

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра галузевого машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»
ПРОЕКТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МОДЕЛІ
ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ КОМПРЕСОРА

спеціальність 133 Галузеве машинобудування

освітня програма Галузеве машинобудування

Виконав: здобувач вищої освіти
групи М-41
Кузьмич Владислав Леонідович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Селезньов Дмитро Едуардович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Пуць Віталій Степанович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра галузевого машинобудування
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма: «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Пуць Віталій Степанович

« ___ » _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Кузьмич Владислав Леонідович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Проектування удосконаленої моделі поршневої групи компресора*

Керівник роботи: Селезньов Д.Е.

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» березня 2025 р. № 163/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «14» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи базові креслення устаткування, технічна характеристика, технічні умови.

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

Анотація Зміст Вступ. 1 Оглядова частина. 2 Проектна частина

3 Рекомендації з експлуатації обладнання. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Холодильна машина МКВ4-1-2 Вид загальний – 1 л. ф. А1;

2. Класифікація поршневих компресорів по розташуванню циліндрів – 1 л. ф. А1;

3. Компресори компресорних установок – 1 л. ф. А1;

4. Компресор Складальний кресленик – 2 л. ф. А1;

5. Схема розбирання компресора – 1 л. ф. А1;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Селезньов Д.Е., доцент		
Розділ 2	Селезньов Д.Е., доцент		
Розділ 3	Селезньов Д.Е., доцент		

7. Дата видачі завдання «19» березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми. Вступ.</i>	<i>29.03.2025 р.</i>	
2.	<i>1 Оглядова частина</i>	<i>15.04.2025 р.</i>	
3.	<i>2 Проектна частина</i>	<i>10.05.2025 р.</i>	
4.	<i>3 Рекомендації з експлуатації обладнання</i>	<i>24.05.2025 р.</i>	
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	<i>28.05.2025 р.</i>	
6.	<i>Формування додатків</i>	<i>01.06.2025 р.</i>	
7.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічної частини</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
8.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
10.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>14.06.2025 р.</i>	

Здобувач вищої освіти

_____ (_____)
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (_____)
(підпис) (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кузьмич В.Л. Проектування удосконаленої моделі поршневої групи компресора. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Галузеве машинобудування» спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, оглядової частини, проектної частини, розділу рекомендацій з експлуатації обладнання, висновків, списку використаних джерел, додатків.

В роботі було проведено аналіз принципів роботи холодильних машин, огляд холодильних компресорів, розглянуто принцип роботи холодильної машини що модернізується, проведено опис конструкції компресора що підлягає вдосконаленню, приведено опис модернізації компресійних кілець з використанням сучасних матеріалів, а також поданий прокет модернізації шатунних вкладишів. В частині експлуатації обладнання для забезпечення безпечних умов праці проведено розрахунок загальної вентиляційної системи для ділянки виробництва шатунних вкладишів компресора.

Ключові слова: ХОЛОДИЛЬНА МАШИНА, КОМПРЕСОР, КОМПРЕСІЙНІ КІЛЬЦЯ, ШАТУННІ ВКЛАДИШІ, ЦИЛІНДР.

					<i>КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Кузьмич В.Л.</i>			<i>Проектування удосконаленої моделі поршневої групи компресора</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Селезньов Д.Е</i>					3	58
<i>Н. Контр.</i>		<i>Мартинюк В.Л</i>				<i>ЛНТУ, ФТМІ</i>		
<i>Затвердив</i>		<i>Піць В.С.</i>				<i>каф. ГМ, гр. ГМ-41</i>		

ANNOTATION

Kuzmich V.L. Design of an improved model of the piston group of the compressor. Manuscript.

Bachelor's qualification work of OP "Industrial Mechanical Engineering" specialty 133 Industrial Mechanical Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, an overview part, a project part, a section of equipment operation recommendations, conclusions, a list of used sources, and appendices.

The work analyzed the principles of operation of refrigeration machines, reviewed refrigeration compressors, considered the principle of operation of the refrigeration machine being modernized, described the design of the compressor to be improved, described the modernization of compression rings using modern materials, and also presented a project for the modernization of connecting rod liners. In terms of equipment operation to ensure safe working conditions, a calculation of the general ventilation system for the compressor connecting rod liner production area was performed.

