

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.ГМІ-85.00.00.000 ПЗ

Група ГМІ-21-1

Назар Паландюк

2025

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**  
**Інститут інженерної механіки та робототехніки**  
**Кафедра нафтогазових машин та обладнання**

*Паландюк Назар Олександрович*

---

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 622

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

*Вибір і монтаж компресорної установки*

---

(назва роботи)

*Інжиніринг і сервісне обслуговування нафтогазових машин та обладнання*

(назва освітньої програми)

*133 – «Галузеве машинобудування»*

---

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело**

Здобувач освітнього ступеня \_\_\_\_\_  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ Венгринюк Т.П., канд. техн. наук, доцент  
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри

*доцент* \_\_\_\_\_ Я.Т. Федорович  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025 рік

# ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Інститут ІІМ Кафедра нафтогазових машин та обладнання  
Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування  
ОПП «Інжиніринг і сервісне обслуговування нафтогазових машин та обладнання»

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри НГО  
\_\_\_\_\_ Я.Т. Федорович  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Студенту \_\_\_\_\_ Паландюк Назар Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Вибір і монтаж компресорної установки

Затверджена наказом № 176/7 від 18.02.2025 р.

2 Термін здачі студентом закінченої роботи 14.06.2025 р.

3 Вихідні дані до роботи: технічна документація, літературні джерела,

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань)

Вступ. 1 Склад, будова та принцип дії системи пневмокерування буровою установкою.

1.1 Аналіз системи пневмокерування буровою установкою. 1.2 Склад і принцип роботи пневмосистеми. 1.3 Експлуатація та обслуговування пневмосистеми. 2 Аналіз серійних моделей проєктованого устаткування з близькими до визначених параметрів, вибір прототипу, його обґрунтування. 3 Опис призначення, будови, конструкції, принципу дії, комплектності проєктованого устаткування. 4 Техніко-технологічний розділ.

4.1 Вибір компресора. 4.1.1 Розрахунок продуктивності компресорної станції БУ.

4.1.2 Визначення об'єму ресивера бурового компресора. 4.2 Конструкція компресора К5-М і його технічна характеристика. 4.3 Перевірочні розрахунки вузлів і деталей компресора К5-М.

4.3.1 Розрахунок колінчастого валу. 4.3.2 Розрахунок на статичні навантаження.

4.3.3 Розрахунок шатуна. 4.3.4 Розрахунок нижньої головки шатуна. 4.3.5 Розрахунок шатунних болтів. 5 Фундаменти і їх будівництво під обладнання. 5.1 Інструкція із зберігання, транспортування, монтажу, експлуатації, обслуговування, ремонту проєктованого устаткування. 5.2 Пуск і випробування компресора К5-М після монтажу. 5.3 Технічне обслуговування устаткування. Висновок. Перелік посилань на джерела

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням креслень)

5.1 Загальний вигляд компресорної станції – 1 арк. Формату А1

5.2 Складальне креслення компресора – 1 арк. Формату А1

5.3 Робочі креслення деталей та вузлів компресора – 2 арк. Формату А1

5.4 Загальний вигляд компресорної установки – 1 арк. Формату А1

5.5 Графічні залежності, ілюстрації тощо – 1 арк. Формату А1

6 Консультанти по роботі (за необхідністю).

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

6 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
Вступ. 1 Склад, будова та принцип дії системи пневмокерування буровою установкою. 1.1 Аналіз системи пневмокерування буровою установкою. 1.2 Склад і принцип роботи пневмосистеми. 1.3 Експлуатація та обслуговування пневмосистеми. 2 Аналіз серійних моделей проектного устаткування з близькими до визначених параметрів, вибір прототипу, його обґрунтування.	12.0.2025 р	
3 Опис призначення, будови, конструкції, принципу дії, комплектності проектного устаткування.	12.03.2025 р	
4 Техніко-технологічний розділ. 4.1 Вибір компресора . 4.1.1 Розрахунок продуктивності компресорної станції БУ. 4.1.2 Визначення об'єму ресивера бурового компресора. 4.2 Конструкція компресора К5-М і його технічна характеристика. 4.3 Перевірочні розрахунки вузлів і деталей компресора К5-М. 4.3.1 Розрахунок колінчастого валу. 4.3.2 Розрахунок на статичні навантаження. 4.3.3 Розрахунок шатуна. 4.3.4 Розрахунок нижньої головки шатуна. 4.3.5 Розрахунок шатунних болтів.	14.04.2025 р	
5 Фундаменти і їх будівництво під обладнання. 5.1 Інструкція із зберігання, транспортування, монтажу, експлуатації, обслуговування, ремонту проектного устаткування. 5.2 Пуск і випробування компресора К5-М після монтажу. 5.3 Технічне обслуговування устаткування. Висновок. Перелік посилань на джерела	30.05.2025 р	
<i>Графічна частина проекту</i>	14.06.2025 р	

Студент \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
Особистий підпис                      Розшифровка підпису

Керівник роботи \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
Особистий підпис                      Розшифровка підпису

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота Паландюка Н. О. на тему «Вибір і монтаж компресорної установки» складається з пояснювальної записки, викладеної на 72 аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів, 5 таблиць, 12 рисунків, 9 найменувань використаних джерел, і графічного матеріалу загальним обсягом 6 аркушів формату А1.

Об'єкт досліджень. Особливості вибору компресорна установки та її монтаж.

Метою роботи є вибір компресорної установки згідно заданих умов та висвітлення особливостей її монтажу.

На основі проведених розрахунків та аналізу умов експлуатації обладнання системи пневмокерування вибрано обладнання, що комплектує бурову установку. На основі проведеного аналізу конструкцій поршневих компресорів в якості прототипу вибрано компресор К-5М. Приведений опис конструкції, будови, принципу дії та комплектності поршневого двохступеневого компресора системи пневмокерування бурової установки. Проведено розрахунок деталей компресора. Розглянуте питання монтажу, експлуатації обслуговування, ремонту, компресорної установки.

Ключові слова: бурова установка, пневматична система, компресорна установка, компресор, монтаж, ремонт.

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis by Palandyuk N. O. on the topic "Selection and installation of a compressor unit" consists of an explanatory note, laid out on 72 sheets of A4 format, which contains 5 sections, 5 tables, 12 figures, 9 names of sources used, and graphic material with a total volume of 6 sheets of A1 format.

Object of research. Features of the selection of a compressor unit and its installation.

The purpose of the work is to select a compressor unit according to the given conditions and to highlight the features of its installation.

Based on the calculations and analysis of the operating conditions of the pneumatic control system equipment, the equipment that completes the drilling rig was selected. Based on the analysis of the designs of piston compressors, the K-5M compressor was selected as a prototype. The design, structure, principle of operation and completeness of the piston two-stage compressor of the pneumatic control system of the drilling rig are described. The calculation of the compressor parts is carried out. The issues of installation, operation, maintenance, repair, compressor installation are considered.

Keywords: drilling rig, pneumatic system, compressor installation, compressor, installation, repair.

## З М І С Т

Вступ.....	8
1 Склад, будова та принцип дії системи пневмокерування буровою установкою.	12
1.1 Аналіз системи пневмокерування буровою установкою .....	12
1.2 Склад і принцип роботи пневмосистеми .....	12
1.3 Експлуатація та обслуговування пневмосистеми .....	13
2 Аналіз серійних моделей проектного устаткування з близькими до визначених параметрів, вибір прототипу, його обґрунтування .....	15
3 Опис призначення, будови, конструкції, принципу дії, комплектності проектного устаткування .....	21
4 Техніко-технологічний розділ.....	24
4.1 Вибір компресора .....	24
4.1.1 Розрахунок продуктивності компресорної станції БУ .....	26
4.1.2 Визначення об'єму ресивера бурового компресора .....	28
4.2 Конструкція компресора К5-М і його технічна характеристика .....	30
4.3 Перевірочні розрахунки вузлів і деталей компресора К5-М.....	37
4.3.1 Розрахунок колінчастого валу .....	37
4.3.2 Розрахунок на статичні навантаження.....	38
4.3.3 Розрахунок шатуна.....	57
4.3.4 Розрахунок нижньої головки шатуна.....	61
4.3.5 Розрахунок шатунних болтів (матеріал – сталь 12ХН3А).....	61
5 Монтаж, експлуатація та обслуговування компресорної станції.....	65
5.1 Інструкція із зберігання, транспортування, монтажу, експлуатації, обслуговування, ремонту проектного устаткування .....	66
5.2 Пуск і випробування компресора К5-М після монтажу.....	71
5.3 Технічне обслуговування устаткування .....	71
Висновок .....	74
Перелік посилань на джерела.....	75

## Вступ

Нафтогазова промисловість – одна із провідних галузей, на яких базується економіка України. Сьогодні спостерігається активне втручання політики в справи нафтогазової галузі, яка є основним джерелом збагачення України, так як нафта і газ являються основним видом палива, яке використовується народним господарством .

Кінець ХХ століття характеризується різким збільшенням попиту на нафту і газ. В наш час біля 70% енергетичної потреби в світі покривається за рахунок нафти і газу.

На ситуацію в паливно-енергетичному комплексі впливає і структура балансу енергоспоживання в країні. В перерахунку на умовне паливо частка нафти і газу в балансі енергоспоживання становить близько 55%. І це за умови, що Україна забезпечує себе нафтою власного видобутку на 10%, а газом на 20%.

Нафтогазовий комплекс України за своїми природними особливостями належить до числа наукомістких галузей економіки. Тому науково-технічний розвиток цього комплексу протягом всього періоду його функціонування забезпечується потужним науковим потенціалом.

На сьогоднішній день одними з найбільших нафтогазовидобувних підприємств є: АТ «Укргазвидобування», ПАТ «Укрнафта».

Після закінчення буріння свердловини починається її освоєння і експлуатація. В "життєвому циклі" свердловини можна виділити декілька характерних для всіх свердловин періодів: буріння, освоєння, експлуатація, глушіння. В свою чергу експлуатацію свердловини можна проводити фонтанним і механізованим методом. Фонтанний метод експлуатації є найбільш дешевий, тому робота, яка ведеться над удосконаленням обладнання для видобутку нафти фонтанним способом, є досить перспективною [1].

Продукція свердловин може сильно відрізнитись за своїм хімічним складом, що призводить до відкладення на обладнанні парафіну, солей і інших речовин, які змінюють режими роботи свердловин, або можуть повністю

призвести до зупинки їх експлуатації. Для відновлення обладнання, пошкодженого таким способом, вимагається складна техніка і багато часу. Отже, робота спрямована на боротьбу з різноманітними відкладами є дуже потрібною.

В нафтогазовидобувній промисловості широко використовуються машини для стиску і переміщення повітря та газів. Ці машини поділяються на компресори, вентилятори і вакуум-насоси. Компресори призначені для стиску повітря чи газу з відношенням тиску нагнітання до тиску всмоктування більше 1,1.

Всі існуючі компресори можна поділити на два класи. Один включає машини, які надають газу великої швидкості та подальшого перетворення кінетичної енергії потоку в роботу стискування та нагнітання газу. До таких компресорів відносяться відцентрові, осьові та інжекторні компресори.

Другий клас охоплює компресори об'ємної дії, які передають газ з зони низького тиску в зону більш високого тиску. До цього класу відносяться всі поршневі, а також ротаційні та гвинтові компресори.

Найбільшого використання отримали компресори, які використовуються для видобутку нафти, для збору і транспортування газу на промислах, для подальшого транспортування газу, для закачування газу в нафтоносні пласти при підтриманні пластового тиску, при експлуатації свердловин газліфтом, для закачування окислювача (повітря) в нафтові пласти при експлуатації нафтових родовищ, для переміщення газу в установках газобензинових заводів і в деяких інших випадках.

Широкого розповсюдження отримали компресори і на бурових установках. Вони використовуються для багатьох допоміжних робіт, коли необхідне стиснуте повітря (для пневматичних муфт, для приводу пристроїв з пневматичним керуванням, для обдуву, для випробування відремонтованих вузлів і т.д.) [1,2].

В системах пневматичного керування механізмами на бурових установках широкого розповсюдження знайшли компресорні станції КСЕ-5М на базі компресора К-5М.

## **Актуальність роботи.**

Бурова установка являє собою комплекс складних і потужних машин та агрегатів, і ефективність їх роботи в значній мірі залежить від чіткості, маневреності і оперативності керування. Керування буровою установкою зводиться до пуску двигунів, зміни і регулювання їх режиму роботи, з'єднання чи роз'єднання валів, що обертаються, гальмування і зупинки виконавчих механізмів. В сучасному буріння установки для глибокого буріння використовуються системи керування такі як пневматична, механічна, електрична і комбінована.

Усі системи керування основною своєю метою мають полегшення умов праці, зменшення трудомісткості при виконанні операцій, що в підсумку дозволяє у порівнянні із старішими буровими установками зменшити кількість працівників, якомога більше автоматизувати процес керування, зробити його дистанційним, замінити працю робітника на роботу пристроїв і механізмів. У підсумку менші витрати часу, часткове виключення людського фактору. [1,2]

Системи керування повинні бути безпечними і дешевими, забезпечувати виконання необхідних функцій і при цьому займати як найменше місця.

Найбільш близькою до задоволення цих функцій є пневматична система. Вона забезпечує основні потреби:

- дистанційне керування з поста бурильника, дизеліста;
- пневмопривод засобів механізації;
- разом із електричною системою бере участь в створенні блокувань, що виключають можливість виникнення аварійного режиму роботи;
- створення автоматичної підтримки запасу стиснутого повітря.

Додаткові потреби, що забезпечує пневмосистема:

- подача води із водяної свердловини для технологічних потреб;
- продувка трубопроводів.

В умовах постійного технічного прогресу у світі, системи керування в Україні практично залишаються незмінними, хоч і забезпечують виконання поставлених перед ними завдань. Вони морально і фізично застарілі. Розробка

нових чи удосконалення старих систем дозволить Україні покращити своє становище в умовах світової енергетичної напруги.

**Мета і задачі роботи.** Метою роботи є вибір компресорної установки згідно заданих умов та висвітлення особливостей її монтажу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання: – провести аналіз умов експлуатації та визначити основні параметри проектного устаткування;

- на основі порівняльного аналізу серійного обладнання вибрати прототип;
- висвітлити особливості монтажу та ремонту компресорної установки.

**Об'єкт досліджень.** Особливості вибору компресорна установки та її монтаж.

**Методи дослідження.** Аналітичний методи для збору і обробки інформації.

# 1 Склад, будова та принцип дії системи пневмокерування буровою установкою

## 1.1 Аналіз системи пневмокерування буровою установкою

Призначення пневмосистеми бурової установки заключається в тому, щоб надати стиснене повітря до всіх частків бурової і всіх агрегатів на ній, які працюють за рахунок стисненого повітря. Це такі, як шинопневматичні муфти, стрічкове гальмо лебідки, пневморозкріплювач, буровий пневматичний ключ, пневматичні роторні клини тощо [1, 2].

Схема пневматичного керування буровою установкою живиться від енергетичного блоку (двох компресорних станцій), які і забезпечують повітрям під певним тиском.

Повітрязабезпечення відбувається від одної компресорної станції КСЭ-5М з електроприводом і другої компресорної станції К-5М з контрприводом. Компресорні станції запускаються автоматично в залежності від тиску повітря в магістралі за рахунок регуляторів тиску.

Основними параметрами системи пневмозабезпечення бурової установки являються ті параметри, якими їх забезпечують дві компресорні станції, і з якими вони можуть працювати без перевантажень системи (ті, на які вони розраховані).

Таблиця 1.1 – Параметри компресорної станції КСЭ-5М з електроприводом

Параметри КСЭ-5М	Величина
Подача, м <sup>3</sup> /хв	5
Робочий тиск, МПа	0,5...0,9
Потужність електродвигуна, кВт	40

## 1.2 Склад і принцип роботи пневмосистеми

До виконавчих механізмів стиснене повітря поступає по трубопроводу із повітрязбірника (ресивера) через масловідділювач і розвантажуючий пристрій

до чотириклапаних кранів. Один із цих кранів служить для керування шинопневматичними муфтами привода барабану лебідки. При бурінні включення регулятора подачі РПД здійснюється пружинним двоклапанним краном шляхом включення шинопневматичних муфт. Пневматичним клиновим захватом керують з допомогою крана з нижнім керуванням [1,2].

Гальмо барабана лебідки включається регулюючим пневматичним краном, що керує циліндром привода гальма лебідки. Керування пневматичним циліндром комплексу АСП відбувається кранами, розташованими на посту бурильника. Там же знаходяться крани керування пневморозкріплювача. Двоклапанні крани зв'язані з циліндром гальма і муфтою з аварійним приводом від противозахоплюючого пристрою талевого блоку, який автоматично загальмує і відключить барабан лебідки.

### **1.3 Експлуатація та обслуговування пневмосистеми**

Система пневматичного керування будь-якої бурової установки складається із схем пневматичного керування агрегатами енергетичного, валико-лебідочного і насосного блоків. Будь-яка система пневматичного керування складається з агрегатів повітрязабезпечення, виконавчих механізмів, керуючих пристроїв, контрольно-вимірювальних і попереджуючих пристроїв, які з'єднані сіткою повітропроводів.

Це одна із самих важливих систем на буровій і без раціональної експлуатації та обслуговування вона може вийти з ладу. Потрібно слідкувати при роботі системи, щоб попереджувальні і сигналізуючі пристрої про аварію були справні і могли без доступу людини вимкнути систему. Деталі компресорів, які знаходяться на відкритому повітрі, повинні мати антикорозійний захист. Всі відкриті обертові деталі (маховики, шківни, вали, муфти) повинні мати захисні кожухи. Потрібно перевіряти рівень масла у всіх пристроях, які потребують постійного змащення [1,2].

Якщо буріння проходить в гірських або болотистих умовах, потрібно слідкувати, чи не осіла платформа, на якій знаходиться система пневмозабезпечення, щоб не стався обрив повітропроводів.

Під раціональною експлуатацією розуміється дотримання таких умов, при яких пневмосистема працює в нормальному режимі, забезпечує повітрям з певним тиском всі вузли бурової, а її неполадки не перешкоджають добрій проходці.

