьких граней шпонки не повинне перевищувати допустиму, тобто повинна виконуватися умова:

$$\sigma_{сж} = F/A_{сж} \leq [\sigma_{сж}]$$

де  $F = 2T/d$ ;

$T$  – переданий обертаючий момент,  $\text{Н}^*\text{м}$ ;

$d$  - діаметр вала в місці вставки шпонки;

площа зминання  $A_{сж} = (h - t_1) \cdot l_p$ ;

$l_p$  – робоча довжина шпонки.

Для шпонки із плоскими торцями  $l_p = l$ , при закруглених торцях

$$l_p = l - b.$$

При постійному навантаженні допускається напруга зминання  $[\sigma_{сж}] \leq 120 \text{ Мпа}$ ; при коливаннях навантаження варто зменшувати на 40-50%.

З врахуванням наведених вище значень  $F$  й  $A_{сж}$  формулу приводять до виду:

$$\delta_{см} = \frac{2 * T}{d l_p (h - t_1)} \leq [\delta_{см}]$$

Якщо при перевірці шпонки  $\sigma_{сж}$  виявляються значно нижче  $[\sigma_{сж}]$ , то можна взяти шпонку меншого перетину – як для вала попереднього діапазону діаметрів, але обов'язково перевірити її на зминання.

|             |                |              |             |                |
|-------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| Ив. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Ив. № дубл. | Подпись и дата |
|             |                |              |             |                |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 35 |
|     |      |          |       |      |                    |    |

Якщо ж  $\sigma_{сж}$  виявиться більшим  $[\sigma_{сж}]$ , то допускається встановлення двох шпонок під кутом  $180^0$  ( передбачається, що кожна шпонка сприймає половину навантаження), однак більш раціонально перейти на шліцеве з'єднання.

Для відносно тонких валів діаметром приблизно до 44 мм допускається встановлення сегментних шпонок.

З урахуванням  $N = T \cdot \omega$  з'єднання перевіряють на зминання:

$$\delta_{см} = \frac{2 \cdot N}{\omega \cdot dl \cdot (h - t_1)} \leq [\delta_{см}]$$

а шпонку - на зріз

$$\tau_{ср} = \frac{2 \cdot N}{\omega \cdot dl \cdot b} \leq [\tau_{ср}] \approx 0,6 \cdot [\delta_{см}]$$

Підставляючи дані у формули:

$$\delta_{см} = \frac{2 \cdot 63}{0,03 \cdot 0,040(0,008 - 0,005)} = 35,0 \text{ МПа} \leq 120 \text{ МПа}$$

$$\tau_{ср} = \frac{2 \cdot 63}{0,03 \cdot 0,04 \cdot 0,010} = 1,1 \text{ МПа} \leq 50 \text{ МПа}$$

### 3.11. Розрахунок на жорсткість

Згідно [3], вал, розрахований з умов динамічної міцності, може не забезпечувати нормальної роботи зубчастих коліс і підшипників, якщо під дією переданих зусиль він буде деформуватися.

Розрахунок на жорсткість зводиться до визначення прогинів в куту нахилу осі вала ( і до зіставлення їх із що допускають). Допустимий прогин вала не повинен перевищувати 0.0001 - 0.0005 відстані між опорами або під зубчастими колісьми 0.01 - 0.03 модуля в см. Кути нахилу осі вала в опорах не повинні перевищувати 0.001 радіан при зубчастих колесах; теж у радіанах, не більше:

0.0025 - для радіальних шарикопідшипників;

0.0016 - для конічних роликотпідшипників;

0.005 - для однорядних роликотпідшипників;

0.05 - для сферичних підшипників;

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инвар. № подл.     | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              | 36             |

Дійсні деформації вала (відповідно до принципу накладення деформації) визначають алгебраїчним додаванням деформації від кожної сили.