Key words: REFRIGERATOR, COMPRESSOR, COMPRESSION RINGS, CONNECTING ROD LINERS, CYLINDER.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	3
ЗМІСТ	5
ВСТУП	6
1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА	8
1.1 Принципи роботи холодильних машин.....	8
1.2 Огляд холодильних компресорів.....	9
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	17
2.1 Принцип роботи холодильної машини.....	17
2.2 Опис конструкції компресора.....	20
2.3 Модернізація компресійних кілець.....	22
2.4 Модернізація шатунних вкладишів.....	34
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ	52
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
ДОДАТКИ	

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зараз для охолодження продуктів широко використовуються різні холодильні установки, зокрема компресорні. Існує два основні принципи стиснення повітря (або газу): пряме витіснення та динамічне стиснення. До компресорів прямого витіснення належать, наприклад, поршневі та різні ротаційні компресори, які є найпоширенішими у світі. У поршневих компресорах повітря спочатку засмоктується в закриту камеру стиснення. Потім об'єм камери зменшується, стискаючи повітря. Коли тиск досягає рівня випускного колектора, відкривається клапан, і повітря випускається при сталому тиску, тоді як об'єм камери нагнітання зменшується. При динамічному стисненні повітря потрапляє у швидкообертове робоче колесо компресора, де прискорюється до високої швидкості. Потім воно проходить через дифузор, де його кінетична енергія перетворюється на статичний тиск. Існують динамічні компресори з осьовим та радіальним потоком, які відзначаються надзвичайно високою продуктивністю.

Проте, поршневі компресори мають певні недоліки: вони є великогабаритними, мають малий термін служби вкладишів, їхній поршень має складний переріз, а клапани дуже чутливі до забрудненого робочого середовища. Суттєвим недоліком також є високий знос пари тертя "циліндр - поршневе кільце". Тому виникає завдання зменшити цей знос, що дозволить значно збільшити термін служби поршневого компресора та підвищити його продуктивність.

Зниження температури продуктів до значень не нижче криоскопічної точки, зазвичай у межах від 0,0 до +4,0 °С, називають охолодженням.

Існує кілька дієвих способів попереднього охолодження, таких як повітряне охолодження, снігування, вакуумне охолодження (із застосуванням спеціальних пристроїв) та рідинне охолодження, відоме як гідроохолодження (через зрошення або повне занурення в крижану воду). Серед цих методів повітряне охолодження набуло найбільшого поширення і застосовується в різних варіантах.

Повітряне охолодження використовується:

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- у холодильних камерах, призначених для стандартного зберігання продуктів, де швидкість повітря сягає приблизно 1,0–1,50 м/с, а повітря оновлюється 3–4 рази на годину;
- у тунельних камерах або подібних камерах для попереднього охолодження, де швидкість повітря може досягати 3,0–4,0 м/с;
- у спеціалізованих установках для інтенсивного охолодження, де швидкість повітря доходить до 5,0 м/с, а циркуляція може бути до 150,0 об'ємів/год. Важливо пам'ятати, що харчові продукти, як правило, мають низьку здатність проводити тепло, тому процес їх охолодження може тривати доволі довго — від кількох годин до цілої доби.

Необхідно враховувати, що після забою тваринного м'яса воно проходить етап дозрівання під впливом ферментів. М'ясо, що дозріло, є ніжним, має приємний смак і аромат, а бульйон з нього виходить прозорим. На противагу цьому, недозріле м'ясо характеризується жорсткістю, неприємним присмаком та запахом, а бульйон з нього виходить мутним. Після дозрівання м'ясо обов'язково слід охолодити, щоб уникнути його мікробіологічного псування. Процес охолодження завершується, коли внутрішня температура продукту досягає рівня, оптимального для подальшого зберігання. Під час охолодження продукти можуть втрачати вологу, а на м'ясних продуктах часто виникає суха скоринка. Висихання таких продуктів, як яйця, риба, масло, фрукти та овочі, призводить до зменшення їх ваги і може погіршити якість.

										Арк.
										7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ					

1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1 Принципи роботи холодильних машин

В основі роботи холодильних систем лежить принцип поглинання тепла киплячою рідиною. Хоча слово "кипляча" зазвичай асоціюється з високими температурами, це не завжди так. По-перше, температура кипіння рідини залежить від навколишнього тиску: чим вищий тиск, тим вища температура кипіння, і навпаки. Наприклад, вода закипає при $+100^{\circ}\text{C}$ за звичайного атмосферного тиску (760,0 мм рт. ст.), але в горах на висоті 7 000–8 000 м, де тиск значно нижчий, вона кипітиме вже при $+40,0\text{--}60,0^{\circ}\text{C}$. По-друге, різні рідини мають різні температури кипіння за однакових умов. Наприклад, фреон R-22, який широко використовується в холодильній техніці, за нормального атмосферного тиску кипить уже при $-48,0^{\circ}\text{C}$.