## 2 Аналіз серійних моделей проектованого устаткування з близькими до визначених параметрів, вибір прототипу, його обґрунтування

В бурових установка застосовують компресори з електричним приводом від електродвигунів змінного струму і контрпривод за допомогою клинопасової передачі від силових дизельних агрегатів. В бурових установках з дизельним приводом використовують дві компресорні станції, одну з електроприводом (резервну) і одну – з контрприводом.

В бурових установках з електричним приводом використовують дві компресорні станції з електроприводом.

В бурових установках з дизельним приводом використовують дизель-електричні агрегати змінного струму, які забезпечують запуск компресора від електродвигунів. Для полегшення запуску компресорних станцій з електроприводом і контрприводом в пневмосистемі використовують спеціальні електропневматичні пристрої [1,2].

Технічна характеристика компресорів приведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика компресорів, використовуваних в системах пневмокерування буровими установками

Технічні показники, одиниці їх виміру	Марка, модель, позначення компресорів			
	КТ-6	К-5М	ВШ-6/10М	4ВУІ-5/9-М
1 Подача, приведена до умов всмоктування, м <sup>3</sup> /с	0,088	0,083	0,1	0,083
2 Тиск після 1-ого ступеня, МПа	—	0,2	0,3	0,17-0,22
3 Тиск після 2-ого ступеня, МПа	0,9	0,8	1,0	0,78
4 Температура повітря на вході, °С	—	20	20	20
5 Температура повітря на виході, °С	—	165	135	165
6 Частота обертання вала, хв. <sup>-1</sup>	850	730	780	735
7 Споживана потужність, кВт	44	33	38	33
8 Діаметр циліндра 1-ого ступеня, мм	198	210	220	210
9 Діаметр циліндра 2-ого ступеня, мм	155	125	160	125
10 Хід поршня, мм	146	120	110	120
11 Маса, кг	646	560	1100	—

Усі зазначені в таблиці компресори - двоступінчасті, односторонньої дії, повітряного охолодження, із приводом від електродвигуна або від трансмісії головного привода бурової установки. Компресори К-5М та 4ВУІ-5/9-М мають V-подібне, компресори ВШ-6/10М і КТ-6 - W-подібне розміщення циліндрів.

В поршневих компресорах застосовують ступеневе стиснення повітря, яке приводить до ускладнення конструкції компресора, але викликане наступними причинами. Перш за все, воно необхідне у випадку, коли температура в кінці циклу стиснення газу перевищує допустиму за умовами безпеки і нормального мащення компресорів. Крім цього, при розподілі процесу підвищення тиску газу на ступені з проміжними охолодженнями робота зміни тиску відбувається при менших питомих об'ємах, завдяки чому досягається економія потужності.

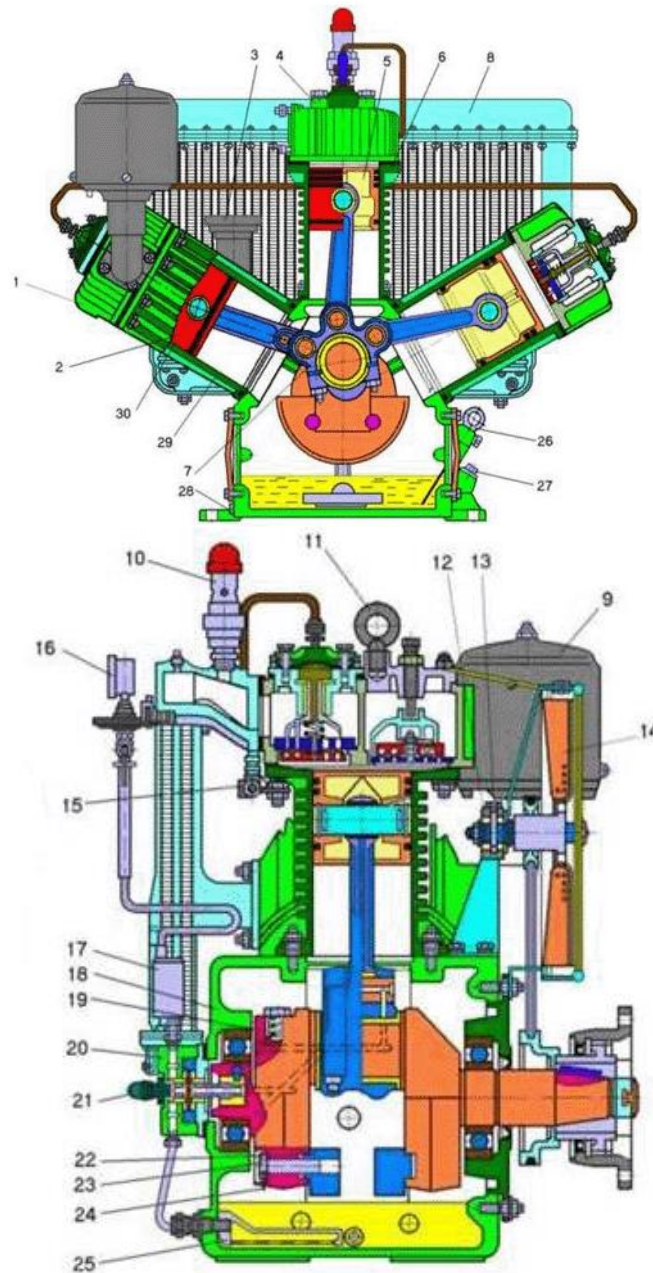
Установки з електроприводом називаються компресорними станціями. В компресорних установках використовують двоступінчасті компресори типу КС-3М, КС-5М, КСР-5М, КТ-6 з подачею 3-5 м<sup>3</sup>/хв при робочому тиску 0,8-0,9 МПа. Шифр компресорної установки відповідає типові компресора.

В компресорних установках з механічним приводом приводний шків сполучений з валом компресора через шинно-пневматичну муфту ШПМ-300. В компресорних установках з електроприводом вал компресора сполучений з електродвигуном через пружну муфту [1, 2].

Компресорна установка КТ-6 (рис. 2.1) з механічним приводом складається з компресора, опор приводу, приводного шківa, змонтованого на рамі. Привід з компресором сполучений муфтою ШПМ-300. Зовнішнє повітря засмоктується через повітрофільтр в циліндри першого рівня стискування, а потім по трубопроводу подається через холодильник в циліндри другого рівня стискування, звідки стиснуте повітря поступає в повітрозабірники.

Компресорні установки працюють в авторежимі, включаючись при зниженні тиску в пневмосистемі до 0,7-0,75 МПа і вимикаючись при 0,8-0,85 МПа. Роботу компресора в автоматичному режимі забезпечують розвантажувальні клапани, які досягши максимального тиску в пневмосистемі спрацьовують і подають повітря в розвантажувальні пристрої компресорів, які

стискують всмоктуючі клапани обох ступеней стискування, внаслідок чого компресори при постійному обертанні колінвалів переходять на холостий хід.



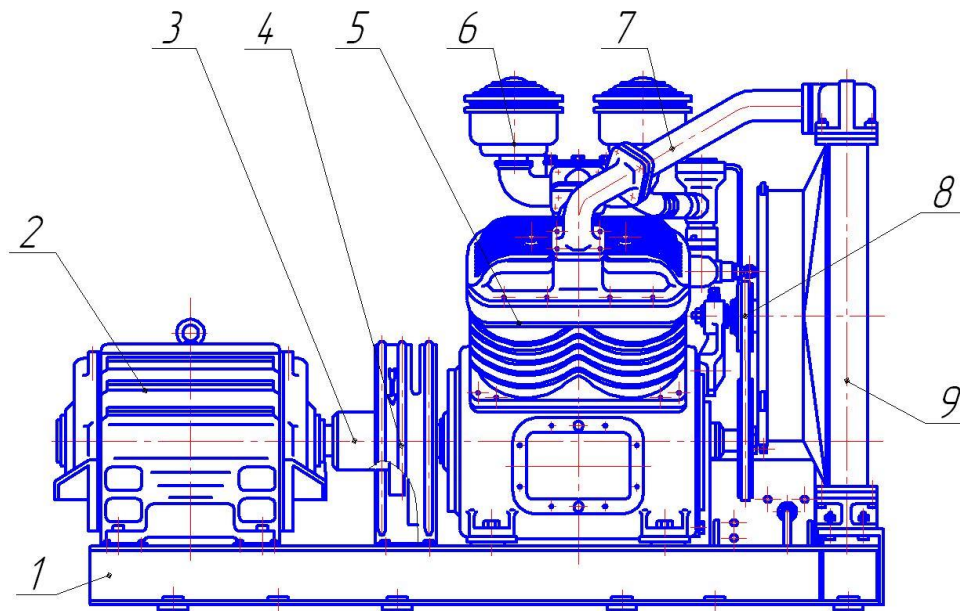
1 – клапанна коробка циліндра низького тиску; 2 – поршень першої ступені; 3 – сапун; 4 – клапанна коробка циліндра високого тиску; 5 – поршень другої ступені; 6 – циліндр високого тиску; 7 – вузол шатунів; 8 – холодильник; 9 – всмоктуючий повітряний фільтр; 10 – запобіжний клапан; 11 – рим-болт; 12 – кронштейн вентилятора; 13 – болт регулювання натягу паса вентилятора; 14 – вентилятор; 15 – трійник для приєднання трубопроводу від регулювальника тиску; 16 – манометр тиску мастила; 17 – бачок для гасіння пульсацій стрілки манометра; 18 – корпус (картер); 19 – колінчастий вал; 20 – масляний насос; 21 – редукційний клапан; 22 – додатковий балансір; 23 – гвинт кріплення додаткового балансира; 24 – шплінт; 25 – масляний фільтр; 26 – показчик рівня мастила (щуп); 27 – пробка для заливу мастила; 28 – пробка для зливу масла; 29 – циліндр низького тиску; 30 – поршневий палець

Рисунок 2.1 - Компресор КТ-6

При зниженні тиску в пневмосистемі до нижньої межі розвантажувальні клапани перекривають доступ повітря в розвантажувальні пристрої і сполучають їх з атмосферою, внаслідок чого всмоктуючі клапани повертаються в робоче положення і компресори починають подавати стиснуте повітря в пневмосистему.

Компресорні установки з механічним приводом допускають роботу без автоматики, для чого повинна включатися і вимикатися шинно-пневматична муфта з пульта краном управління компресора.

Компресорна станція повітряна, стаціонарна КСЕ-5М (рисунок 2.2) призначена для постачання різних промислових підприємств і установок стисненим повітрям (газом) з надлишковим тиском до 0,78 МПа [1,2].



1 – рама; 2 – електродвигун; 3 - муфта пружна; 4 - маховик з кожухом;  
5 – компресор; 6 - фільтр повітряний; 7 – повітро-провод; 8 - клинопасова  
передача; 9 - холодильник (вентилятор)

Рисунок 2.2 – Компресорна станція КСЕ–5М

Установка містить компресор К-5М – V-подібний, чотирьохпоршневий, безкрейцкопфний, двохступінчатий з повітряним охолодженням, односторонньої дії.

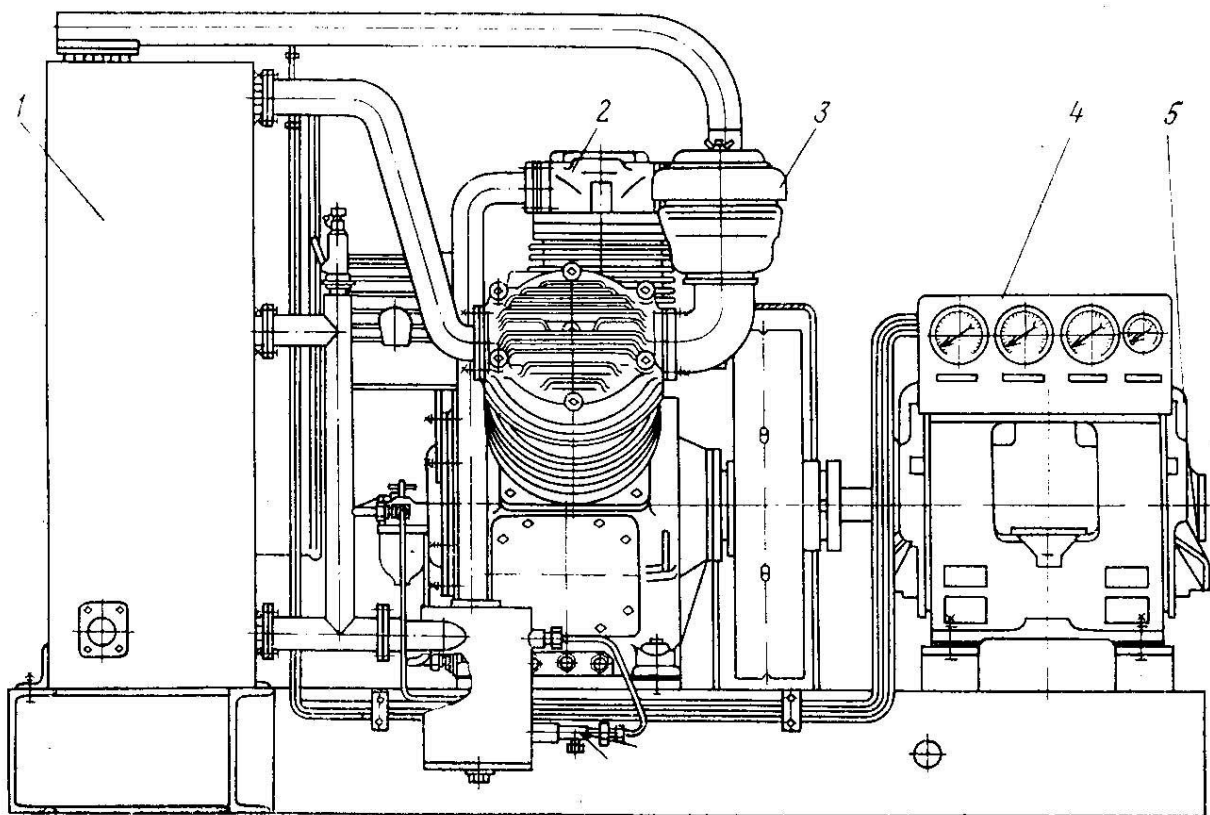
В компресорних станціях КСЕ-5М компресор і електродвигун змонтовані і закріплені болтами на спільній рамі зварної конструкції. В нижніх полках балок рами зроблені отвори для кріплення компресорної станції до фундаменту

анкерними болтами чи до балок металевих основ. Електродвигун з'єднує з компресором еластична муфта, яка закрита захисним кожухом.

Компресорна станція КСЕ-5М не має охолоджуючого пристрою після другої ступені стиску, і повітря при цьому досягає температури приблизно +150°C.

Для зниження пускової потужності і навантаження в елементах компресора і приводу в момент запуску компресорної станції застосовують розвантажувальні пристрої, які дозволяють полегшити цей запуск.

На рисунку 2.3 показана компресорна станція ВШ-6/10М [1,2].



1-холодильник; 2-компресор; 3-повітряний фільтр; 4-панель керування;  
5-електродвигун

Рисунок 2.3 – Компресорна станція ВШ-6/10М

Компресорна станція ВШ-6/10М успішно замінює компресори 4ВУ1-5/9 виробництва Мелітопольського компресорного заводу (Україна) із збереженням існуючих фундаментів і комунікацій.

Переваги і відмітні особливості:

- На відміну від гвинтової компресорної станції атлант-45НТ може експлуатуватися в діапазоні температур від мінус 45 до +45°С.
- Має електричне підігрівання масла.
- Автоматизований, не вимагає постійної присутності обслуговуючого персоналу.
- Охолодження компресора – повітря, що не вимагає додаткових комунікацій для підведення рідини, що охолоджує.

### 3 Опис призначення, будови, конструкції, принципу дії, комплектності проектованого устаткування

Компресор (рисунок 3.1) поршневий, V- подібний, звичайної дії, двоступінчатий, чотирьохциліндровий з повітряним охолодженням [1, 2].