Для перевірки вала на жорсткість по куті закручування, приймаючи  $[\varphi] = (4.4 - 8.8) \cdot 10^3$  радіан (0.25 – 0.50) на 1 м довжини вала, користуються формулою [1]

$$d \geq 12,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}},$$

де  $d$  у см,  $N$  у кВт,  $n$  у об/хв.;

Підставляючи дані у формулу маємо:

$$d \geq 12,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{11}{1450}} = 1,1 \text{ см}$$

Діаметр вала  $d_B = 30 \text{ мм} = 3 \text{ см}$ .

Оскільки  $3 > 1,1$  умова жорсткості виконана.

|                    |                |              |               |                |
|--------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл.      | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |               |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.         | Дата           |
|                    |                |              |               |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |               |                |
|                    |                |              |               | 37             |

#### 4. Відшкодування шкоди працівникам у разі ушкодження їх здоров'я [8]

У разі ушкодження здоров'я працівника, обумовленого нещасним випадком на виробництві або професійним захворюванням, йому повинно бути надане відповідне відшкодування. У разі смерті працівника відшкодування надається членам його сім'ї. Відшкодування здійснює Фонд соціального страхування від нещасних випадків (далі Фонд) відповідно до Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності».

Страхові виплати складаються з:

- виплати втраченого заробітку (або відповідної його частини) залежно від ступеня втрати потерпілим професійної працездатності (щомісячна страхова виплата);
- виплати одноразової допомоги потерпілому (членам його сім'ї та особам, які перебували на утриманні померлого);
- виплати пенсії по інвалідності потерпілому;
- виплати пенсії у зв'язку з втратою годувальника;
- виплати пенсії дитині, яка народилася інвалідом внаслідок травмування на виробництві або професійного захворювання її матері під час вагітності;
- виплати витрат на медичну та соціальну допомогу.

Розмір щомісячної страхової виплати встановлюється відповідно до ступеня втрати професійної працездатності та середньомісячного заробітку, що потерпілий мав до ушкодження здоров'я, і не може його перевищувати. Ступінь втрати працездатності потерпілим установлюється медико-соціальною експертною комісією (МСЕК) за участю Фонду і визначається у відсотках професійної працездатності, яку мав потерпілий до часу ушкодження здоров'я.

Одноразова допомога надається потерпілому у випадку стійкої втрати працездатності. Її сума визначається як добуток середньомісячного заробітку потерпілого  $Z_{cm}$  на відсоток втрати професійної працездатності  $B$ :

|                |                |              |              |                |                    |    |
|----------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------------|----|
| Инвар. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 38 |
| Изм            | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |                    |    |
|                |                |              |              |                |                    |    |

$$C_p = 3_{CM}B,$$

але не може перевищувати чотирикратного розміру граничної суми місячної заробітної плати (доходу), з якої і нараховуються внески до Фонду.

Розмір одноразової допомоги може бути зменшеним (до 50%), якщо при розслідуванні нещасного випадку комісією було виявлено порушення потерпілим нормативно-правових актів з охорони праці.

У разі смерті потерпілого витрати на його поховання несе Фонд, а сім'ї померлого сплачується одноразова допомога, розмір якої повинен бути не меншим за п'ятирічну заробітну плату потерпілого та однорічний заробіток потерпілого на кожну особу, яка перебувала на його утриманні, а також на його дитину, яка народилася не пізніше десятимісячного строку після смерті потерпілого.

Пенсія по інвалідності внаслідок нещасного випадку на виробництві або професійного захворювання виплачується потерпілому відповідно до законодавства про пенсійне забезпечення. При цьому неповнолітнім особам, які народилися інвалідами внаслідок травмування на виробництві або професійного захворювання матері під час її вагітності, а також учням, студентам, аспірантам тощо, які стали інвалідами під час відповідних занять або робіт, Фонд провадить щомісячні страхові виплати як інвалідам дитинства, а після досягнення ними 16 років — у розмірі середньомісячного заробітку, що склався на території області (міста) проживання цих осіб, але не менше середньомісячного заробітку в країні на день виплати.

У разі смерті потерпілого право на одержання щомісячних страхових виплат мають непрацездатні особи, які перебували на утриманні померлого або мали на день його смерті право на одержання від нього утримання, а також дитина померлого, яка народилася не пізніше десятимісячного строку після його смерті.