Якщо рідкий фреон знаходиться у відкритій ємності при атмосферному тиску та температурі навколишнього середовища, він миттєво почне кипіти, активно вбираючи тепло з довкілля або будь-якого матеріалу, з яким він контактує. У холодильній системі фреон кипить не у відкритій ємності, а у спеціальному теплообміннику – випарнику. Саме тут фреон, випаровуючись у трубках випарника, інтенсивно поглинає тепло з повітряного потоку, що проходить зовнішньою, зазвичай ребристою поверхнею цих трубок.

Розглянемо процес конденсації парів рідини на прикладі фреону R-22. Температура конденсації, подібно до температури кипіння, залежить від тиску. Чим вищий тиск, тим вища температура конденсації. Наприклад, конденсація парів фреону R-22 за тиску 23,0 атм починається при температурі $+55,0^{\circ}\text{C}$. Процес конденсації, як і для будь-якої іншої рідини, супроводжується виділенням значної кількості тепла в навколишнє середовище або, у випадку холодильника, передачею цього тепла потоку повітря чи рідини у спеціальному теплообміннику – конденсаторі.

Для безперебійної роботи холодильної машини, що передбачає кипіння фреону у випарнику (для охолодження повітря) та конденсацію парів із

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відведенням тепла у конденсаторі, необхідно забезпечувати постійне надходження рідкого фреону у випарник та парів фреону у конденсатор. Цей безперервний процес (цикл) реалізується в холодильній машині. Найпоширеніші холодильні машини функціонують на основі компресійного холодильного циклу. Його ключові компоненти – це компресор, випарник, конденсатор та регулятор витрати (капілярна трубка). Вони з'єднані трубопроводами в замкнуту систему, по якій холодоагент (фреон) циркулює завдяки компресору. Крім забезпечення циркуляції, компресор підтримує високий тиск (близько 20,0–23,0 атм) у конденсаторі (на лінії нагнітання).

1.2 Огляд холодильних компресорів

Дивіться класифікацію компресорних холодильних установок на рисунку 1.1.

Пристрої, що слугують для переміщення та стиснення газів, називають компресорними машинами або просто компресорами. Зростання тиску газу в компресорах відбувається за рахунок збільшення його енергії шляхом підведення механічної енергії [3].

За принципом своєї дії компресорні машини поділяються на пристрої об'ємного та динамічного стиснення. А за конструкцією механізму стиснення їх можна розділити на:

- механічні (які є найбільш поширеними);
- термічні;
- електричні (використовуються для спеціальних цілей).

У об'ємних компресорах газ, який всмоктується, стискається всередині циліндра за допомогою поршня, а потім, досягнувши потрібного тиску, виштовхується назовні. Об'ємні компресори бувають поршневими, де поршень рухається зворотно-поступально, та роторними, де поршень-витіснювач обертається. До поршневих компресорів також належать діафрагмові компресори, у яких функцію поршня виконує діафрагма.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