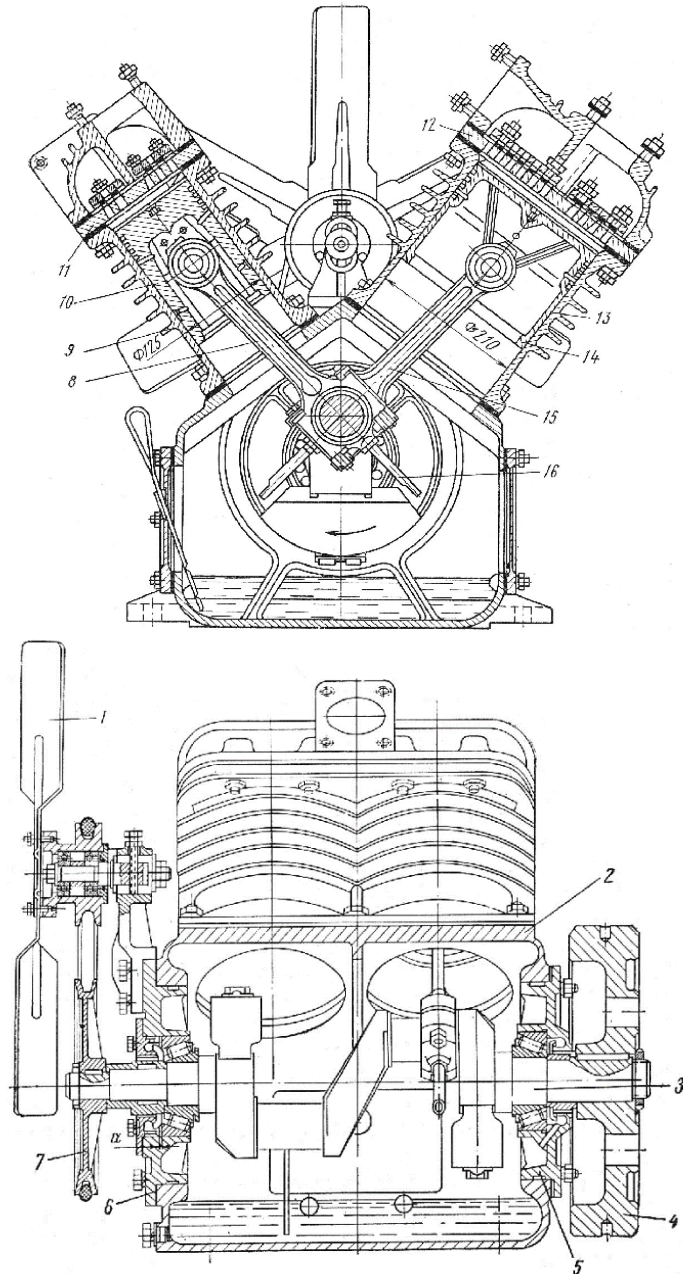


Рисунок 3.1 – Компресор поршневий

Він складається з картера 2, блоків циліндрів першої 1 та другої 9 ступені стиску, які установлені на картері V- подібного і з колінчатого вала. Колінчатий вал 3 змонтований на двох конічних підшипниках, які розміщені в торцевих кришках 5 і 6 картера. На одному кінці колінчатого вала насаджений маховик 4, який з'єднаний з муфтою привода, а на другому – клинопасовий шків 7 привода

вентилятора. На мотильових шийках (розвернутих один до одного на  $180^\circ$ ) колінчатого вала змонтовані нижні роз'ємні головки шатунів першої 15 і другої 8 ступені. В верхні нероз'ємні головки шатунів посаджені порожні поршневі пальці плаваючої конструкції. Нижні головки роз'ємних шатунів мають бабітову заливку, а верхні – бронзові втулки. Знизу в нижні головки шатунів вгвинчені трубчаті черпачки 16, які при обертанні колінчатого вала зачерпують масло із картера і розбризкують його на поверхні тертя. На блоках циліндрів установлені клапанні головки 11, які закриті клапанними кришками 12. Клапанні головки представляють собою чавунну плиту з прорізам для всмоктувальних і нагнітальних пластинчатих клапанів. Всі клапани мають однакову конструкцію і відрізняються тільки розмірами і числом прорізів. Внутрішня порожнина кожної клапанної кришки розділена на дві частини: в одній установлений всмоктуючий клапан, а в іншій – нагнітаючий. Все це знаходиться на рамі.

Шатуни – сталі штамповані двотаврового перерізу. Верхня головка шатуна нероз'ємна із запресованою бронзовою втулкою, нижня головка – роз'ємна з бабітовою заливкою. На кришці нижньої головки встановлюється мастилопідвідна трубка [1,2].

Поршні I і II ступені виготовляються з чавуну. Обидва поршні мають по два ущільнюючих і маслосійомних кільця. Поршневі пальці пустотілі із загартованою і полірованою зовнішньою поверхнею. Від осьових переміщень пальці фіксуються пружинними стопорними кільцями. Циліндри I і II ступені – чавунні з ребристою поверхнею, відлиті попарно у виді блоків з фланцями зверху і знизу. Нижніми фланцями блоки кріпляться до картера, на верхніх встановлюються клапанні головки.

Клапанні головки I і II ступені ідентичні за конструкцією і відрізняються тільки розмірами. Вони складаються з клапанних плит із зібраними на них всмоктуючими і нагнітальними пластинчатими клапанами, розміщеними попарно по довжині плити і клапанних кришок коробчастої форми. Клапанні плити I і II ступеней в складі з клапанами накриваються кришками і утворюють, завдяки повздовжнім ребрам в кожній кришці, дві камери над клапанами – всмоктуючу і нагнітаючу. Клапанні кришки мають всмоктуючий

і нагнітальний патрубки. Зовнішні поверхні кришок виконані ребристими для більш ефективного охолодження.

Клапани безпружинні, полосові. Пластини під час роботи компресора під тиском повітря вигинаються за дугою упорів і завдяки пружним властивостям закривають канали в сідлах, регулюючи тим самим напрямок руху повітря в процесі всмоктування, стиску і нагнітання.

Вентилятор і трубчастий холодильник призначені для охолодження повітря стиснутого в I ступені.

Запобіжні клапани встановлені на кожній ступені компресора. Вони пружинного типу, ідентичні за конструкцією і відрізняються жорсткістю пружин і кількістю отворів для виходу повітря.

При монтажу колінчатого вала встановлюють набори прокладок з тонких мідних або сталевих кілець під кришки підшипників з боку маховика і вентилятора, якими регулюють затягування корінних підшипників. Після закінчення затягування підшипників колінчатий вал повинен вільно повертатися від руки, але не мати осьового люфту. Після цього під кришку підшипника з боку маховика до набору прокладок додають прокладку завтовшки 0,15 – 0,25 мм для компенсації подовження вала від нагрівання [1,2].

При установці поршнів і шатунів необхідно стежити за установкою їх на свої місця. Кожен циліндр, поршень і шатун має клеймо. Клейма ставляться на циліндрі – на лисці верхнього фланця блоку, на поршні – на днищі і на шатуні – на одній з поверхонь як стрижня, так і нижньої кришки головки шатуна. При установці цих деталей номер клейма повинен бути однаковим.

При установці шатунів перевіряють якість шабрення поверхонь шатунних підшипників. Перевірку проводять на фарбу при цьому число плям на 1 см<sup>2</sup> повинне бути не менше п'яти. Затягування шатунних підшипників на шийках колінчатого вала регулюють набором латунних прокладок, що встановлюють між нижньою кришкою і головкою шатуна. При регулюванні зазору шатунних підшипників стежать за тим, щоб загальна товщина прокладок з обох боків підшипника була однаковою. Зазор між підшипником і шийкою вала повинен бути 0,1 мм.

При установці клапанної головки перевіряють величину зазору між клапанною головкою і днищем поршня, встановленого у верхній мертвій точці, яка повинна бути від 1,85 до 3,35 мм для кожного циліндра. Зазор регулюють зміною товщини прокладки між циліндровим блоком і клапанною плитою.

При збиранні клапанів необхідно встановити обмежувач в таке положення, щоб пластини повністю перекривали щілини. Ширина перекриття повинна бути не меншою 1 мм. Пластини повинні вільно входити в пази обмежувача і не затискатися. Після складання клапанів на клапанній плиті кінцем викрутки, просунутої в щілину, перевіряють вільність руху пластин.

При монтажу компресора на раму вал компресора центрують з валом приводу. Радіальне і торцеве биття стрілок, встановлених на напівмуфти, не повинне перевищувати 0,8 мм.

Принцип роботи компресора: при русі поршня першої ступені вниз в циліндрі створюється розрядження, під дією якого пластини (стрічки) всмоктуючих клапанів прогинаються вниз, відкриваються прорізи для проходу повітря в циліндр першої ступені.

При руху поршня в верх повітря в циліндрі першої ступені стискується до тиску 0,17 – 0,24 МПа, підіймає пластини нагнітального клапана вгору і поступає в нагнітаючий простір клапанної кришки, а потім по трубопроводу – в холодильник. При стиску в циліндрі першої ступені повітря нагрівається до температури 150 – 165 °С, а в холодильнику охолоджується до температури 40 – 60 °С.

З холодильника повітря по трубопроводу поступає через всмоктуючу порожнину клапанної кришки і всмоктуючий клапан в циліндр другої ступені, де стискується до робочого тиску, а потім через нагнітаючий клапан і нагнітаючу порожнину клапанної кришки нагнітається в трубопровід, по якому поступає в повітрязбірник. В повітрязбірнику повітря охолоджується [1,2].

## **4 Техніко-технологічний розділ**

### **4.1 Вибір компресора**

Бурова установка являє собою комплекс складних і потужних машин та агрегатів, і ефективність їх роботи в значній мірі залежить від чіткості, маневреності і оперативності керування.

Керування буровою установкою зводиться до пуску двигунів, зміни і регулювання режиму їх роботи, з'єднання чи роз'єднання валів, що обертаються, гальмування і зупинки виконавчих механізмів і агрегатів [3].

Керування агрегатами здійснюється різноманітними системами, що використовують різні види енергії:

- в механічних системах – силу оператора (керування рейкою паливного насоса дизелів, вмикання кулачкової муфти гідромата, гальмування барабана лебідки механічним стрічково-колодковим пристроєм – важільним механізмом, закриття пляшкових преенторів при обертанні штурвалу тощо);

- в пневматичних системах – енергію стисненого повітря (вмикання і вимикання ШПМ, додаткове гальмування барабана лебідки пневматичним гальмівним циліндром, підйом свіч в механізмах.

АСП, привод ключа АКБ, управління пневмоклінами ротора ПКР тощо);

- в гідравлічних системах – тиск рідини (керування універсальними і плашковими преенторами, засувками з дистанційним контролем, зміна режиму гідравлічних вибійних двигунів тощо);

- в електричних системах – електроенергію (керування роботою електродвигунів, регуляторів

- подачі долота РПДЕ, керування електричними чи електромагнітними гальмами та інші).

Найбільш повно вимоги складних комплексів задовольняють комбіновані системи керування, що поєднують всі чотири або і меншу кількість вищевказаних систем. Можливе впровадження в практику і принципово нових систем – електронних, лазерних чи інших.

Керування буровою установкою здійснюється централі з пульта бурильника, індивідуально у місця вмикання. Основні переваги пневмосистем:

- централізація керування;

- м'якість і швидкість вмикання органів, дистанційність керування (десятки метрів), дешевизна робочого агента (стисненого повітря);

- простота;

- надійність і тривалий строк експлуатації;

- пожежна безпека і нешкідливість стисненого повітря. До основних недоліків системи пневмокерування слід віднести необхідність осушки повітря перед подачею в робочі органи і низький ККД, обумовлений безперервним випуском спрацьованого повітря в атмосферу, низька надійність в зимовий період (обумовлена замерзанням конденсату). Система пневмокерування складається з:

1. Вузлів вироблення стисненого повітря ( компресори К-5М), повітряних резервуарів (ресиверсів), масловідділювачів, фільтрів тощо. Таблиця 4 містить характеристики компресорів.

2. Елементів керування – дво- і триходові крани, .-. Ропневмовентилі ЕПВ, ВВ-32Ш, РЕП-1-1, РСП-2-1 (в системі АСП), регулюючі крани (кран Казанцева) (в бурових насосах) і Т.П.

3. Виконавчих механізмів – ШПМ, пневмоциліндрів (розкріплювача, ПКР, АКБ), пневмореверсивного двигуна (ключа АКБ).

4. Допоміжних механізмів – одинарні і здвоєні вертлюжки – розрядники, зворотні клапани, запобіжні клапани, клапани – розрядники.

5. Контрольно-вимірювальних приладів – манометри, електроконтактні манометри.

Основний виконавчий механізм системи пневмоуправління шино-пневматичні муфти. Для їх управління застосовують прямоточну систему живлення [3].

#### **4.1.1 Розрахунок продуктивності компресорної станції БУ**

При розрахунку необхідної продуктивності компресорів слід виходити з максимальної потреби в стиснутому повітрі, яка має місце при СПО. Споживачами стиснутого повітря в цьому випадку є:

- здвоєна 2ШПМ-1070 першої швидкості бурової лебідки;
- пневморозкріплювач (при підйомі);
- автоматичний буровий ключ АКБ-3М2;
- пневматичні клини ротора;
- ШПМ-700 п'ятої швидкості лебідки;
- механізм підйому стріли АСП.

Технологічна карта підйому і спуску бурильної колони на одну свічу включає виконувани операції, задіяні елементи і вузли пневмосистем та об'єми цих вузлів при робочому тиску (0,8 Мпа) [3,4].

Загальний об'єм витраченого повітря при Р-0,8 Мпа під час підйому становить

$$V_{\Sigma n} = V_n \cdot K = 641 \cdot 1,15 = 737 \text{ л}, \quad (2,1)$$

де  $V_n$  – об'єм пневмопристроїв (табл. 4.1);

$K$  – коефіцієнт запасу об'єму повітря; при спуску

$$V_{\Sigma c} = V_c \cdot K = 434 \cdot 1,15 = 499 \text{ л}. \quad (2,2)$$

Хвилинна витрата повітря при підйомі за час підйому  $t_n$

$$Q_{XB}^n = \frac{V_{\Sigma n} \cdot 60}{t_n} = \frac{737 \cdot 60}{89} = 497 \text{ л / хв} = 0,497 \text{ м}^3 / \text{хв}, \quad (2,3)$$

при спуску

$$Q_{XB}^c = \frac{V_{\Sigma c} \cdot 60}{t_c} = \frac{499 \cdot 60}{76} = 394 \text{ л / хв} = 0,394 \text{ м}^3 / \text{хв}, \quad (2,4)$$

Витрату приведемо до умов всмоктування

$$Q_{XB}^{np} = \frac{P_p}{P_{\text{бар}}} \cdot Q_{xв} = \frac{0,8}{0,1} \cdot 0,497 = 3,98 \text{ м}^3 / \text{хв} \quad (2,5)$$

Вибираємо з таблиці 4 компресор К-5М.

Таблиця 4 - Характеристики компресорів системи пневмоуправління

Параметри	К-5М	КСЕ-5М	ВШ-6710	2С10 (Румунія)	ЗЕС-1 (Румунія)
Подача, м <sup>3</sup> /хв	4,7	5,0	4,5-6,0	5,0	2,2
Тиск Мпа	0,8	0,8	1,0	1.2	1,0
Діаметри циліндрів D/d, мм	210/125	2 і 0/125	220/160	215/130	125/100
Хід поршня, мм	120	120	ПО	ПО	130
Потужність споживана N.кВт	33	40	38-43,3	72	38
Маса	1210	1720	2450	484 (без двигуна)	760

#### 4.1.2 Визначення об'єму ресивера бурового компресора

Визначення об'єму ресивера бурового компресора [3,4].

Об'єм ресивера визначається за формулою:

$$V = \frac{G \cdot R \cdot T}{P_{MAX} - P_{Min}} \quad (2,6)$$

де G – маса повітря, що подається в ресивер для підвищення тиску від  $P_{min}$  до  $P_{max}$

$$G = Q \cdot t \cdot \rho \quad (2,7)$$

тут Q – подача компресора;

t - час заповнення ресивера;

$\rho$  – густина повітря ( $\rho = 1,290 \text{ Н/м}^3$ );

R - газова постійна ( $R = 286 \text{ Дж/(кмоль} \cdot \text{К)}$ );

T – абсолютна температура повітря.

При заданому об'ємі ресивера (V) і температурі навколишнього середовища (T) знайти час заповнення ресивера (t).

Таблиця 4.1 – Технологічна карта СПО з свічкою I =37,5 м при оснастці

6x7

п/п	Операція	Назва задіяних елементів	Об'єм повітря, л
Підйом свічі (89 с)			
1	Підйом колони	2ШПМ-1070	60
2	Підйом пневмо-клинів ротора	Циліндр (прямий хід)	7,8
3	Опускання пневмо-клинів ротора	Циліндр (зворотній хід)	8,2
4	Розкріплення замка	Циліндр ПРС	210
5	Розгвинчування замкової різьби	Ключ АКБ-3М2	150
6	При підйомі свічі	2ШПМ-І070	60
7	Підйом свічі на підсвічники	Циліндр механізмів АСП	20
8	Заповнення пневмо-проводів системи		125
<b>ВСЬОГО:</b>		641	

Спуск свічі (76 с)

1	Підйом порожнього елеватора	ШПМ-700	17
2	Підйом свічі над столом	2ШПМ-1070	60
3	Згвинчування різьби	АКБ-3М2	150
4	При підйомі колони	2ШПМ-І070	60
5	Підйом пневмо-клинів ротора	Циліндр ПКР	7,8
6	Опускання пневмо-клинів ротора •	Циліндр ПКР	8,2
7	Спуск колони	Гальмівний пневмо-циліндр	6
8	Заповнення пневмо-проводів		125

	системи			
- Всього:		434		
Варіант				
	I	II	III	IV
V, м <sup>3</sup>	1,6	1.8	2,0	2,2
t <sub>н</sub> , С	0	15	25	35

Для першого варіанта при  $Q = 5 \text{ м}^3/\text{хв} = 0,083 \text{ м}^3/\text{с}$

$$t = \frac{1,6 \cdot (0,8 - 0,6) \cdot 10^6}{0,083 \cdot 1,29 \cdot 286 \cdot 273} = 38 \text{ с}$$

#### 4.2 Конструкція компресора К5-М і його технічна характеристика

Компресорами є машини для стиснення і переміщення газоподібних агентів, наприклад, повітря, кисню, водню, природного газу і тому подібне.

Чіткість і швидкість взаємодії механізмів бурової установки в значній мірі визначають її продуктивність при бурінні і залежать від конструкції системи управління. Конструкція системи управління в значній мірі впливає також на працездатність бурової установки [1,2,3,4].

Система управління буровою установкою призначена для виконання наступних функцій:

- 1) пуску і зупинки двигунів;
- 2) включення і виключення вузлів силового приводу, передавальних потужність на лебідку, бурові насоси і ротор;
- 3) включення і виключення лебідки, бурових насосів, ротора, гідравлічного або електричного гальма лебідки, механізму подачі і інших механізмів;
- 4) зміни швидкості обертання барабана лебідки, ротора і швидкості руху поршнів бурового насоса;
- 5) включення і виключення механізмів для згвинчення і розгвинчування труб;

б) управління роботою пневматичних клинів і інших механізмів, вживаних для виконання спуско-піднімальних операцій;

7) включення і виключення допоміжної лебідки, компресора, механізмів для очищення промивальної рідини і інших допоміжних механізмів.

Управління всіма механізмами бурової установки, за винятком механізмів для допоміжних робіт, здійснюється з поста бурильника.

Система управління буровою установкою є поєднанням різних пристроїв: механічних, пневматичних, гідравлічних і електричних. Переважаюче застосування в системі управління буровими установками знайшло пневматичне управління.

Пневматичне управління створює умови для плавного і швидкого включення механізмів, а також для використання дистанційних і автоматичних систем управління.