Такими непрацездатними особами є:

1) діти, які не досягли 16 років; діти з 16 до 18 років, які не працюють, або старші за цей вік, але через вади фізичного або розумового розвитку самі не спро-

|               |                |              |              |                |     |      |          |       |                    |    |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|-----|------|----------|-------|--------------------|----|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |     |      |          |       | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 39 |
|               |                |              |              |                |     |      |          |       |                    |    |
|               |                |              |              |                | Изм | Лист | № докум. | Подп. |                    |    |



можні заробляти; діти, які є учнями, студентами (курсантами, слухачами, стажистами) денної форми навчання — до закінчення навчання, але не більш як до досягнення ними 23 років;

2) жінки, які досягли 55 років, і чоловіки, які досягли 60 років, якщо вони не працюють;

3) інваліди — члени сім'ї потерпілого на час інвалідності;

4) неповнолітні діти, на утримання яких померлий виплачував або був зобов'язаний виплачувати аліменти;

5) непрацездатні особи, які не перебували на утриманні померлого, але мають на це право.

Право на одержання страхових виплат у разі смерті потерпілого мають також дружина (чоловік) або один з батьків померлого чи інший член

сім'ї, якщо він не працює та доглядає дітей, братів, сестер або онуків потерпілого, які не досягли 8-річного віку.

Фонд фінансує витрати на медичну та соціальну допомогу, в тому числі на додаткове харчування, придбання ліків, спеціальний медичний, постійний сторонній догляд, побутове обслуговування, протезування, санаторнокурортне лікування, придбання спеціальних засобів пересування тощо, якщо потребу в них визначено висновками МСЕК.

Усі розглянуті виплати здійснюються Фондом в основному за рахунок зібраних страхових внесків роботодавців. Працівники не несуть ніяких витрат на страхування від нещасного випадку.

Розміри страхових внесків для роботодавців встановлюються у відсотках до сум фактичних витрат на оплату праці найманих працівників і визначаються страховим тарифом, який диференціюється за групами галузей економіки (видами робіт) залежно від класу професійного ризику виробництва.

Чинним законодавством встановлено 20 класів професійного ризику виробництва, для яких страхові тарифи (у відсотках до фактичних витрат на оплату праці найманих працівників) коливаються від 0,84 (для 1-го класу) до 13,8 (для

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инвар. № подл.     | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
|                    |                |              |              | 40             |

20-го класу). Клас професійного ризику виробництва для окремої галузі економіки характеризується інтегральним показником професійного ризику виробництва, що визначається як відношення витрат у минулому календарному році в галузі економіки на відшкодування шкоди потерпілим на виробництві до фактичних витрат на оплату праці у минулому календарному році в цій галузі економіки.

Роботодавець може за рахунок власних коштів додатково здійснювати виплати потерпілим та членам їх сімей відповідно до колективного чи трудового договору.

За працівниками, які втратили працездатність у зв'язку з нещасним випадком на виробництві або професійним захворюванням, зберігаються місце роботи (посада) та середня заробітна плата на весь період до відновлення працездатності або до встановлення стійкої втрати професійної працездатності. У разі неможливості виконання потерпілим попередньої роботи проводиться його навчання і перекваліфікація, а також працевлаштування відповідно до медичних рекомендацій.

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Ив. № подл.        | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              |                |
|                    |                |              |              | 41             |

## 5. Виробничий процес в інженерній діяльності [11]

Виробничий процес – це сукупність взаємозалежних основних, допоміжних і обслуговуючих процесів праці і знарядь праці з метою створення споживчих вартостей – корисних предметів праці, необхідних для виробничого або особистого споживання, згідно[18]. У процесі виробництва робітники впливають на предмети праці за допомогою знарядь праці і створюють нові готові продукти, наприклад, верстати, автомобілі, товари народного споживання і т. д. Предмети і знаряддя праці, будучи речовинними елементами виробництва, на підприємстві знаходяться у визначеному взаємозв'язку один з одним: конкретні предмети може бути оброблено тільки визначеними знаряддями праці; вже самі по собі вони мають системні властивості. Однак жива праця повинна охопити ці речі і тим самим почати процес перетворення їх у продукт. Таким чином, виробничий процес – це насамперед трудовий процес, оскільки ресурси, використовувані людиною на його вході, як інформація, так і матеріальні засоби виробництва є продуктом попередніх процесів праці. Розрізняють основні, допоміжні та обслуговуючі виробничі процеси (рис. 9.1).