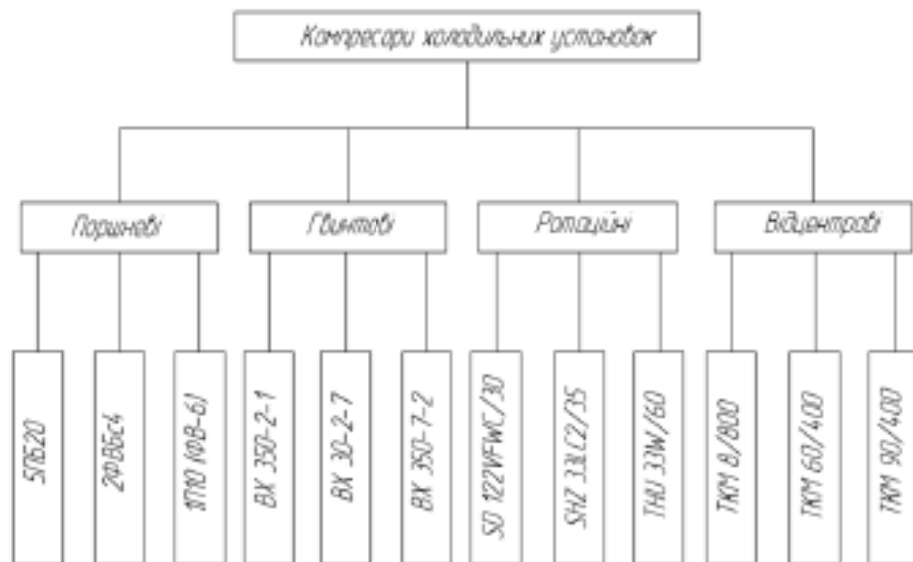


Рисунок 1.1 - Типи холодильних компресорів

У динамічних компресорах, або турбокомпресорах, механічна енергія, що підводиться, передає газу певну кінетичну енергію, яка згодом частково перетворюється на енергію тиску.

Для різних умов експлуатації використовують компресори, що відрізняються як тиском нагнітання, так і продуктивністю. Найчастіше застосовуються багатоступінчасті компресори, які складаються з конструктивно подібних або однакових окремих ступенів стиснення. Тиск у кожному окремому ступені визначається залежно від необхідного початкового та кінцевого тиску, системи охолодження та допустимого рівня підвищення тиску.

Обраний тиск впливає на такі параметри, як міцність конструктивних елементів, ступінь стиснення, конструкцію клапанів, а також матеріали, що застосовуються, тощо. Продуктивність же визначається стандартними рядами або конкретними умовами.

Вибрана продуктивність впливає на розміри ступеня: наприклад, діаметр циліндра та хід поршня у поршневого компресора, або діаметр колеса у турбокомпресора, тощо.

При визначенні характеристик окремого ступеня компресорів застосовують такі комплексні показники, як поршневе зусилля, рядна потужність (для

										Арк.
										10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ					

поршневих компресорів) та потужність усієї машини (для роторних і турбокомпресорів). З окремих ступенів формують агрегат, який безпосередньо або через передавальні пристрої з'єднують із приводом. До складу компресорного агрегату, крім самого компресора з приводом, також входять міжступенева та кінцева теплообмінна апаратура, вологомасловідділювач, трубопроводи, а також апаратура керування, захисту та автоматики.

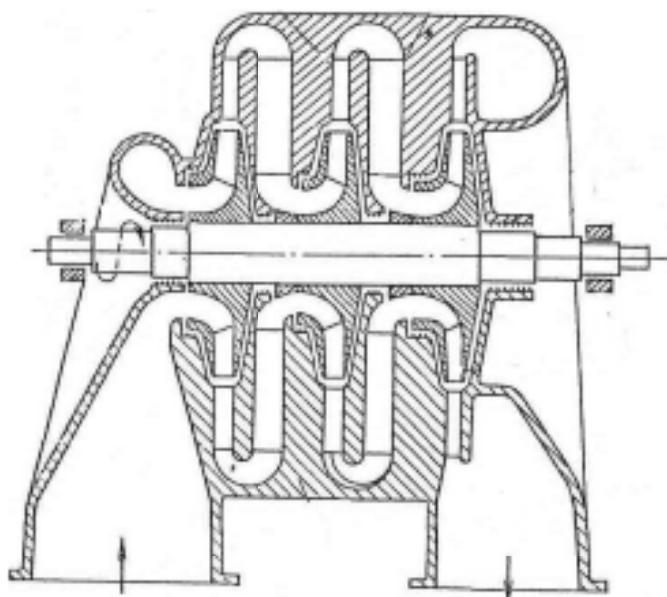


Рисунок 1.2 – Схема відцентрового компресора

Економічні обґрунтування мають бути ключовими при виборі оптимальних сфер використання різних видів компресорів. Проте наразі вони не можуть надати однозначного та достовірного розв'язання цієї задачі. Це пояснюється недосконалістю методів економічного аналізу, великою кількістю припущень у розрахунках, невизначеністю вихідних даних та ймовірнісним характером умов експлуатації.

Поршневі компресори займають значне місце у загальному обсязі виробництва компресорних машин завдяки своїм особливостям. До них належать здатність стискати газу до високих тисків, високий коефіцієнт корисної дії (ККД) навіть при невеликій продуктивності, а також простота конструкції та інші переваги [4].

						КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			11

Застосування у відцентрових компресорах (рис. 1.3) забезпечує їхню високу продуктивність, хоча і при відносно низькому (порівняно з поршневими компресорами) тиску нагнітання.