Компресори. Пневматична система бурової установки забезпечується стиснутим повітрям компресорними станціями продуктивністю 3—5 м<sup>3</sup> при тиску 0,8—1 МПа.

У установці застосовуються дві компресорні станції, одна з яких є резервною. У дизельних бурових установках, привід одного компресора здійснюється від головного приводу, другого, — від електродвигуна, а в установках з електроприводом привід обох компресорів здійснюється від індивідуальних електродвигунів.

На рисунку 2 і 3 показані компресорні станції з приводом від головного силового приводу установки і з приводом від електродвигуна.

У компресорних станціях встановлюються поршневі, двоступінчаті компресори простої дії типу К-5М, КТ-6 і ін.

Технічна характеристика компресорів, вживаних в бурових установках, приведена в табл. 5.

Компресор типу К-5М (рисунок 4.1 та 4.2) V-подібного, простої дії, двоступінчатий, чотирициліндровий повітряноохолоджуваний. Він складається з картера 2 блоків циліндрів першою 13 і другий 9 ступенів тиску, встановлених на картері V-подібного, і колінчастого валу 3. Колінчастий вал змонтований на

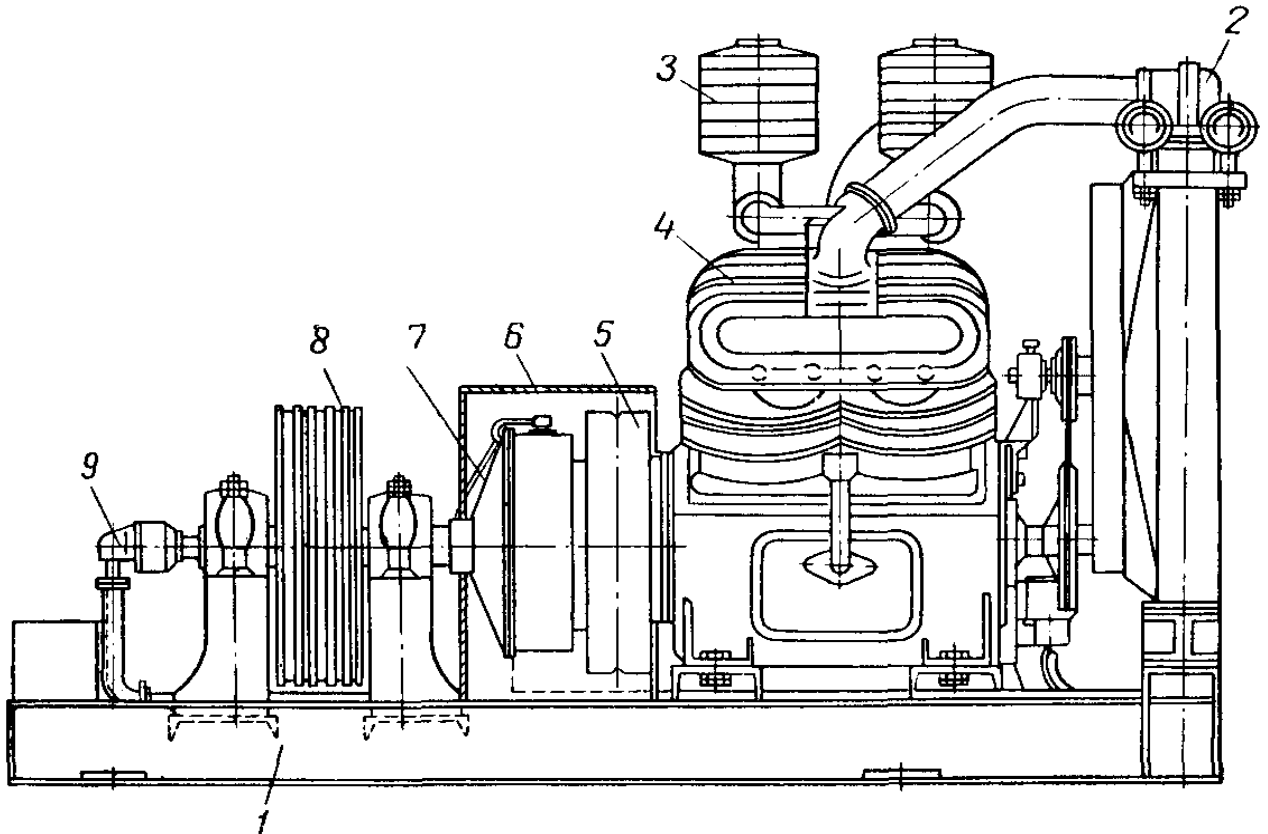
двох конічних підшипниках, розташованих в торцевих кришках 5 і 6 картера. На одному кінці колінчастого валу насаджений маховик 4, сполучений з муфтою приводу, а на іншому — клинопасовий шків 7 приводу вентилятора. На мотылевых шийках колінчастого валу, розгорнутих один до одного на  $180^\circ$ , змонтовані нижні роз'ємні головки шатунів першої 15 і другої 8 ступенів. У верхні нероз'ємні головки шатунів посаджені порожнисті поршневі пальці плаваючої конструкції [1,2,3,].

Нижні роз'ємні головки шатунів мають бабітову заливку, а верхні — бронзові втулки. Знизу в нижні головки шатунів угвинчені трубчасті черпаки 16, які при обертанні колінного валу захоплюють масло з картера і розбризкують його на поверхні компресора, що все трується.

Зверху на блоках циліндрів встановлені клапанні головки 11, які закриті клапанними кришками 12. Клапанні головки є чавунною плитою з прорізами для вмоктуючих і нагнітальних самодіючих клапанів. Всі клапани мають

ідентичну конструкцію і відрізняються тільки розмірами і числом прорізів. Внутрішня порожнина кожної клапанної кришки розділена на дві частини: у одній встановлений вмоктуючий клапан, а в іншій — нагнітальний.

При русі поршня першого ступеня вниз в циліндрі утворюється розрядка, під дією якої пластини (стрічки) вмоктуючих клапанів прогинаються вниз, відкриваючи прорізи для проходу повітря в циліндр першого ступеня.



1 – рама; 5 – маховик; 2 – холодильник; 3 – повітряний фільтр; 4 – компресор;  
6 – кожух; 7 – шинно-пневматична муфта; 8 – клинопасовий шків;  
9 – вертлюжок

Рисунок 4 – Компресорна станція з контрприводом

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика компресора К-5М

Характеристика	Показники
Продуктивність, приведена до умов вмокування, м <sup>3</sup> /хв.	5
Робочий тиск найбільший, 0 Нс/м <sup>2</sup>	8,0
Тиск нагнітання 1 ступеня, 0 Нс/м <sup>2</sup>	1,7-2,4
Число циліндрів:	
першої ступені	2
другої ступені	2
Діаметр циліндрів, мм:	
Першої ступені	210
другої ступені	125
Число обертів, об/хв	735
Споживана потужність при максимальному числі обертів і максимальному робочому тиску нагнітання, к. с	46
Охолодження циліндрів	Повітряне
Вага (без масла), кг	560

При русі поршня вгору повітря в циліндрі першого ступеня стискається до тиску 0,17— 0,24 МПа, піднімає пластини нагнітального клапана вгору і

поступає в нагнітальну порожнину клапанної кришки, а потім по трубопроводу — в холодильник. При стисненні в циліндрі першої ступені повітря нагрівається до температури 150—165° С, а в холодильнику охолоджується до температури 40—60° С.

Із холодильника повітря по трубопроводу поступає через вмоктуючу порожнину клапанної кришки і вмоктуючий клапан в циліндр другого ступеня, де стискається до робочого тиску, а потім через нагнітальний клапан і нагнітальну порожнину клапанної кришки нагнітається в трубопровід, по якому поступає в повітрязбірник. У повітрязбірнику повітря охолоджується.

Холодильник і блоки циліндрів обдуваються вентилятором 2. Приводом вентилятора є клиновий пас від шківa 7, встановленого на кінці колінчастого валу.

Управління компресорними станціями може бути автоматичним і ручну.

Автоматичне управління здійснюється за допомогою регулятора тиску і електропневматичного вентиля, а ручне — двох-клапанним краном, встановленим на пульті бурильника або дизеліста.

Автоматичне управління компресорними станціями з електроприводом здійснюється за допомогою регулятора тиску, а ручне — електричними пусковими кнопками, розташованими на пульті бурильника [1,2,3,4].

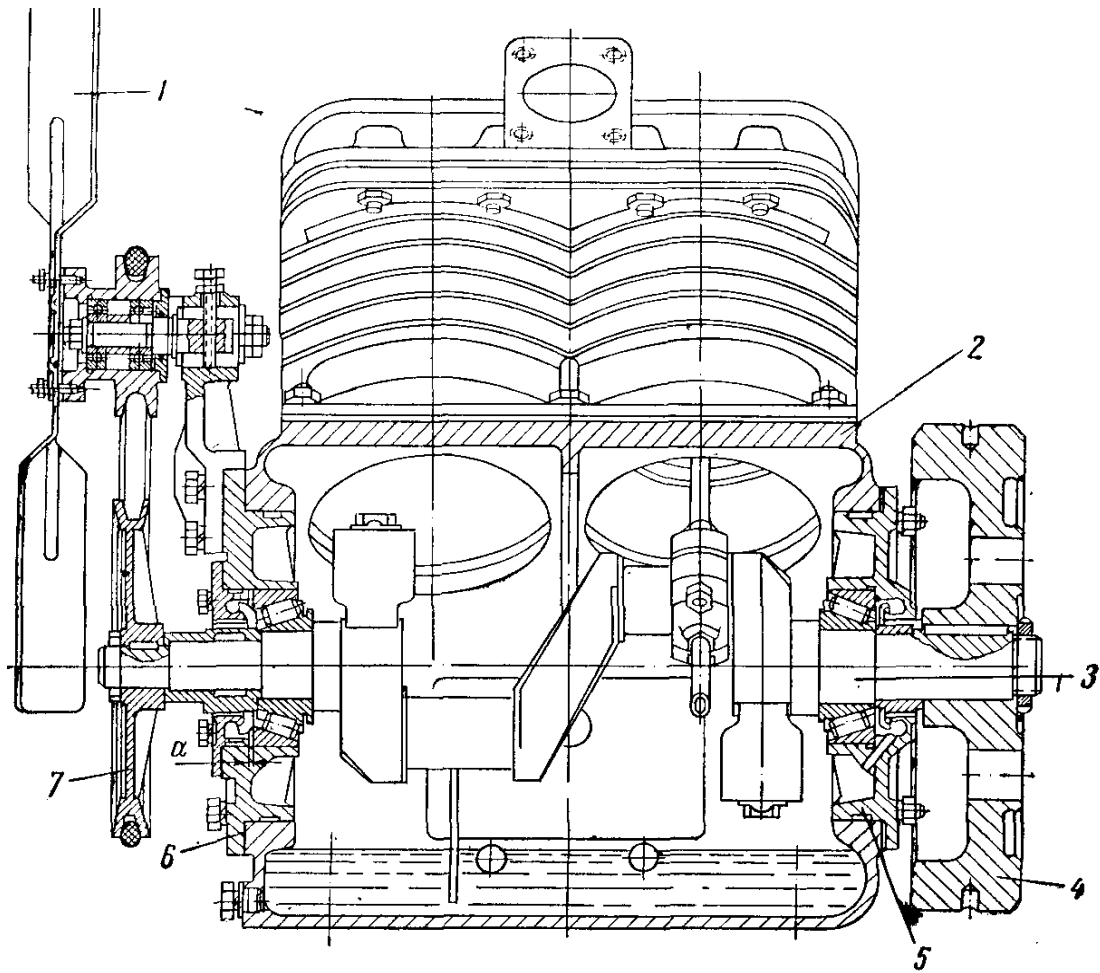


Рисунок 4.1-Компрессор К-5М (Повздовжній переріз)

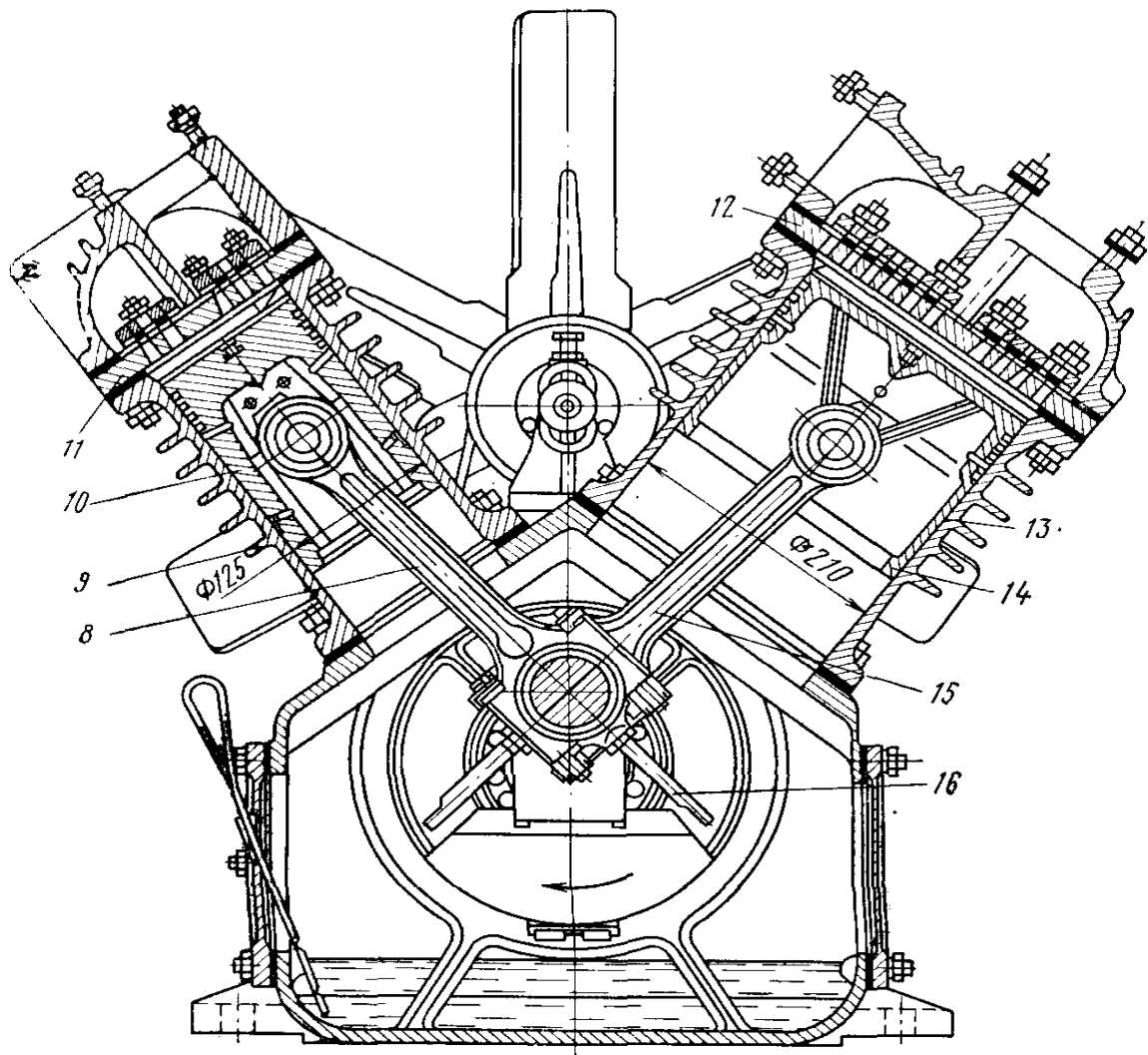


Рисунок 4.2-Компрессор К-5М (Поперечный переріз)

## 4.3 Перевірочні розрахунки вузлів і деталей компресора К5-М

### 4.3.1 Розрахунок колінчастого валу

Розрахунок колінчастого валу двохрядного двохступінчастого поршневого компресора простої дії з розміщенням колін через  $180^\circ$  [1,2, 4].

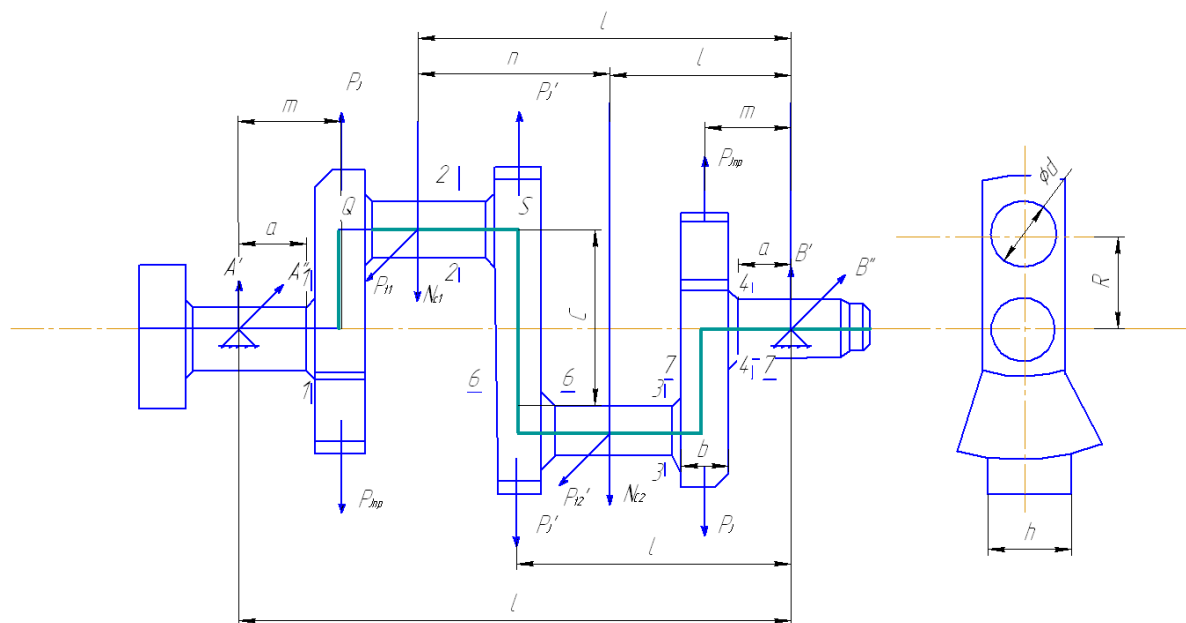


Рисунок 4.3 – Сили і реакції які діють на колінчастий вал

Із діаграми сумарних поршневих і тангенсальних зусиль маємо наступне.