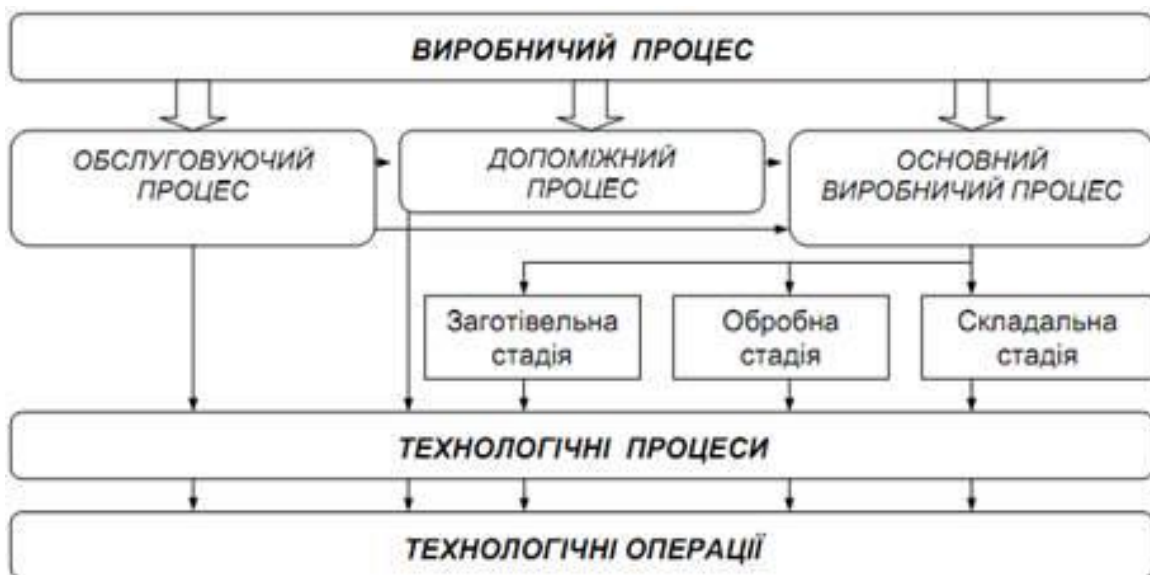


Рисунок 9.1 – Структура виробничого процесу

Основні виробничі процеси – це та частина процесів, у якій відбувається безпосередня зміна форм, розмірів, властивостей внутрішньої структури предме-

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инд. № подл.   | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инд. № дубл.   |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

131.09.ВР.000.00ПЗ

тів праці і перетворення їх у готову продукцію. Наприклад, на підприємстві сільського машинобудування процеси виготовлення деталей і складання з них підвuzлів, вузлів виробів у цілому.

До допоміжних виробничих належать такі процеси, результати яких використовуються безпосередньо в основних процесах, для забезпечення їх ефективного здійснення. Прикладами таких процесів є: виготовлення інструментів, пристосувань, засобів механізації й автоматизації власного виробництва, запасних частин для ремонту устаткування.

Обслуговуючі виробничі процеси – це процеси праці з надання послуг, необхідних для здійснення основних і допоміжних виробничих процесів. Наприклад, транспортування матеріальних потужностей, складські операції усіх видів, технічний контроль якості продукції й ін.

Основні, допоміжні й обслуговуючі виробничі процеси мають тенденції розвитку й удосконалення. Так, багато допоміжних виробничих процесів може бути передано спеціалізованим бригадам, що в більшості випадків забезпечує більш ефективно їх виконання. З підвищенням рівня механізації й автоматизації основних і допоміжних процесів, обслуговуючі процеси поступово стають невід’ємною частиною основного виробництва, відіграють організуючу роль в автоматизованих і особливо у гнучких автоматизованих виробництвах.