Порівняння техніко-економічних показників повітряних компресорів низького тиску різних типів з приблизно однаковою продуктивністю показує, що питома витрата енергії у поршневих компресорів значно менша, ніж у машин інших типів. Однак вони є більш металоємними, громіздкими та менш надійними в експлуатації. Два основні типи компресорів — поршневі та відцентрові — не конкурують між собою, а, скоріше, доповнюють один одного: для кожної конкретної ситуації найбільш доцільним буде використання одного з цих типів.

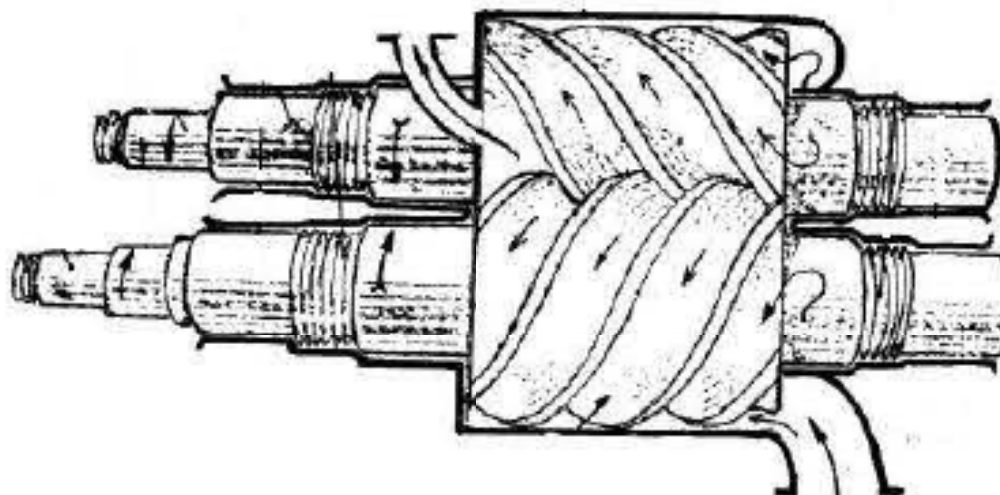


Рисунок 1.3 – Схема гвинтового компресора

Різноманітні комбінації конкретних умов, такі як молекулярна маса стиснутого газу, показник адиабати, його агресивність, вологість, рівень забруднення, а також бажаний ступінь регулювання продуктивності та інші аспекти, можуть у кожному окремому випадку схилити вибір на користь одного з цих двох типів машин. Проте, якщо потрібна продуктивність дорівнює $15,0 \text{ м}^3/\text{с}$ або перевищує це значення, перевага надається відцентровим компресорам.

Сфери раціонального застосування ротаційних компресорів (рис. 1.4) ще не повністю досліджені. Припускають, що вони посідають проміжне місце між поршневими та відцентровими компресорами. У більшості випадків ротаційні,

										Арк.
										12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

зокрема гвинтові, компресори з продуктивністю менше $1.50 \text{ м}^3/\text{с}$ використовуються тоді, коли необхідне стиснене повітря без домішок мастила. Питома потужність сучасних маслonaповнених гвинтових компресорів високої продуктивності (до $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$) становить $200,0 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{с})$ при тиску нагнітання 0.9 МПа ($9,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$). При продуктивності від 0.20 до $1.00 \text{ м}^3/\text{с}$ гвинтові компресори сухого стиснення, так само як і маслonaповнені, значно поступаються поршневим за питомою витратою електроенергії.

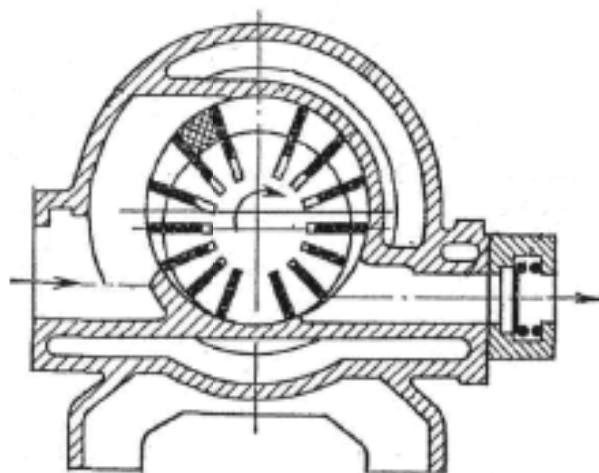


Рисунок 1.4 – Схема роторного компресора

Тому, як правило, поршневі компресори створюються для заздалегідь визначеної продуктивності.