1. Максимальне поршневе зусилля діюче на перше колесо при куті повороту вала  $\alpha=325^\circ$  і рівне  $P_{n1}=30800$  Н. Тангенсальне зусилля діюче на перше колесо, рівне  $P_{t1}=21200$  Н. В цьому ж положенні вала для другого коліна  $\alpha=145$ ;  $P_{n2}=5750$  Н;  $P_{t2}=4000$  Н.

2. Максимальне тангенсальне зусилля виникає при куті повороту першого колеса вала  $\alpha=135^\circ$ . При цьому для першого  $P_{n1}=4210$  Н;  $P_{t1}=3520$  Н; для другого коліна  $\alpha=315^\circ$ ;  $P_{n2}=29800$  Н;  $P_{t2}=24000$  Н.

Вал навантажений також силами інерції обертаючих частин, які мають постійну величину, не залежну від кута повороту вала. При цьому маса мотилевої шийки заміняємо двома рівними між собою масами  $\frac{M_{мш}}{2}$ , зосередженими в точках Q і S (рисунок 4.3).

Сили інерції противаги  $P_{jrp}=12700$ Н

Сили інерції, прикладена до малої щоки  $P_j=6300\text{H}$

Сили інерції, діючі на велику щоку  $p_j=400$

Діям сил ваги нехтуємо.

Розміри вала:

$$l=700 \text{ мм}$$

$$l_2=235 \text{ мм}$$

$$d=88 \text{ мм}$$

$$l_1=465 \text{ мм}$$

$$R=100 \text{ мм}$$

$$P=156 \text{ мм}$$

$$h=125 \text{ мм}$$

$$n=230 \text{ мм}$$

$$b=50 \text{ мм}$$

$$k=44 \text{ мм}$$

$$a=95 \text{ мм}$$

$$t=56 \text{ мм}$$

$$m=120 \text{ мм}$$

$$\lambda = \frac{1}{4,15}$$

$$l_3=350 \text{ мм}$$

#### 4.3.2 Розрахунок на статичні навантаження

**Перше положення** – максимальне поршневе зусилля. Зусилля, діюче в площині коліна, дорівнює

$$N_c = \frac{P_n \cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad (4.1)$$

де  $P_n$  - поршневе зусилля( з врахуванням сил інерції поступово рухливих частин), дію на колесо при даному куті повороту вала

$$\sin \beta = \lambda \sin \alpha \quad (4.2)$$

Перше колесо

$$\sin \beta_1 = \frac{1}{4,15} \sin 325 = -0,138;$$

$$\beta_1 = -7^\circ 58'$$

$$\alpha_1 + \beta_2 = 325^\circ - 7^\circ 58' = 317^\circ 2'$$

$$\cos(\alpha_1 + \beta_1) = 0.73$$

$$\cos \beta_1 = 0.987$$

$$N_c = \frac{P_{n1} \cos(\alpha_1 + \beta_1)}{\cos \beta_1} = \frac{30800 * 0.73}{0.987} = 22800\text{H}$$

Другого колесо:

$$\sin \beta_2 = \frac{1}{4,15} \sin 145 = 0,138;$$

$$\beta_2 = 7^\circ 58'$$

$$\alpha_1 + \beta_2 = 145^\circ + 7^\circ 58' = 152^\circ 58'$$

$$\cos(\alpha_2 + \beta_2) = 0,888$$

$$\cos \beta_2 = 0,987$$

$$N_c = \frac{P_{n2} \cos(\alpha_2 + \beta_2)}{\cos \beta_2} = \frac{5750 * 0,888}{0,987} = 5180 \text{ H}$$

Крутний момент передаючий на вал компресора,

$$M_{кр} = \sum P_1 R_1 \quad (4,3)$$

де  $P_1$  - тангенсальне зусилля, діюче на колесо вала;

$R_1$  - радіус кривошипа.

В даному випадку

$$M_{кр} = P_1 * R_1 - P_2 R_2 = (21200 - 4000)0,10 = 1720 \text{ H} * \text{м}$$

Реакції опор:

- в площині колеса:

$$A' = \frac{(P_{jkk} - P_j)(l - m) + N_{c1}l_1 + N_{c2}l_2 - (P_{jmm}P_j)m}{l} \quad (4,4)$$

$$A' =$$

$$\frac{(12700 - 6300)(0,7 - 0,12) + 22800 * 0,465 + 5180 * 0,235 - (12700 - 6300)0,12}{0,70} = 21440 \text{ H}$$

$$B' = A' + N_{c1} + N_{c2} \quad (4,5)$$

$$B' = -21440 + 22800 + 5180 = 65400 \text{ H}$$

- в перпендикулярній площині:

$$A' = \frac{P_{c1}l_1 + P_{c2}l_2}{l} \quad (4,6)$$

$$A' = \frac{21200 * 0,465 + 4000 * 0,235}{0,70} = 15440 \text{ H}$$

$$B' = -A' + P_{c1} + P_{c2} \quad (4,7)$$

$$B' = -15440 + 21200 + 4000 = 9760 \text{ H}$$

Напруження в небезпечних перерізах вала. **Січення 1 – 1** корінна шийка вала зі сторони двигуна.

Згинаючий момент в площині колеса

$$M_{s1} = A' * a \quad (4,8)$$

$$M_{s1} = 21440 * 0,095 = 2040 \text{ Hм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярній площині

$$M_{32} = A \cdot a$$

$$M_{32} = 15440 \cdot 0,095 = 1468 \text{ Нм}$$

Результуючий згинаючий момент

$$M_3 = \sqrt{M_{31}^2 + M_{32}^2} \quad (4,9)$$

$$M_3 = \sqrt{2040^2 + 1468^2} = 2513 \text{ Нм}$$

Напруження від згину

$$\sigma_{\xi} = \frac{M_{\xi}}{W} \quad (4,10)$$

де  $W$  – момент опору шийки;

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1 d^3 \quad (4,11)$$

$$W = 0,1 \cdot 0,088^3 = 0,000068 \text{ м}^3$$

$$\sigma_3 = \frac{2513}{0,000068} = 37 \text{ МПа}$$

Крутний момент від двигуна

$$M_{кр} = 17\,2000 \text{ Н}$$

Дотичне напруження кручення

$$\tau = \frac{M_{кр}}{2W} \quad (4,12)$$

$$\tau = \frac{172000}{2 \cdot 0,000068} = 12,6 \text{ МПа}$$

Складене напруження по третій теоремі пружності

$$\sigma = \sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau^2} \quad (4,13)$$

$$\sigma = \sqrt{37^2 + 4 \cdot 12,6^2} = 45,2 \text{ МПа}$$

**Січення 2 – 2** – перша мотилева шийка з сторони двигуна [3,4].

Згинаючий момент в площині коліна.

$$M_{31} = A'(l-l_1) - (P_{лп} - P_J)(l - m - l_1) \quad (4,14)$$

$$M_{31} = 21440(0,70 - 0,465) - (12700 - 6300)(0,70 - 0,12 - 0,465) = 430400 \text{ Нм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярній площині

$$M_{32} = A''(l-l_1) \quad (4,15)$$

$$M_{32}=15440 (0,70 - 0,465)=3630 \text{ Нм}$$

Сумарний згинаючий момент

$$M_3 = \sqrt{M_{31}^2 + M_{32}^2} \quad (4,16)$$

$$M_3 = \sqrt{4304^2 + 3630^2} = 5600 \text{ Нс}$$

Напруження від згину

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \quad (4,17)$$

$$\sigma_3 = \frac{5600}{0,000068} = 82,5 \text{ МПа}$$

Крутний момент

$$M_k = M_{кр} - A * R \quad (4,18)$$

$$M_k = 172000 - 15440 * 0,10 = 17600 \text{ Нм}$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_k}{2W} \quad (4,19)$$

$$\tau = \frac{17600}{2 * 0,000068} = 1,3 \text{ МПа}$$

Складені напруження

$$\sigma = \sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau^2} \quad (4,20)$$

$$\sigma = \sqrt{82,5^2 + 4 * 1,3^2} = 82,8 \text{ МПа}$$

**Січення 3 – 3** – друга мотилева шийка.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31} = B' l_2 + (P_{лп} - P_J) (l_2 - m) \quad (4,21)$$

$$M_{31} = 6540 * 0,235 + (12700 - 6300) (0,235 - 0,12) = 2274 \text{ Нм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярній площині

$$M_{32} = B'' l_2 \quad (4,22)$$

$$M_{32} = 9760 * 0,235 = 2295 \text{ Нм}$$

Сумарний згинаючий момент

$$M_3 = \sqrt{M_{31}^2 + M_{32}^2} \quad (4,23)$$

$$M_3 = \sqrt{2274^2 + 2295^2} = 3180 \text{ Нс}$$

Напруження від згину

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \quad (4,23)$$

$$\sigma_3 = \frac{3180}{0,000068} = 46,8 \text{ МПа}$$

Крутний момент

$$M_k = B \cdot R \quad (4,24)$$

$$M_k = 9760 \cdot 0,10 = 976 \text{ Нм}$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_k}{2W} \quad (4,25)$$

$$\tau = \frac{976}{2 \cdot 0,000068} = 7,2 \text{ МПа}$$

Складені напруження

$$\sigma = \sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau^2} \quad (4,26)$$

$$\sigma = \sqrt{46,8^2 + 4 \cdot 7,2^2} = 49,0 \text{ МПа}$$

**Січення 4 – 4** – друга коріна шийка.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31} = B \cdot a \quad (4,27)$$

$$M_{31} = 6540 \cdot 0,095 = 621 \text{ Нм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярній площині

$$M_{32} = B \cdot a \quad (4,28)$$

$$M_{32} = 9760 \cdot 0,0954 = 928 \text{ Нм}$$

Сумарний згинаючий момент

$$M_3 = \sqrt{M_{31}^2 + M_{32}^2} \quad (4,30)$$

$$M_3 = \sqrt{621^2 + 928^2} = 1117 \text{ Нм}$$

Напруження від згину

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \quad (4,31)$$

$$\sigma_3 = \frac{1117}{0,000068} = 16,5 \text{ МПа}$$

Крутний момент відсутній.

**Січення 5 – 5** – мала щока першого мотиля.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31} = A' \cdot m \quad (4,32)$$

$$M_{31} = 21440 \cdot 0,12 = 2575 \text{ Нм}$$

Напруження від нього на широкій стороні щоки

$$\sigma_{31} = \frac{M_{31}}{W_{31}} \quad (4,33)$$

де

$$W_{31} = \frac{bh^2}{6} \quad (4,34)$$

$$W_{31} = \frac{0,05 \cdot 0,125^2}{6} = 0,000052 \text{ см}^2$$

$$\sigma_{31} = \frac{2575}{0,000052} = 49,5 \text{ МПа}$$

Напруження стиску від радіального зусилля

$$\sigma_{cm} = \frac{A' - P_{Jnn}}{bh} \quad (4,35)$$

$$\sigma_{cm} = \frac{21440 - 12700}{0,125 \cdot 0,05} = 1,4 \text{ МПа}$$

Сумарне напруження від згину на ребра щоки

$$\sigma = \sigma_{31} + \sigma_{32} + \sigma_{cm} \quad [3,36]$$

$$\sigma = 49,5 + 7,8 + 1,4 = 58,7 \text{ МПа}$$

Скручуючий момент

$$M_k = A'' \cdot m \quad (4,37)$$

$$M_k = 15440 \cdot 0,12 = 1854 \text{ Нм}$$

Дотичне навантаження на широкій стороні щоки

$$\tau_1 = \frac{M_k}{W_{33}} \quad (4,38)$$

де

$$W_{33} \approx \frac{2b^2h}{9} \quad (4,39)$$

$$W \approx \frac{2 \cdot 0,05^2 \cdot 0,12}{9} = 0,0000694 \text{ м}^2$$

$$\tau = \frac{1854}{0,0000694} = 26,7 \text{ МПа}$$

Дотичне навантаження на вузькій стороні щоки

$$\tau_2 = \frac{M_k}{W_{34}} \quad (4,40)$$

де

$$W_{34} \approx \frac{2bh^2}{9} \quad (4,41)$$

$$W \approx \frac{2 * 0,05 * 0,12^2}{9} = 0,000174 \text{ м}^2$$

$$\tau = \frac{1854}{0,000174} = 10,65 \text{ МПа}$$

Найбільш складне напруження від згину, стиску і кручення на широкій стороні щоби

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} \quad (4,42)$$

де

$$\sigma_1 = \sigma_{31} + \sigma_{cm}$$

$$\sigma_1 = 49,5 + 1,4 = 50,9 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{50,9^2 + 4 * 26,7^2} = 73,9 \text{ МПа}$$

Найбільш складне напруження на вузькій стороні щоби від згину стиску і кручення

$$\sigma = \sqrt{\sigma_2^2 + 4\tau_2^2} \quad (4,43)$$

де

$$\sigma_2 = \sigma_{32} + \sigma_{cm}$$

$$\sigma_2 = 7,8 + 1,4 = 9,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{9,2^2 + 4 * 10,6^2} = 23,4 \text{ МПа}$$

**Січення 6 – 6** – велика щоби.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31} = A' l_3 - (P_{лп} - P_J) (l_3 - m) - N_{c1} (l_1 - l_3) \quad (4,44)$$

$$M_{31} = 21440 * 0,35 - (12700 - 6300) (0,35 - 0,12) - 22800 (0,465 - 0,35) = 3430 \text{ Нм}$$

Напруження згину, виникаюче від нього на широкій стороні щоби.

$$\sigma_{31} = \frac{M_{31}}{W_{31}} \quad (4,45)$$

$$\sigma_{31} = \frac{313000}{0,000052} = 66,0 \text{ МПа}$$

Згинаючий момент в перпендикулярній площині

$$M_{32} = M_{кр} + A''(c - R) - Pn^c \quad (4,46)$$

$$M_{32} = 172000 + 15440(0,156 - 0,10) - 21200 * 0,156 = -725 \text{ Нм}$$

Напруження згину, виникнені від нього на вузькій стороні щоки,

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W_{p2}} \quad (4,47)$$

$$\sigma_{32} = \frac{725}{0,000133} = 5,5 \text{ МПа}$$

Напруження стиску від радіального зусилля

$$\sigma_{cm} = \frac{-A' + P_{III} - P_J + N_{c1} - P'_J}{bh} \quad (4,48)$$

$$\sigma_{cm} = \frac{-21440 + 12700 - 6300 + 22800 - 4000}{0,05 * 0,125} = 0,6 \text{ МПа}$$

Сумарне напруження від згину і стиску на ребрі щоки

$$\sigma = \sigma_{31} + \sigma_{32} + \sigma_{cm} \quad (4,49)$$

$$\sigma = 66 + 5,5 + 0,6 = 72,1 \text{ МПа}$$

Крутний момент

$$M_k = A''(l_3) - P_{t1}(l_1 - l_3) \quad (4,50)$$

$$M_k = 15440 * 0,35 - 21200(0,465 - 0,35) = 2970 \text{ Нм}$$

Дотичні напруження на широкій стороні щоки

$$\tau_1 = \frac{M_k}{W_{33}} \quad (4,51)$$

$$\tau_1 = \frac{2970}{0,0000694} = 42,9 \text{ МПа}$$

Дотичні напруження на вузькій стороні щоки

$$\tau_2 = \frac{M_k}{W_{34}} \quad (4,52)$$

$$\tau_2 = \frac{297}{0,000174} = 17,1 \text{ МПа}$$

Найбільші зложене напруження на широкій стороні щоки

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} \quad (4,53)$$

де

$$\sigma_2 = \sigma_{32} + \sigma_{cm} \quad (4,54)$$

$$\sigma_2 = 5,5 + 0,6 = 6,1 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{6,1^2 + 4 * 17,1^2} = 34,6 \text{ МПа}$$

**Січення 7 – 7** – мала щока другого мотиля.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31} = B \cdot m \quad (4,55)$$

$$M_{31} = 6540 \cdot 0,12 = 784 \text{ Нм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярні площині

$$M_{32} = B \cdot t \quad (4,56)$$

$$M_{32} = 9760 \cdot 0,056 = 546 \text{ Нм}$$

Напруження згину від  $M_{31}$  на широкі стороні щоки

$$\sigma_{31} = \frac{M_{31}}{W_{31}} \quad (4,57)$$

$$\sigma_{31} = \frac{784}{0,000052} = 15,1 \text{ МПа}$$

Напруження згину від  $M_{32}$  на вузькій стороні щоки

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W_{32}} \quad (4,58)$$

$$\sigma_{32} = \frac{546}{0,000133} = 4,1 \text{ МПа}$$

Розриваючі зусилля від радіального зусилля

$$\sigma_p = \frac{B' + P_{Jnn}}{bh} \quad (4,59)$$

$$\sigma_p = \frac{6540 + 12700}{0,125 \cdot 0,05} = 3,1 \text{ МПа}$$

Сумарне напруження від згину і розтягу на ребрі щоки

$$\sigma_p = \sigma_{31} + \sigma_{32} + \sigma_p \quad (4,60)$$

$$\sigma_p = 15,1 + 4,1 + 3,1 = 22,3 \text{ МПа}$$

Зминаючий момент

$$M_{кр} = B \cdot m \quad (4,61)$$

$$M_{кр} = 9760 \cdot 0,12 = 1172 \text{ Нм}$$

Дотичне напруження на широкі стороні щоки

$$\tau_1 = \frac{M_{\kappa}}{W_{33}} \quad (4,62)$$

$$\tau_1 = \frac{1172}{0,000694} = 16,9 \text{ МПа}$$

Дотичне напруження на вузькій стороні шийки

$$\tau_2 = \frac{M_{\kappa}}{W_{34}} \quad (4,63)$$

$$\tau_2 = \frac{1172}{0,000174} = 6,7 \text{ МПа}$$

Найбільш складні напруження на широкій стороні шоки

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} \quad (4,64)$$

де  $\sigma_1 = \sigma_{31} + \sigma_p \quad (4,65)$

$$\sigma_1 = 15,1 + 3,1 = 18,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{18,2^2 + 4 * 16,9^2} = 38,4 \text{ Мпа}$$