Методи організації виробництва являють собою сукупність способів, прийомів і правил раціонального сполучення основних елементів виробничого процесу в просторі і часі на стадіях функціонування, проектування й удосконалення організації виробництва.

Метод організації індивідуального виробництва. Цей метод використовується в умовах одиничного випуску продукції або виробництва її малими серіями і припускає: відсутність спеціалізації на робочих місцях; застосування широкоуніверсального устаткування, розміщення його групами за функціональним призначенням; послідовне переміщення деталей з операції на операцію партіями.

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инд. № подл.   | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инд. № дубл.   |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 43 |
|     |      |          |       |      |                    |    |
|     |      |          |       |      |                    |    |

Умови обслуговування робочих місць відзначаються тим, що робітники майже постійно користуються одним набором інструментів і невеликою кількістю універсальних пристосувань, потрібна лише періодична заміна інструменту, що затупився або зносився. На противагу цьому підвезення деталей до робочих місць і відправлення деталей за видачі нового завдання або за приймання закінченої роботи відбувається кілька разів протягом зміни. Тому виникає необхідність гнучкої організації транспортного обслуговування робочих місць.

Організації виробництва потоковим методом. Застосування цього методу забезпечує виготовлення виробів одного найменування або типового ряду і потребує сукупності спеціальних організаційних заходів побудови виробничого процесу: розташування робочих місць за ходом технологічного процесу; спеціалізації кожного робочого місця для виконання однієї з операцій; передачі предметів праці з операції на операцію поштучно і дрібними партіями відразу ж після закінчення обробки; ритмічності випуску, синхронності операцій; детального пророблення організації технічного обслуговування робочих місць.

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

Потокове виробництво – це найбільш ефективна форма організації виробництва по масовому випуску продукції, що забезпечує високе зростання продуктивності праці, безперервність виробничого процесу і найвищий рівень якості. Особливість організації потокового виробництва на сучасному етапі є керування

|                |                |
|----------------|----------------|
| Ив. № подл.    | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Ив. № дубл.    |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
|     |      |          |       |      | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 44 |
|     |      |          |       |      |                    |    |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                    |    |

великими колективами людей і динаміка розвитку галузей промислового виробництва, тобто швидка зміщуваність 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 потокові 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 потокової лінії:

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

Потокові лінії можуть відрізнятися одна від одної за такими характеристиками:

1. номенклатура виробів, що виготовляються;
2. рівень безупинності процесу;

|              |                |              |              |                |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Иув. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Иув. № дубл. | Подпись и дата |
|              |                |              |              |                |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
|     |      |          |       |      | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 45 |
|     |      |          |       |      |                    |    |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                    |    |

3. рівень механізації та автоматизації;
4. умови наладки обладнання та ін.

При організації поточкових ліній розраховуються:

1. такт;
2. число робочих місць та робочих на поточковій лінії;
3. синхронізація операцій; швидкість руху та довжина робочої стрічки конвеєру;
4. 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 багатроверстатного 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 руху предметів праці: послідовний, рівнобіжний і змішаний.

Послідовний вид руху предметів праці має максимальний час складання і, як наслідок, найвищу собівартість. Рівнобіжний вид рухів предметів праці має мінімальний час зборки усіх видів руху предметів праці, але потребує обов'язкової кратності часу оброблення виробу на всіх операціях, а краще – рівності. Собівартість мінімальна.

Змішаний вид руху предметів праці має середній час складання виробу порівняно з рівнобіжним і послідовним видами і середнє значення собівартості. При

|                |                |
|----------------|----------------|
| Ивв. № подл.   | Подпись и дата |
| Взам. ивв. №   | Ивв. № дубл.   |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 46 |
|     |      |          |       |      |                    |    |
|     |      |          |       |      |                    |    |

цьому виді деталі можуть передаватися як поштучно, так і серіями або партіями, що виключає недоліки за тривалістю складання і перезавантаженню або недовантаженню робочих місць, що характерно для перших двох видів.