Протягом останніх років були досягнуті значні успіхи в покращенні відцентрових компресорів, які в багатьох галузях поступово витісняють поршневі. Наприклад, на великих виробництвах, таких як виготовлення аміаку або сечовини, відцентрові компресори є економічнішими, ніж поршневі, при тисках нагнітання до $30,0-32,0 \text{ МПа}$. У деяких діапазонах продуктивності, при тиску нагнітання до $1.20-1.50 \text{ МПа}$, роторні компресори складають конкуренцію поршневим.

Варто зазначити, що на поточному етапі розвитку компресоробудування активно досліджуються економічно вигідні сфери застосування для різних типів компресорних машин.

										Арк.
										13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ					

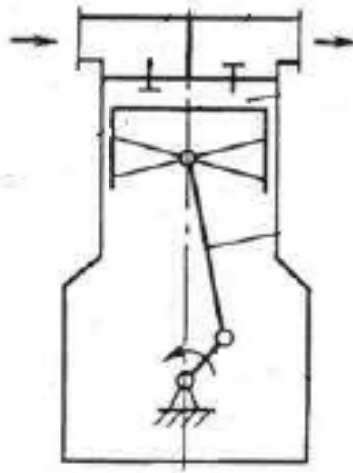


Рисунок 1.5 – Схема поршневого компресора

Існує компресор, що включає циліндр з трубопроводами для нагнітання та всмоктування, оснащеними відповідними клапанами, а також поршень, що рухається всередині циліндра, і привід у вигляді кривошипно-шатунного механізму з джерелом енергії; його особливість полягає в тому, що він додатково має диференціальний важіль з одним шатуном, з'єднаним з поршнем, причому центральна частина диференціального важеля з'єднана з кривошипно-шатунним механізмом приводу, а його інша частина сполучена із загальним штоком додатково встановленого гідродемпфера, що виконаний як перший і другий гідроциліндри, розташовані на одній осі, з підпружиненими першим і другим поршнями; порожнина, утворена циліндром і першим поршнем, та порожнина, сформована другим циліндром і другим поршнем, з'єднані між собою через додатково встановлену гідролінію з регульованим дроселем [5].

Запропонований компресор містить нерухомий циліндр 5 з поршнем 3, що всмоктує 7, впускний та напірний трубопроводи, а також нагнітальний клапан. Поршень 3 одним кінцем з'єднаний з додатково встановленим шатуном 2, другий кінець якого сполучений з одним (верхнім) плечем диференціального важеля 8, його протилежне друге (нижнє) плече шарнірно з'єднане зі штоком гідродемпфера, а середня точка — з валом 2 та шатуном 2.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

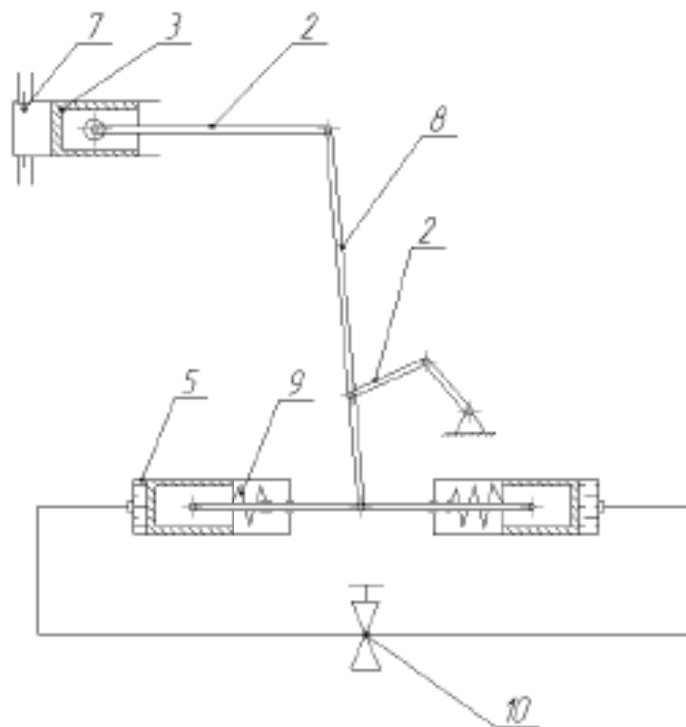


Рисунок 1.6 - Загальна принципова схема компресора

Гідравлічний демпфер складається з двох циліндрів, поршні яких взаємодіють з пружинами 9. Використання цього компресора, на відміну від існуючих моделей, дозволяє:

- Регулювати подачу стисненого повітря як у новому компресорі, так і в компресорі зі зношеними частинами циліндропоршневої групи, завдяки плавному та ступінчастому змінюванню ходу й швидкості руху поршня.
- Збільшити надійність і довговічність компресора, забезпечуючи стабільні показники стисненого повітря протягом тривалого часу завдяки можливості зміни ходу та швидкості поршня.
- Зменшити вимоги до точності виготовлення поверхонь тертя деталей циліндропоршневої групи.
- Знизити рівень шуму навколо компресора під час його роботи в режимах низької витрати.
- Автоматизувати процес управління роботою компресора.