Найбільш складне напруження на вузькій стороні шоки

$$\sigma = \sqrt{\sigma_2^2 + 4\tau_2^2} \quad (4,66)$$

де  $\sigma_2 = \sigma_{32} + \sigma_p \quad (4,67)$

$$\sigma_1 = 4,1 + 3,1 = 7,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{17,2^2 + 4 * 6,7^2} = 15,2 \text{ МПа}$$

**Друге положення** – максимальне тангенсальне зусилля. Зусилля, діюче в площині коліна (рисунок б)

$$N_c = \frac{P_n \cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad (4,68)$$

де  $P_n$  - поршневе зусилля ( з врахуванням сил інерції поступово рухливих частин), дію на колесо при даному куті повороту вала

$$\sin \beta = \lambda \sin \alpha \quad (4,69)$$

Перше колесо

$$\sin \beta_1 = \frac{1}{4,15} \sin 135 = 0,1704;$$

$$\beta_1 = 9^{\circ}51'$$

$$\alpha_1 + \beta_1 = 135^{\circ} + 9^{\circ}51' = 144^{\circ}51'$$

$$\cos(\alpha_1 + \beta_1) = 0.816$$

$$\cos \beta_1 = 0.983$$

$$N_{c1} = \frac{P_{n1} \cos(\alpha_1 + \beta_1)}{\cos \beta_1} = \frac{4210 * 0.816}{0.983} = 3500H$$

Другого колеса:

$$\sin \beta_2 = \frac{1}{4,15} \sin 315 = -0,1704;$$

$$\beta_2 = -9^\circ 51'$$

$$\alpha_2 + \beta_2 = 315^\circ - 9^\circ 51' = 305^\circ 9'$$

$$\cos(\alpha_2 + \beta_2) = 0,574$$

$$\cos \beta_2 = 0.983$$

$$N_{c2} = \frac{P_{n2} \cos(\alpha_2 + \beta_2)}{\cos \beta_2} = \frac{29800 * 0,574}{0.983} = 17400H$$

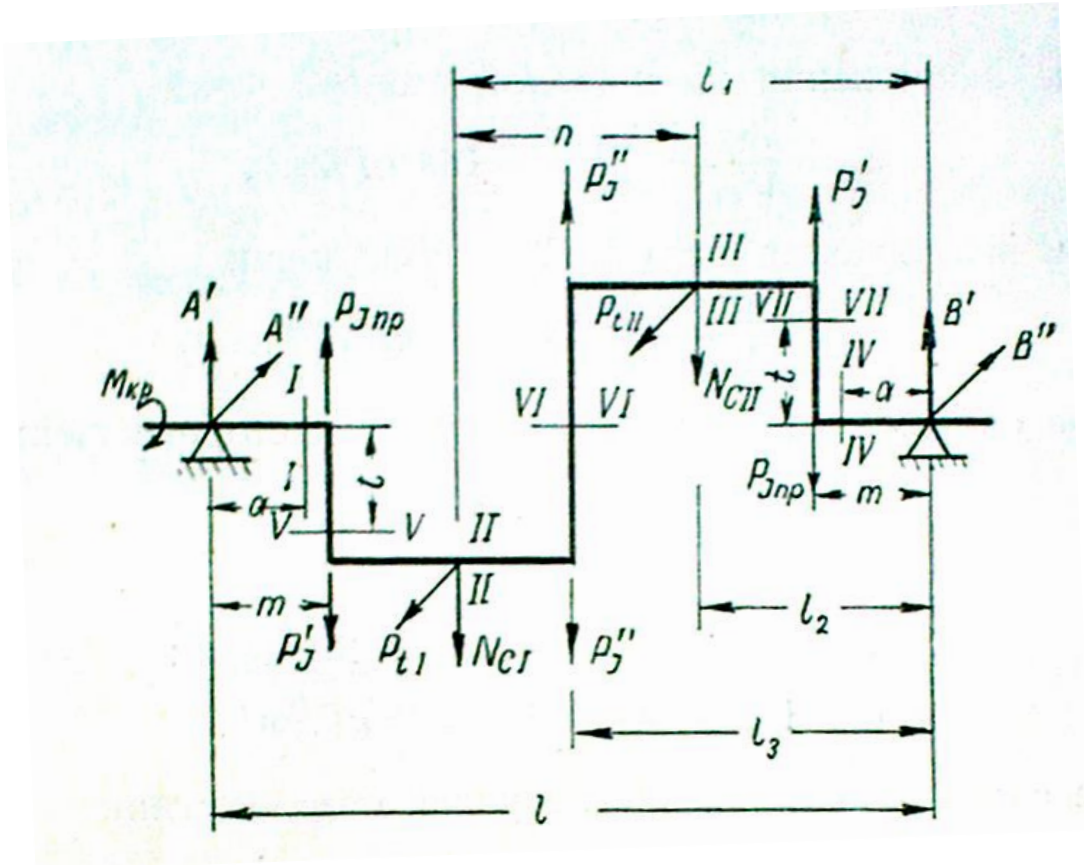


Рисунок 4.4 – Схема реакції на колінчастому валі

Крутний момент передаючий на вал компресора,

$$M_{кр} = \sum P_{t1} R \quad (4,70)$$

де  $P_{t1}$  - тангенсальне зусилля, діюче на колесо вала;

$R_{t1}$  - радіус кривошипа.

В даному випадку

$$M_{кр} = -P_{t1} \cdot R + P_{t2} \cdot R = (-3520 + 24000) \cdot 0,10 = 2048 \text{ Нм}$$

Реакції опор:

- в площині колеса:

$$A' = \frac{(P_j - P_{jкк})(l - m) + N_{c1}l_1 + N_{c2}l_2 + (P_{jnn} - P_j)m}{l}$$

$$A' = \frac{(6300 - 12700)(0,70 - 0,12) + 3500 \cdot 0,465 + 17400 \cdot 0,235 + (12700 - 6300) \cdot 0,12}{0,70} = 39,8$$

$$B' = A' + N_{c1} + N_{c2} \quad (4,71)$$

$$B' = -3980 + 3500 + 17400 = 169200 \text{ Н}$$

- в перпендикулярні площині:

$$A' = \frac{P_{c1}l_1 + P_{c2}l_2}{l} \quad (4,72)$$

$$A' = \frac{3250 \cdot 0,465 + 24000 \cdot 0,235}{0,70} = 10410 \text{ Н}$$

$$B' = -A + P_{c1} + P_{c2} \quad (4,73)$$

$$B' = -10410 + 3520 + 24000 = 17110 \text{ Н}$$

Напруження в небезпечних перерізах вала.

**Січення 1 – 1** корінна шийка вала зі сторони двигуна.

Згинаючий момент в площині колеса

$$M_{31} = A' \cdot a \quad (4,74)$$

$$M_{31} = 3980 \cdot 0,095 = 378 \text{ Нм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярні площині

$$M_{32} = A' \cdot a \quad (4,75)$$

$$M_{32} = 10410 \cdot 0,095 = 990 \text{ Нм}$$

Результуючий згинаючий момент

$$M_3 = \sqrt{M_{31}^2 + M_{32}^2} \quad (4,76)$$

$$M_3 = \sqrt{378^2 + 990^2} = 1060 \text{ Нм}$$

Напруження від згину

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \quad (4,77)$$

$$\sigma_3 = \frac{1060}{0,068} = 15,6 \text{ МПа}$$

Крутний момент від двигуна

$$M_K = M_{кр} = 2048 \text{ Н}$$

Дотичне напруження кручення

$$\tau = \frac{M_K}{2W} \quad (4,78)$$

$$\tau = \frac{2048}{2 \cdot 0,000068} = 15,1 \text{ МПа}$$

Складене напруження по третій теоремі пружності

$$\sigma = \sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau^2} \quad (4,79)$$

$$\sigma = \sqrt{15,6^2 + 4 \cdot 15,1^2} = 34,0 \text{ МПа}$$

**Січення 2 – 2** – перша мотилева шийка з сторони двигуна.

Згинаючий момент в площині коліна.

$$M_{31} = A''(l-l_1) + (P_{гпр} - P_J)(l - m - l_1) \quad (4,80)$$

$$M_{31} = 3980(0,70 - 0,465) + (12700 - 6300)(0,70 - 0,12 - 0,465) = 1671 \text{ Нм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярній площині

$$M_{32} = A''(l-l_1) \quad (4,81)$$

$$M_{32} = 10410(0,70 - 0,465) = 2430 \text{ Нм}$$

Сумарний згинаючий момент

$$M_3 = \sqrt{M_{31}^2 + M_{32}^2} \quad (4,82)$$

$$M_3 = \sqrt{1671^2 + 2430^2} = 2950 \text{ Нм}$$

Напруження від згину

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \quad (4,83)$$

$$\sigma_3 = \frac{2950}{0,000068} = 43,5 \text{ МПа}$$

Крутний момент

$$M_K = M_{кр} + A'' \cdot R \quad (4,84)$$

$$M_K = 2048 + 10410 \cdot 0,10 = 3089 \text{ Нм}$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_K}{2W} \quad (4,85)$$

$$\tau = \frac{3080}{2 * 0,000068} = 22,1 \text{ МПа}$$

Складені напруження

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\zeta}^2 + 4\tau^2} \quad (4,86)$$

$$\sigma = \sqrt{43,5^2 + 4 * 22,1^2} = 62,0 \text{ МПа}$$

**Січення 3 – 3** – друга мотилева шийка.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31} = B' l_2 - (P_{\text{Іпр}} - P_{\text{І}}) (l_2 - m) \quad (4,87)$$

$$M_{31} = 16920 * 0,235 - (12700 - 6300) (0,235 - 0,12) = 3245 \text{ Нм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярній площині

$$M_{32} = B'' l_2 \quad (4,88)$$

$$M_{32} = 17110 * 0,235 = 4020 \text{ Нм}$$

Сумарний згинаючий момент

$$M_3 = \sqrt{M_{31}^2 + M_{32}^2} \quad (4,89)$$

$$M_3 = \sqrt{3245^2 + 4020^2} = 5180 \text{ Нм}$$

Напруження від згину

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \quad (4,90)$$

$$\sigma_3 = \frac{5180}{0,000068} = 76,1 \text{ МПа}$$

Крутний момент

$$M_{\text{к}} = B''' * R \quad (4,91)$$

$$M_{\text{к}} = 17110 * 0,10 = 1711 \text{ Нм}$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_{\text{к}}}{2W} \quad (4,92)$$

$$\tau = \frac{1711}{2 * 0,000068} = 12,6 \text{ МПа}$$

Складені напруження

$$\sigma = \sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau^2} \quad (4,93)$$

$$\sigma = \sqrt{76,1^2 + 4 * 12,6^2} = 80,3 \text{ МПа}$$

**Січення 4 – 4** – друга коріна шийка.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31}=B'a \quad (4,94)$$

$$M_{31}=16920*0,095=1610 \text{ Нм}$$

Згинаючий момент в перпендикулярні площині

$$M_{32}=B''a \quad (4,95)$$

$$M_{32}=17110*0,0954=1628 \text{ Нм}$$

Сумарний згинаючий момент

$$M_3=\sqrt{M_{31}^2+M_{32}^2} \quad (4,96)$$

$$M_3=\sqrt{1610^2+1628^2}=2290 \text{ Нм}$$

Напруження від згину

$$\sigma_3=\frac{M_3}{W} \quad (4,97)$$

$$\sigma_3=\frac{2290}{0,000068}=33,8 \text{ МПа}$$

Крутний момент відсутній.

**Січення 5 – 5** – мала щока першого мотиля.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31}=A'm \quad (4,98)$$

$$M_{31}=3980*0,12=478 \text{ Нм}$$

Напруження від нього на широкій стороні щоки

$$\sigma_{31}=\frac{M_{31}}{W_{31}} \quad (4,99)$$

$$\sigma_{31}=\frac{478}{0,000052}=9,2 \text{ МПа}$$

Напруження стиску від радіального зусилля

$$\sigma_{cm}=\frac{A'-P_{Jnn}}{bh} \quad (4,100)$$

$$\sigma_{cm}=\frac{21440-12700}{0,125*0,05}=1,4 \text{ МПа}$$

Згинаючий момент в перпендикулярні площині

$$M_{32}=M_{кр}+A''t \quad (4,101)$$

$$M_{32}=2048+10410*0,56=2632 \text{ Нм}$$

Напруження від нього на широкі сороні

$$\sigma_{31} = \frac{M_{32}}{W_{32}} \quad (4,102)$$

$$\sigma_{32} = \frac{2632}{0,000133} = 19,8 \text{ МПа}$$

Розриваючі напруження від радіального зусилля

$$\sigma_p = \frac{A'+P_{III}}{bh} \quad (4,103)$$

$$\sigma_p = \frac{3980 + 12700}{0,125 * 0,05} = 2,7 \text{ МПа}$$

Сумарне напруження від згину і розтягу на ребрі щоки

$$\sigma = \sigma_{31} + \sigma_{32} + \sigma_p \quad (4,104)$$

$$\sigma = 9,2 + 19,8 + 2,7 = 31,7 \text{ МПа}$$

Скручуючий момент

$$M_k = A''m \quad (4,105)$$

$$M_k = 10410 * 0,12 = 1250 \text{ Нм}$$

Дотичне навантаження на широкі сторони щоки

$$\tau_1 = \frac{M_k}{W_{33}} \quad (4,106)$$

де 
$$\tau_1 = \frac{1250}{0,0000694} = 18,0 \text{ МПа}$$

Дотичні напруження на вузькій стороні щоки

$$\tau_2 = \frac{M_k}{W_{33}} \quad (4,107)$$

$$\tau_2 = \frac{1250}{0,000174} = 7,2 \text{ МПа}$$

Найбільш складне напруження від згину, стиску і кручення на широкі сторони щоки

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} \quad (4,108)$$

де 
$$\sigma_1 = \sigma_{31} + \sigma_p \quad (4,109)$$

$$\sigma_1 = 9,2 + 2,7 = 11,9 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{11,9^2 + 4 \cdot 18,0^2} = 37,5 \text{ МПа}$$

Найбільш складне напруження на вузькій стороні щоеи від згину стиску і кручення

$$\sigma = \sqrt{\sigma_2^2 + 4\tau_2^2} \quad (4,110)$$

де

$$\sigma_2 = \sigma_{32} + \sigma_p \quad (4,111)$$

$$\sigma_2 = 19,0 + 2,7 = 21,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{21,7^2 + 4 \cdot 7,2^2} = 26,0 \text{ МПа}$$

**Січення 6 – 6** – велика щока.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31} = A' l_3 + (P_{\text{Ipp}} - P_J) (l_3 - m) - N_{c1} (l_1 - l_3) \quad (4,112)$$

$$M_{31} = 3980 \cdot 0,35 + (12700 - 6300)(0,35 - 0,12) - 3500(0,465 - 0,35) = 2467 \text{ Нм}$$

Напруження згину, виникаюче від нього на широкій стороні щоки.

$$\sigma_{31} = \frac{M_{31}}{W_{31}} \quad (4,113)$$

$$\sigma_{31} = \frac{2467}{0,000052} = 47,4 \text{ МПа}$$

Згинаючий момент в перпендикулярній площині

$$M_{32} = M_{\text{кр}} + P_{t1} R \quad (4,114)$$

$$M_{32} = 2048 + 3520 \cdot 0,10 = 2400 \text{ Нм}$$

Напруження згину, виникнені від нього на вузькій стороні щоки,

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W_{p2}} \quad (4,115)$$

$$\sigma_{32} = \frac{2048}{0,000133} = 18,0 \text{ МПа}$$

Напруження стиску від радіального зусилля

$$\sigma_{cm} = \frac{A' + P_{\text{Ipp}} - P_J + N_{c1} - P'_J}{bh} \quad (4,116)$$

$$\sigma_{cm} = \frac{3980 + 12700 - 6300 - 3500 - 4000}{0,05 \cdot 0,125} = 0,5 \text{ МПа}$$

Сумарне напруження від згину і стиску на ребрі щоки

$$\sigma = \sigma_{31} + \sigma_{32} + \sigma_{cm} \quad (4,117)$$

$$\sigma = 66,0 + 5,5 + 0,6 = 72,1 \text{ МПа}$$

Згинаючий момент

$$M_k = A'' l_3 - P_{t1}(l_1 - l_3) \quad (4,118)$$

$$M_k = 10410 * 0,35 - 3520 (0,465 - 0,35) = 3245 \text{ Нм}$$

Дотичні напруження на широкій стороні щоки

$$\tau_1 = \frac{M_k}{W_{33}} \quad (4,119)$$

$$\tau_1 = \frac{3245}{0,0000694} = 46,8 \text{ МПа}$$

Дотичні напруження на вузькій стороні щоки

$$\tau_2 = \frac{M_k}{W_{34}} \quad (4,220)$$

$$\tau_2 = \frac{3245}{0,000174} = 18,7 \text{ МПа}$$

Найбільші зложене напруження на широкій стороні щоки

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} \quad (4,221)$$

де

$$\sigma_1 = \sigma_{31} + \sigma_{cm} \quad (4,222)$$

$$\sigma_1 = 47,4 + 0,5 = 47,9 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{47,9^2 + 4 * 46,8^2} = 104,0 \text{ МПа}$$

Найбільші зложене напруження на вузькій стороні щоки

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} \quad (4,223)$$

де

$$\sigma_2 = \sigma_{32} + \sigma_{cm} \quad (4,224)$$

$$\sigma_2 = 18,0 + 0,5 = 18,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{18,5^2 + 4 * 18,7^2} = 41,8 \text{ МПа}$$