Потоковий метод організації можна застосовувати за дотриманням таких умов:

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

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

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

Організація потокового виробництва пов'язана з проведенням низки розрахунків і підготовчих робіт, які пов'язані з апаратурно-механічним оснащенням виробництва та узгодження усіх його елементів. Вихідним моментом за проектування обсягу випуску продукції є такт потоку.

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

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 регулю-

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инд. № подл.   | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инд. № дубл.   |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 47 |
|     |      |          |       |      |                    |    |
|     |      |          |       |      |                    |    |



вання такту роботи і розподілу предметів праці між рівнобіжними робочими місцями на лінії. Вибір транспортного засобу залежить від габаритів, маси оброблюваних деталей, типу і кількості устаткування, такту, ступеня синхронізації операцій.

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

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

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

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

Поставлена мета реалізується за допомогою створення групових, багатопредметних потокових ліній і використання принципу витягування в управлінні

|               |                |              |               |                |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Инов. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подпись и дата |
|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
|     |      |          |       |      | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 48 |
|     |      |          |       |      |                    |    |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                    |    |

ходом виробництва. Основними правилами організації виробничого процесу в цьому випадку є:

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

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

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

Багато іноземних конкурентів виступають за потокову систему виробництва з «виштовхуванням» оброблюваних виробів, що передбачає більш тісну координацію роботу виробничих ділянок. У цьому випадку оброблювані вироби послідовно «витагають» з попередньої ділянки в міру необхідності. Такі виробничі

|                |                |
|----------------|----------------|
| Инов. № подл.  | Подпись и дата |
| Взам. инв. №   | Инов. № дубл.  |
| Подпись и дата | Подпись и дата |

|     |      |          |       |      |                    |    |
|-----|------|----------|-------|------|--------------------|----|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 49 |
|     |      |          |       |      |                    |    |
|     |      |          |       |      |                    |    |

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 «потокowego виробництва» є наймогутнішим важелем підтримки американської економіки в лідируючій групі світових економічно розвинутих країн.

|               |                |              |              |                |                    |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------------|
| Инва. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |                    |
|               |                |              |              |                |                    |
|               |                |              |              |                |                    |
| Изм           | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           | 131.09.ВР.000.00ПЗ |
|               |                |              |              |                | 50                 |

## Висновки

У бакалаврській роботі вирішена практична задача створення трьохгвинтового насосу.

Основні результати роботи:

Виконаний опис конструкції та принцип роботи трьохгвинтового насосу.

Виконано розрахунки розмірів насосу, проведений аналіз міцності основних деталей та вузлів насосу.

Розрахунки показали, що спроектований насос відповідає завданню

|                    |                |              |              |                |
|--------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Инва. № подл.      | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                    |                |              |              |                |
| Изм                | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |
|                    |                |              |              |                |
| 131.09.ВР.000.00ПЗ |                |              |              | 51             |

## Література

1. Роторные насосы (справочное пособие) Чиняев И.А. изд-во, „Машиностроение“ 1964, 216с.
2. Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений. - 5е изд., перераб. - М.: Высш. шк., 1991. - 383с.: ил.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.2 - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1973, 576с.
4. Чугаев Р.Р. Гидравлика (Учебник для вузов). Л., „Энергия“, 1975. 600с. с ил.
5. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию “Расчет шестеренного насоса” для студентов специальности 12.11 дневной и вечерней форм обучения. Составители: Игнатъев А.С., Кулинич С.П., Неня В.Г. - Харьков, 1991. - 32с.
6. Пособие по курсовому проектированию поршневого насоса. Соколов А.П., Лунаци Э.Д. Москва 1974. - 76с.
7. 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, 1987. - 416 С.: ил.
8. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2003. — 215 с.
9. <http://mirznanii.com/a/39328/sertifkats-produkts>
10. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
11. Іванілов О. С. Економіка підприємства: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. С. Іванілов – К.: Центр учбової літератури, 2009 – 728 с..

|               |                |              |              |                |                    |    |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------------|----|
| Инва. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата | 131.09.ВР.000.00ПЗ | 52 |
|               |                |              |              |                |                    |    |
| Изм           | Лист           | № докум.     | Подп.        | Дата           |                    |    |