До недоліків цього компресора належать його чутливість до забруднення робочого середовища, підвищений знос золотника при недостатній прохідній

						КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			15

площі, а також ускладнена робота конструкції на високих частотах обертання колінчастого валу.

Існує поршневий компресор, що включає корпус, шатун, поршень, колінчастий вал, циліндр з кришкою, клапан та механізм приводу клапанів, який відрізняється тим, що його циліндр оснащений одним суміщеним клапаном примусової дії, здатним виконувати функції як всмоктування, так і нагнітання. При цьому, коли поршень знаходиться в нижній точці циліндра, клапан виконує функцію всмоктування повітря або газу [6].

Поршневий компресор (рис. 1. 7) має відмінність у тому, що його клапан з примусовим приводом містить пластини з пазами, які можуть здійснювати лише обертальний рух, а корпус поршня виконаний гладким [7].

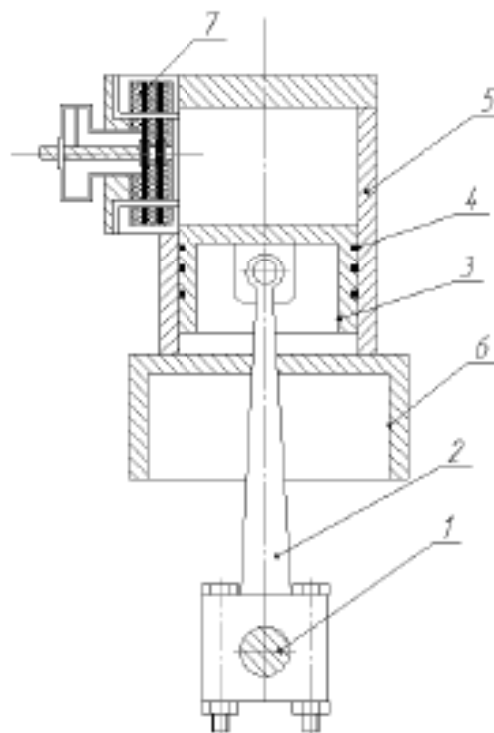


Рисунок 1.7 - Принципова схема компресора:

1 – колінчастий вал, 2 – шатун, 3 - поршень ; 4 – компресійні кільця;
5 – блок циліндрів, 6 – картер компресора; 7 – клапанний механізм

Недоліком компресора є необхідність окремого приводу клапанного механізму та узгодження його з рухом поршня.

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ				

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Принцип роботи холодильної машини

Холодильна машина МКВ 4-1-2 є повністю автоматизованою компресійною установкою, що працює в середньотемпературному одноступінчастому режимі, призначеною для охолодження повітря. Вона оснащена конденсатором з водяним охолодженням, системою автоматичного розморожування снігового покриву, настінними випарниками типу РСН18, мембранним клапаном, пультом управління, терморегулювальним вентилям, газовим фільтром, теплообмінником, а також необхідними трійниками та трубами.