**Січення 7 – 7** – мала щока другого мотиля.

Згинаючий момент в площині коліна

$$M_{31} = B' m \quad (4,225)$$

$$M_{31} = 16920 * 0,12 = 2030 \text{ Нм}$$

Напруження згину від  $M_{31}$  на широкій стороні щоки

$$\sigma_{31} = \frac{M_{31}}{W_{31}} \quad (4,226)$$

$$\sigma_{31} = \frac{2030}{0,000133} = 7,2 \text{ МПа}$$

Згинаючий момент в перпендикулярні площині

$$M_{32} = B' \cdot t \quad (4,227)$$

$$M_{32} = 17110 \cdot 0,056 = 959 \text{ Нм}$$

Напруження згину від  $M_{32}$  на вузькій стороні щоки

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W_{32}} \quad (4,228)$$

$$\sigma_{32} = \frac{959}{0,000133} = 7,2 \text{ МПа}$$

Розриваючі зусилля від радіального зусилля

$$\sigma_{cm} = \frac{B' - P_{Jnn}}{bh} \quad (4,229)$$

$$\sigma_{cm} = \frac{16920 - 12700}{0,125 \cdot 0,05} = 0,7 \text{ МПа}$$

Сумарне напруження від згину і розтягу на ребрі щоки

$$\sigma_p = \sigma_{31} + \sigma_{32} + \sigma_{cm} \quad (4,130)$$

$$\sigma_p = 39,0 + 7,2 + 0,7 = 46,9 \text{ МПа}$$

Зминаючий момент

$$M_{кр} = B'' \cdot m \quad (4,131)$$

$$M_{кр} = 17110 \cdot 0,12 = 2055 \text{ Нм}$$

Дотичне напруження на широкі стороні щоки

$$\tau_1 = \frac{M_{\kappa}}{W_{33}} \quad (4,132)$$

$$\tau_1 = \frac{2055}{0,0000694} = 29,8 \text{ МПа}$$

Дотичне напруження на вузькій стороні шийки

$$\tau_2 = \frac{M_{\kappa}}{W_{34}} \quad (4,133)$$

$$\tau_2 = \frac{2055}{0,000174} = 11,8 \text{ МПа}$$

Найбільш складні напруження на широкій стороні шоки

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} \quad (4,134)$$

де

$$\sigma_1 = \sigma_{s1} + \sigma_{cm} \quad (4,135)$$

$$\sigma_1 = 39,0 + 0,7 = 39,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{39,7^2 + 4 * 29,8^2} = 71,7 \text{ МПа}$$

Найбільш складне напруження на вузькій стороні шоки

$$\sigma = \sqrt{\sigma_2^2 + 4\tau_2^2} \quad (4,136)$$

де

$$\sigma_2 = \sigma_{s2} + \sigma_{cm} \text{ мм} \quad (4,137)$$

$$\sigma_2 = 7,2 + 0,7 = 7,9 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \sqrt{7,9^2 + 4 * 11,8^2} = 24,9$$

### 4.3.3 Розрахунок шатуна

Розрахунок стержня втомлюючи пружність (матеріал – сталь 40) [1,2,3,4].  
Сумарне напруження від стиску і поздовжнього згину в площині руху шатуна в середнім перерізі стержня

$$\sigma_x = P_{usc} \left( \frac{1}{f_{cp}} + C \frac{L^2}{J_x} \right), \quad (4,140)$$

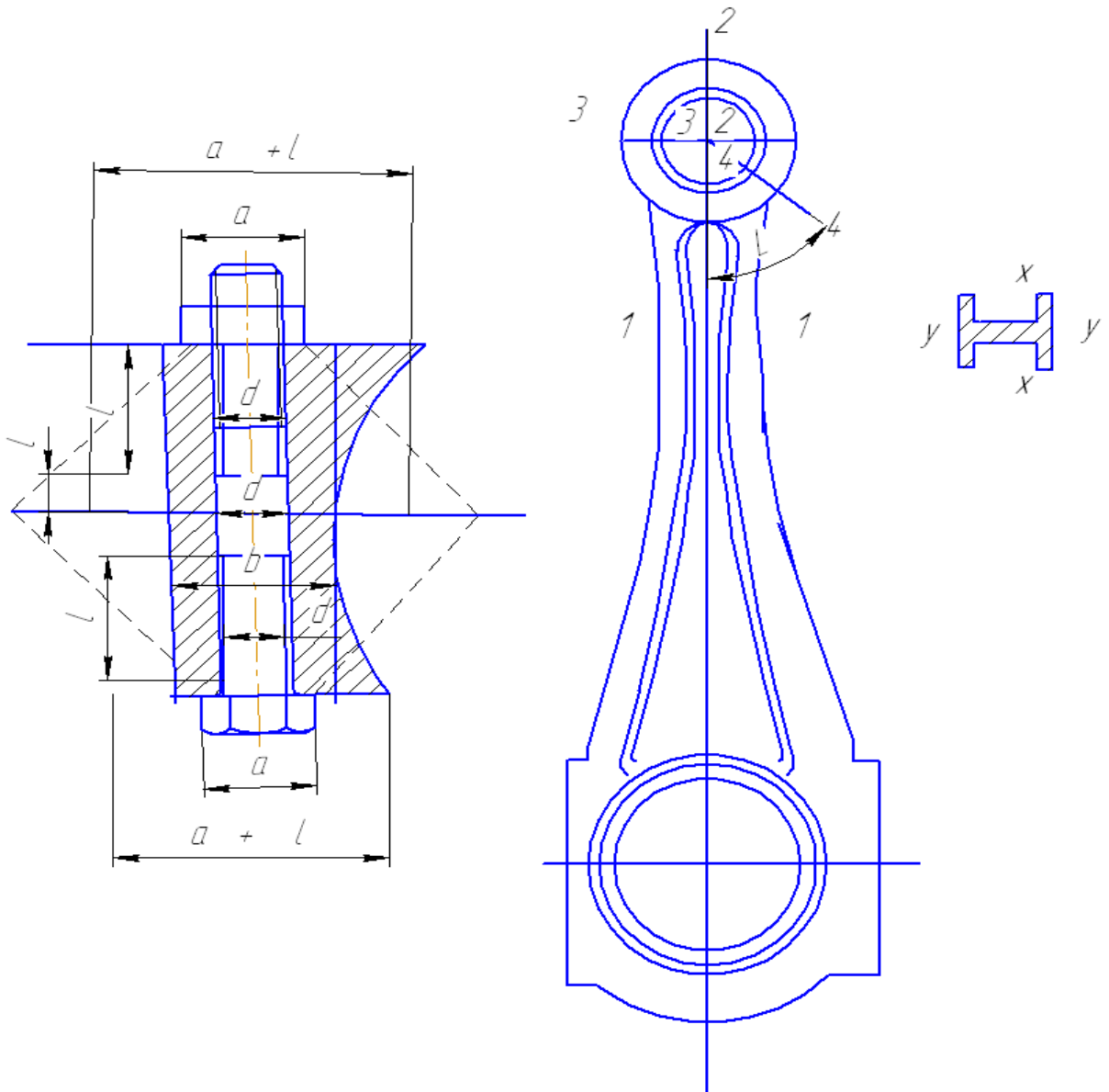


Рисунок 4.5 - Шатун

де  $P_{шс}=37500$  Н – максимальне стискаюче зусилля, діюче по шатуну;

$f_{ср}=0,011$  м<sup>2</sup> – площа середнього січення стержня шатуна;

$J_x=359$  м<sup>4</sup> – момент інерції перерізу відносно осі  $x - x$ ;

$L=0,415$  м – довжина шатуна;

$$C = \frac{\sigma_y}{\pi^2 E} = 0,00015 - 0,0005 \quad (4,141)$$

Приймаємо  $C=0,0005$ . Тоді

$$\sigma_x = 37500 \left( \frac{1}{11} + 0,0005 \frac{0,415^2}{359} \right) = 35,0 \text{ МПа}$$

В площині, перпендикулярній площині руху шатуна,

$$\sigma_y = P_{usc} \left( \frac{1}{f_{cp}} + C \frac{L^2}{J_y} \right), \quad (4,142)$$

де  $L=0,34\text{м}$  – найменша відстань між верхніми і нижніми головками шатуна;

$J_y=105\text{м}^4$  - момент інерції перерізу відносно осі  $y - y$ ;

$$\sigma_y = 37500 \left( \frac{1}{11} + 0,0005 \frac{0,34^2}{105} \right) = 36,2 \text{ МПа}$$

Найбільша напруга розтягу

$$\sigma_p = \frac{P_{um}}{f_{cp}} \quad (4,143)$$

де  $P_{шт}=28100 \text{ Н}$  - максимальне зусилля, розтягуючи шатун;

$$\sigma_p = \frac{281}{0,000011} = 25,5 \text{ МПа}$$

Середнє напруження за цикл в площині руху шатуна

$$\sigma_{mx} = \frac{\sigma_x + \sigma_p}{2} \quad (4,144)$$

$$\sigma_{mx} = \frac{350 + (-255)}{2} = 47,5 \text{ МПа}$$

В перпендикулярні площині

$$\sigma_{my} = \frac{\sigma_y + \sigma_p}{2} \quad (4,145)$$

$$\sigma_{my} = \frac{362 + (-255)}{2} = 53,5 \text{ МПа}$$

Амплітуди напруження за цикл ( в площині руху шатуна)

$$\sigma_{ax} = \frac{\sigma_x - \sigma_p}{2} \quad (4,146)$$

$$\sigma_{ax} = \frac{35,0 - (-25,5)}{2} = 30,25 \text{ МПа}$$

В перпендикулярні площині

$$\sigma_{ay} = \frac{\sigma_y - \sigma_p}{2} \quad (4,147)$$

$$\sigma_{ay} = \frac{36,2 - (-25,5)}{2} = 30,85 \text{ МПа}$$

Запас пружності по напруженню:

в площині руху шатуна

$$n_x = \frac{\sigma_{-1P}}{\sigma_{ax} + \alpha_0 \sigma_{mx}} \quad (4,148)$$

де  $\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{-1P} - \sigma_{\alpha 0}}{\sigma_{\alpha 0}}$  - коефіцієнт, залежний від механічних характеристик

матеріалу;

$\sigma_{\alpha 0}$  – амплітуда циклу при розтягу;

$$\sigma_{\alpha 0} = \frac{\sigma_{\max P} - \sigma_{\min P}}{2}; \quad (4,149)$$

$$\sigma_{\min P} = \frac{P_{um}}{f_{cp}} \quad (4,150)$$

$$\sigma_{\min P} = -\frac{37500}{0,011} = -34,1 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 0} = \frac{25,5 - (-34,1)}{2} = 28,8 \text{ МПа}$$

$\sigma_{-1p}$  – границя витривалості при розтягу.

Для сталі 40  $\sigma_{-1p} = 34,0 \text{ МПа}$

$$\alpha_\sigma = \frac{34 - 28,8}{28,8} = 10,8$$

$$n_x = \frac{3400}{302,5 + 10,8 * 47,5} = 4,17$$

Сумарне напруження

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_3 + \sigma_p)^2 + 4\tau_{cp}^2} \quad (4,151)$$

$$\sigma = \sqrt{(46,9 + 1,05)^2 + 4 * 6,8^2} = 59,0 \text{ МПа}$$

Максимальне допустимий тиск на вкладиші пальця,

$$q = \frac{(P_u)_{\max}}{l_n d_n} \quad (4,152)$$

де  $(P_u)_{\max}$  - максимальне зусилля, яке передається шатуну

$$(P_u)_{\max} = 3750, \text{ Н}$$

$l_n = 0,07 \text{ м}$  – довжина вкладиша;

$d_n = 0,045 \text{ м}$  – діаметр пальця.

$$q = \frac{375}{0,07 * 0,045} = 11.9 \text{ МПа}$$

#### 4.3.4 Розрахунок нижньої головки шатуна

Максимальне зусилля, відриваючи шатун від вала,

$$P = P_{ш} + P_{шR} \quad (4,153)$$

де  $P_{ш} = 281 \text{ Н}$  – максимальне положення зусилля, діюче на шатун;

$P_{шR} = 81,4 \text{ Н}$  – сила інерції обертового рухомих мас шатуна, лежачих вище площини гнізда мотилевої головки.

Напруження згину в середнім перерізі кришки

$$\sigma_z = (P_{ш} + P_{шR}) \left[ \frac{0.023l}{W_k \left(1 + \frac{J_g}{J_k}\right)} + \frac{0.4}{F_k + F_g} \right] \quad (4,154)$$

де  $l$  – відстань між осями шатунних болтів;

$W_k$  – момент опору перерізу кришки відносно осі і ведучого через центр важкості перерізу паралельно осі вала;

$J_k$  і  $J_b$  – відповідно моменти інерції поперечного перерізу вкладиша відносно осі і ведучого через центр важкості перерізі паралельно осі вала;

$F_k$  і  $F_b$  – площі поперечних перерізів кришки і вкладишів відповідно;

$$l = 0,12 \text{ м}$$

$$J_b = 0,273 \text{ м}^4$$

$$W_k = 0,319 \text{ м}^3$$

$$F_k = 0,944 \text{ м}^2$$

$$J_k = 0,717 \text{ м}^4$$

$$F_b = 0,36 \text{ м}^2$$

$$\sigma_z = (28100 + 8140) \left[ \frac{0,023 * 0,12}{0,319 \left(1 + \frac{0,273}{0,717}\right)} + \frac{0,4}{0,944 + 0,36} \right] = 13,5 \text{ МПа}$$

#### 4.3.5 Розрахунок шатунних болтів (матеріал – сталь 12ХН3А)

Розрахункове зусилля [3,4].

$$P = (P_{ш+} + P_{ш}') \frac{1}{2} \quad (4,155)$$

де  $P_{ш+}=281$  Н – максимальне додатне зусилля, діюче на шатун;  
 $P_{ш}'=103$  Н – нагрузка розтягу від сил інерції поступальних і  
 обертових

рухаючих мас шатуна для кута повороту вала,  
 відповідного

максимальному положенню величини  $P_{ш}$ .

$$P = (28100 + 10300)0,5 = 19200 \text{ Н}$$

Зусилля попередньої затяжки

$$T = k(-x)P \quad (4,156)$$

де  $k=3$  – коефіцієнт затяжки;

$x$  – коефіцієнт зовнішньої нагрузки;

$$x = \frac{\sum_i^n \lambda_i}{\sum_0^n \lambda_i}, \quad (4,157)$$

$\sum_i^n \lambda_i$  - сума поступливості деталей «прокладки»;

$\sum_0^n \lambda_i$  - сума поступливості всі детальних з'єднань;

$\lambda = \frac{l}{EF}$  - коефіцієнт піддатливості;

$E_i$  – модуль пружності матеріалів болта і з'єднувальних частин  
 шатуна;

$l_i$  – довжина болта і з'єднувальних деталей;

$F$  – площа перерізу болта і з'єднувальних частин шатуна;

Піддатливість болта становить

$$\lambda_\sigma = \sum \frac{l_i}{EF_i} \quad (4,158)$$

$$\lambda_\sigma = \frac{1}{2 \cdot 10^6} \cdot \left( \frac{0,43}{0,254} + \frac{0,18}{0,314} + \frac{0,33}{0,254} \right) = 1,83 \cdot 10^{-6} \text{ м/Н}$$

Болт складається із трьох ділянок (рисунок 4.6)

$$l_1 = 0,43 \text{ м}; \quad l_2 = 0,18 \text{ м}; \quad l_3 = 0,33 \text{ м};$$

$$d_1=0,18\text{ м}; \quad d'_2=0,02 \text{ м}; \quad d'_3=0,18 \text{ м};$$

Піддатливість головки шатуна і нижньої кришки

$$\lambda_1 = \frac{5,2}{2 \cdot 10^6 \cdot 18,66} = 0,138 \cdot 10^{-6} \text{ м/Н}$$

$$\lambda_2 = \frac{4,2}{2 \cdot 10^6 \cdot 18,66} = 0,111 \cdot 10^{-6} \text{ м/Н}$$

де

$$F_1 = F_2 = b l_{2\text{ш}} \frac{\pi d_0^2}{4} \quad (4,159)$$

$$F_1 = F_2 = 0,042 \cdot 0,05 - \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} = 0,00001886 \text{ м}^2$$

Так як площа  $F_1 = F_2$  менша умовної площі, рахуємо по рівнянню, то в розрахунку вона враховується повністю

$$l_1 = 0,052 \text{ м} \quad b = 0,042 \text{ м}$$

$$l_2 = 0,042 \text{ м} \quad l = 0,05 \text{ м}$$

$$x = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_\sigma + \lambda_1 + \lambda_2} \quad (4,159)$$

$$x = \frac{0,138 \cdot 10^{-6} + 0,111 \cdot 10^{-6}}{1,83 \cdot 10^{-6} + 0,138 \cdot 10^{-6} + 0,111 \cdot 10^{-6}} = 0,12$$

$$T = 2,5(1 - 0,12) \cdot 1920 = 42200 \text{ Н}$$

Максимальна нагрузка на болт

$$P_{\text{max}} = T + xP \quad (4,160)$$

$$P_{\text{max}} = 42200 + 0,12 \cdot 1920 = 44500 \text{ Н}$$

Крутний момент, діючий на болт,

$$M_{\text{кр}} = \xi T d_0 \quad (4,161)$$

де  $d_0$  – зовнішній діаметр болта;

$\xi$  - коефіцієнт, залежний від тертя в різі, представлений

до  $d_0$ ;

$$d_0 = 0,02 \text{ м}$$

$$\xi = 0,08$$

$$M_{\text{кр}} = 0,08 \cdot 42200 \cdot 0,02 = 675 \text{ Нм}$$

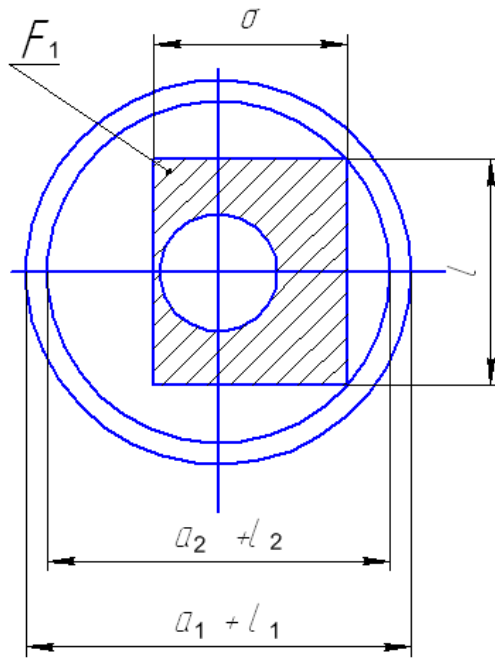


Рисунок 4.6 – Болт

## 5 Монтаж, експлуатація та обслуговування компресорної станції

Для компресорів не використовують фундамент, оскільки це є економічно не вигідно, тому його встановлюють на рамі [6,7,8,2].

Компресор повинен бути встановлений так, щоб був забезпечений достатньо вільний доступ для його обслуговування і огляду.

Компресор необхідно монтувати на установочній рамі, закріпленій на рамі агрегату.

Під опорні лапи компресора допускається приварювання на установочній рамі сталевих накладок товщиною 15-20 мм з подальшою їх механічною обробкою.

При установці компресора на раму необхідно:

1. Провести в рамі 4-ри отвори діаметром 15 мм для болтів кріплення опорних лап компресора;

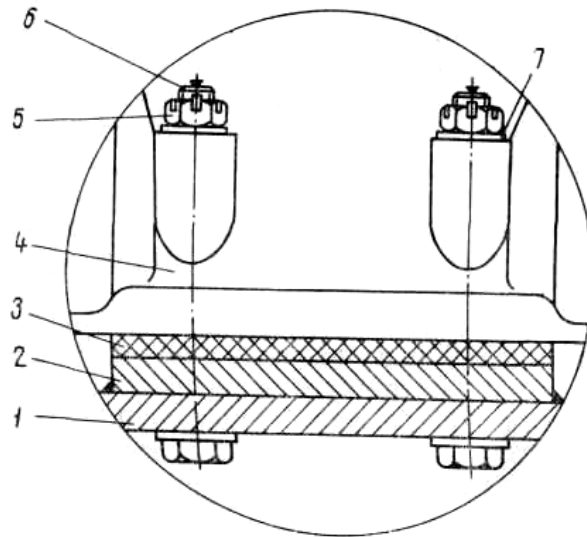
2. Виготовити із листової сталі товщиною 0,3-0,5 мм комплект регулювальних прокладок;

3. Виготовити із сталі 40 або 45 чотири болти діаметром 14 мм і чотири тризонних болти діаметром  $15,5^{+0,012}_{-0,006}$  мм з корончатими гайками;

4. Перевірити прилягання поверхонь опорних лап компресора до рами. В випадку необхідності слід підкласти під опору компресора прокладку відповідної товщини. Під кожну опору дозволяється ставити не більше 3-х прокладок;

5. Протерти опорні поверхні рами і зачистити окалини на накладках;

Встановити компресор на раму і закріпити чотирма болтами. Болти необхідно затягувати рівномірно в два прийоми навхрест.



1 – установча рама; 2 – стальна накладка; 3 – текстолітова прокладка;  
 4 – опорна лапа; 5 – гайка корончата; 6 – болт; 7 – шайба  
 Рисунок 5.1 – Кріплення компресора до установчої рами

### **5.1 Інструкція із зберігання, транспортування, монтажу, експлуатації, обслуговування, ремонту проектного устаткування**

Монтаж компресорних станцій. На бурових установках зазвичай вмонтовують дві компресорні станції. На установках з приводом від двигунів внутрішнього згорання вмонтовують одну станцію з приводом від одного з агрегатів приводу і другу з приводом від електродвигуна, а на установках з електричним приводом вмонтовують обидві станції з приводом від електродвигунів [6,7,8,2].

Монтаж компресорної станції з приводом від електродвигуна полягає в розташуванні місцеположенні станції, вивірянню її по рівню, кріпленні рами за допомогою болтів до підстави блоку і підведення електроенергії до двигуна.

При монтажі компресорної станції з приводом від агрегату приводу установки, окрім вивірянню її по рівню, вивіряють поєднання площин шківів клинопасової передачі.

Монтажні роботи по пневматичному управлінню слід доручати найбільш кваліфікованим слюсарям, що знають конструкцію і наладку пневматичних

апаратів бурової установки. Крани, вертлюжки, клапани-розрядники рекомендується розбирати тільки в умовах майстерні на спеціально відведеному для цього чистому верстаку, захищеному від попадання бруду, пилу, піску і так далі Персонал, ведучий розбирання і регулювання пневматичних апаратів, повинен мати чисті обтиральні матеріали, особливо чисте мастило і промивальні рідини [6,7,8,2].

При виконанні монтажних робіт необхідно керуватися монтажними кресленнями і виконувати приведені нижче вказівки.

1. При установці компресора стежити за правильним напрямом обертання колінчастого валу компресора - за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку контрприводу. Встановлювати компресор для роботи у зворотному напрямі неприпустимо.

2. Компресорні станції з контрприводом монтуються на фундаментних балках і кріпляться до них болтами. Компресорні станції з електроприводом монтуються на спеціальному фундаменті і кріпляться фундаментними болтами.

Компресор необхідно встановлювати по рівню. Відхилення від горизонтальної площини в подовжньому і поперечному напрямках не повинне перевищувати 1 мм на 1 м.

3. Канавки шківів контрприводу компресора і шківів на трансмісії силового агрегату повинні лежати в одній площині. Для цього осі трансмісійного валу силового агрегату і контрприводу компресора повинні бути паралельні. Відхилення допускаються не більше 1 мм на 1 м довжини.

4. Трубопровід від компресорів до повітряних резервуарів повинен мати найбільший нахил у бік резервуарів для стоку конденсату і масла. У цьому трубопроводі не можна допускати вставок з гумових шлангів, оскільки гаряче повітря, що виходить з компресора, швидко виводить їх з ладу.

5. Перед випробуванням компресора на ходу необхідно: провести пробні включення шинно-пневматичної муфти; перевірити контрпривід уручну і переконатися в тому, що немає заїдання або перевантаження підшипників; перевірити рівень масла в картері компресора; змочити маслом сітку фільтру

компресора; спустити через спусковий краник конденсат і масло з холодильника компресора.

6. При випробуванні компресора перші 10-15 хвилин необхідно працювати без навантаження і лише за відсутності перегріву, стукоту або шуму перекрити випускний вентиль на повітряних резервуарах, підняти тиск в системі і набудувати регулятор тиску.

Компресор зберігати під укриттям чи в приміщеннях, які відповідають умовам зберігання Х2 ГОСТ 15150-89. Категорія і умови зберігання – 5. Необроблені поверхні підлягають покриттю: внутрішні поверхні корпуса маслостійкому покриттю, зовнішні поверхні – антикорозійному. Всі відкриті оброблені поверхні підлягають консервації. Консервацію і розконсервацію устаткування проводити згідно вимог. Метод консервації – нанесення на незахищену поверхню консерваційного мастила ПВК. Допустимий термін зберігання обладнання без переконсервації не більше 3 років. Консервація і переконсервація комплектуючого обладнання повинна виконуватися згідно вимог, викладена в паспорті та інструкції по монтажу і експлуатації компресора.

Компресор транспортується залізничним або автомобільним транспортом. Група умов транспортування і зберігання – 5. Категорично забороняється транспортування обладнання волоком [6,7,8,2].

Монтаж компресорної станції повинен виконуватися у відповідності з вимогами «Правил безпеки в нафтогазовидобувній промисловості» і у відповідності з діючими відомчими інструкціями та настановами по монтажу.

Перед монтажем необхідно провести розконсервацію, зняти заглушки трубопроводів і пневмоапаратів.

Раму компресора встановити і закріпити болтами. При кріпленні рами встановити гумові амортизатори. При цьому деформація амортизаторів (зменшення по висоті) допускається не більше 30% їх початкової висоти.

Осі канавок контрпривода компресорної станції і ведучого шківів трансмісії повинні лежати в одній площині. Осі трансмісії і вала компресора

повинні бути паралельними. Допустимі відхилення не більше 1 мм на 1 м довжини.

Розводку труб по компресору провести на місці. Перед складанням труби простукати і продути стиснутим повітрям. Трубопровід від компресора до повітрозбірника повинен мати нахил 4...6 мм на 1 м довжини для стікання конденсату, вологи, мастила.

Щит управління встановити біля компресора на відстані 1,5...2 м. Розводку труб, кабелів і капілярів між щитом управління і компресором провести по місцю і прикріпити скобами.

Перед включенням компресора необхідно:

а) перевірити контрпривод вручну і переконатися в правильній установці і регулюванні підшипників;

б) провести пробне включення шино-пневматичної муфти;

в) перевірити наявність мастила в підшипниках контрпривода.

При випробуванні компресора, перші 10...15 хвилин, необхідна експлуатація без протитиску, при ручному управлінні. Необхідно переконатися у відсутності ненормального нагріву, стукоту, вібрації, шуму і т.д. Тільки після цього перекрити випускний вентиль на повітрозбірнику, перейти на автоматичний режим, підняти тиск в системі і провести перевірку налаштування реле тиску на щиті приладів.

В процесі експлуатації необхідно забезпечити постійний контроль за компресором і контрприводом. У випадку появи будь-якого шуму чи стукоту чи сильного місцевого нагрівання необхідно негайно зупинити компресор. Виявити і ліквідувати причину ненормальної роботи компресора.

Використовувати компресор дозволяється тільки за прямим призначенням для постачання стиснутим повітрям системи пневмоуправління бурової установки.

При експлуатації необхідно слідкувати за чистотою компресорної станції.

Часті включення і зупинки компресора вручну відображаються на його механізмі, знижують термін експлуатації клинопасової передачі, підшипників та інших деталей.

Довговічність і роботоздатність компресорної станції залежить від своєчасного змащування. Змащування підшипників контрпривода проводити мастилом Літол 24. Поповнювати мастило ручним насосом через пружинну мастильницю один раз в тиждень. Змащування компресора в період низьких температур навколишнього середовища повинна проводитися мастилом МС-8 ТУ38.101.678-77, МС-6 чи іншими мастилами з температурою загущення не вище мінус 50°C.

Ненормальне підвищення тиску в якій-небудь ступені викликається несправністю клапанів на наступній ступені. Несправний клапан легко знайти по індикаторній діаграмі і замінити його.

Ненормальне підвищення температури може бути наслідком неправильного розподілу тиску по ступенях чи несправністю системи охолодження

Різкий стукіт у циліндрі компресора може бути наслідком ряду неполадок: вилучення уламка клапана між поршнем і кришкою; безпосередніх ударів поршня об кришку; ослаблення з'єднання поршня зі штоком; ослаблення поршневих кілець у канавках поршня.

Зниження подачі компресора є наслідком негерметичності клапанів, зносу поршневих кілець чи циліндрів.

Щоб збільшити термін служби, забезпечити тривалу і безперебійну роботу, а також не допустити передчасний знос деталей, необхідно робити планово-попереджувальні ремонти [6,7,8,2].

Рекомендуються наступні терміни проведення планово-попереджувальних ремонтів:

- технічний огляд — через 250—350 год роботи;
- ревізія — через 1500—2000 год роботи;
- поточний дрібний ремонт — після 4000 год роботи;
- поточний ремонт — після 8000 год роботи;
- капітальний ремонт — після 30—40 тис. год роботи.

## 5.2 Пуск і випробування компресора К5-М після монтажу

Після монтажу пневматичної системи управління виконуються наступні роботи [6,7,8].

1. Опресовують пневматичну систему (повітрозбірник, повітропроводи, крани) повітрям на тиск, рівний 1,25 робочого, але не менше чим на 0,3МПа вище за робочий тиск.

Під тиском опресовування система повинна знаходитися на протязі 5 хв, після чого тиск знижується до робочого, при якому оглядається система і перевіряється герметичність з'єднань трубопроводів обмилюванням.

2. Перевіряють правильність підключення окремих агрегатів пневматичної системи почерговим включенням всіх механізмів, при цьому звертають увагу на дію всіх кранів в кожному положенні. Необхідно також контролювати справність і нормальну дію запобіжних клапанів, регулятора тиску, вентилів і інших вузлів.

Така перевірка проводиться обов'язково до випробування бурової установки на ходу.

3. Перед пуском компресора в роботу виконують наступні роботи:

а) перевіряють центрування з'єднання компресора з електродвигуном або клиноременною передачею контрприводу;

б) контролюють рівень масла в картері компресора;

в) повертають компресор вручну, щоб переконатися в тому, що привід і компресор обертаються вільно, без заїдань;

г) змочують маслом сітку фільтру компресора;

д) спускають через спусковий кран вологу з холодильника компресора.

В процесі експлуатації бурової установки щодня здійснюється догляд за агрегатами пневматичної систем.

## 5.3 Технічне обслуговування устаткування

При щоденному догляді за компресором виконують наступні роботи: [6,7,8].

- а) перевіряють стан компресора зовнішнім оглядом з метою виявлення і усунення таких несправностей як пропуски повітря в місцях з'єднань, підтікання масла, порушення кріплення і т. д.;
- б) слідкувати за поляганням і рівнем масла в картері компресора останній повинен знаходитися між рисками на стержні щупа
- в) не рідше за один раз в зміну, а при інтенсивній роботі компресора і вологій погоді частіше зливають відстій (вологу, масло) з холодильника компресора через краник;
- г) під час роботи компресора перевіряють, чи немає ненормальних шумів і вібрацій, поява яких свідчить про несправність компресора, вимагає зупинки і усунення дефектів;
- д) очищають компресор від бруду і масла;
- е) періодично, залежно від забруднення, очищаються повітряні фільтри і холодильники (радіатори) компресора.

Повітряні фільтри промиваються в бензині або дизельному паливі, просушуються і злегка змащуються маслом. Холодильники промиваються в гарячому 10% -ном розчині каустичної соди.

В процесі експлуатації компресора стежать за величиною зазорів між рухомими деталями, що сполучаються, оскільки при збільшенні зазорів починається прискорене зношення деталей. Збільшення зазорів супроводжується появою стуку, зниженням тиску масла в компресорі, а також зменшенням його продуктивності.

Мастило в картері після пуску в роботу нового компресора замінюється через 150—200 годин роботи, а надалі через 750— 800 годин. Для мащення компресора застосовується компресорне масло марки «19Т» .

Щодня стежать за станом електропневматичного вентиля і регулятора тиску. Шарнірні з'єднання регулятора повинні рухатися легко і плавно.

Шарніри періодично змащують тонким шаром густого консистентного мастила [6,7,8,].

Систематично двічі в місяць слід оглядати контакти регулятора і при необхідності зачищати їх.

При поточному ремонті:

- часткове розбирання компресора;
- перевірка стану, чищення, ремонт або заміна повітряних фільтрів;
- перевірка шатунно-поршневої групи, регулювання корінних підшипників, підтягування шатунних болтів і болтів кріплення торцевих кришок картера;
- заміна пружинних пластин, кришок сідел всмоктуючих і нагнітаючих клапанів, клапанів коробки при наявності зношування, ум'ятин, тріщин і т. д.;
- заміна запобіжних клапанів 1-ї ступені і нагнітаючої лінії при наявності зношення, тріщин і т. д.;
- заміна або ремонт зворотного клапану нагнітаючої лінії при наявності зношення, тріщин і т. д.;
- перевірка стану, заміна зношених деталей пружної муфти;
- перевірка стану, заміна або ремонт кріплення маховика і огороження маховика при наявності зношення, тріщин, відколів;
- перевірка, регулювання, заміна несправних КВП;
- перевірка стану, регулювання натягу, заміна зношених приводних ременів і ременів вентилятора;
- перевірка стану, заміна масляного насосу (для компресора КТ-6) при наявності зношення, тріщин, відколів і т. д.;
- заміна або ремонт кріпильних і стопорних деталей при наявності відколів, прогнутостей, зношування і т. д.;
- заміна мастила, заправка мастилом строго в відповідності з картою змащування;
- перевірка вала контр-приводу або електродвигуну з валом компресора;
- заміна зношених прокладок, ущільнювачів;
- збирання, регулювання і обкатування компресора.

## **Висновок**

На основі проведених розрахунків та аналізу умов експлуатації обладнання системи пневмокерування вибрано обладнання, що комплектує бурову установку п'ятого класу. На основі проведеного аналізу конструкцій поршневих компресорів в якості прототипу вибрано компресор К-5М. Приведений опис конструкції, будови, принципу дії та комплектності поршневого двохступеневого компресора системи пневмокерування бурової установки. Проведено розрахунок деталей компресора.

Розглянуте питання монтажу, експлуатації обслуговування, ремонту, компресорної установки.

## Перелік посилань на джерела

1. Концур І.Ф., Лівак І.Д. Гідромашини і компресори: конспект лекцій - Івано-Франківськ, Факел : 2004 – 133 с.
2. Лівак І.Д., Концур І.Ф., Шостаківський І.І. Основи нафтогазової справи: навч. посібник: Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – 431 с.
3. Міронов Ю.В., Романишин Т.Л., Практикум з курсу “Машини і обладнання для буріння нафтових і газових свердловин” для студентів спеціальності “Обладнання нафтових і газових промислів”. - Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2002. – 160 с.
4. Ильский А.Л., Миронов Ю.В., Чернобыльский А.Г. Расчет и конструирование бурового оборудования. Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1985, - 452с.
5. Копей Б.В. Розрахунок монтаж бурового і експлуатація бурового обладнання: підручник: Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2001, 46 с.
6. Копей Б.В., Лях М.М. Розрахунок конструювання, монтаж та експлуатація машин а обладнання для спорудження свердловин: підручник: Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. 621 с.
7. Лях М,М. Монтаж бурового нафтогазового обладнання: конспект лекцій: ІФНТУНГ, 2008,126 с.
8. Тимошенко В.М., Лях М.М., Савик В.М. Бурові споруди їх монтаж та експлуатація: підручник: Полтава, 2008. 105 с.
9. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання [Чинний з 2017-07-01]. – Київ, 2016. – 26 с.