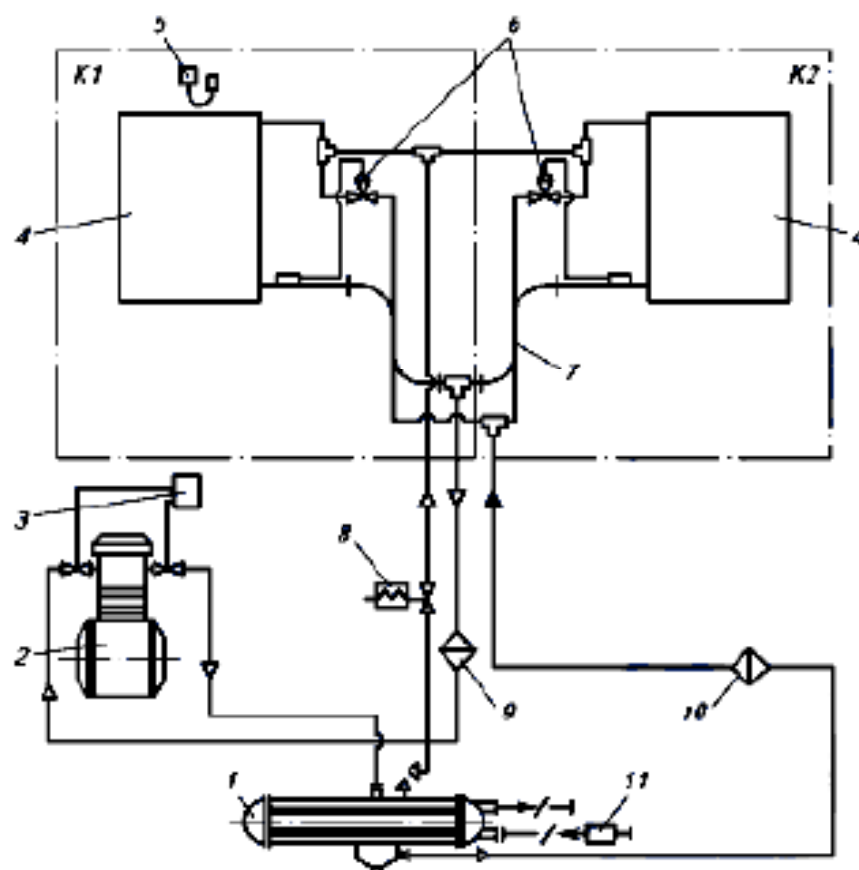


Рисунок 2.1 - Принципова схема холодильної машини МКВ 4-1-2 :
K1, K2 – камери; 1 – конденсатор; 2 – компресор Ф В 6; 3 – датчик-реле тиску;
4 – випарники; 5 – датчик-реле температури; 6 – терморегулюючі клапани;
7 – теплообмінник; 8 – мембранний клапан; 9 – газовий фільтр;
10 – фільтр; 11 – електромагнітний клапан

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ				

Компресор стискає пари холодоагенту до тиску конденсації, після чого подає їх у конденсатор, де відбувається їх охолодження та перетворення на рідину. З конденсатора рідкий холодоагент проходить через фільтр-осушувач, а потім надходить до теплообмінника, де він переохолоджується за рахунок теплообміну з парами холодоагенту, які компресор відкачує з випарників. У фільтрі-осушувачі холодоагент очищається від механічних домішок і з нього видаляється волога. З теплообмінника холодоагент по рідинній магістралі прямує до терморегулювальних вентилів холодильних камер. У цих вентилях холодоагент дроселюється, знижуючи тиск від рівня конденсації до тиску кипіння. Потрапивши у випарник, холодоагент починає кипіти, поглинаючи тепло з навколишнього середовища, тобто з повітря холодильної камери. Автоматичне відтавання випарників у камерах відбувається за допомогою гарячих парів холодоагенту, які подаються у випарники через електромагнітний клапан. Сигнал для відкриття клапана надходить від реле часу. У випарниках пара передає частину тепла через теплообмінну поверхню снігового покриву, що сприяє його таненню.

Охолоджені пари холодоагенту потім знову засмоктуються в компресор. Частота та тривалість циклів розморожування залежать від умов експлуатації. Тривалість розморожування можна налаштувати за допомогою реле часу. Випарник РСН-18 є теплообмінником, де холодоагент кипить, використовуючи тепло, отримане з навколишнього середовища [8]. Цей випарник є оребрено-трубчастим, сухим, настінним, з зовнішньою поверхнею теплообміну 18,0 м².

Умови експлуатації холодильної машини М К В 4-1-2 включають:

- Кліматичне виконання та категорії розміщення за діючим ГОСТ.
- Температура навколишнього повітря – від +5,0 до +40,0 °С.
- Відносна вологість повітря за нормальної температури 25,0 °С – не більше 98,0 %.

Технічні характеристики холодильної машини М К В 4 – 1 - 2:

- Потужність – 12. 50 кВт.
- Температура навколишнього повітря – від –5,0 до +45,0 °С.
- Холодоагент – R 22.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2.2 Опис конструкції компресора

Холодильний компресор (зображений на рис. 2.3) є ключовим компонентом холодильної системи, забезпечуючи безперервність циклу охолодження завдяки постійному відсмоктуванню парів холодоагенту з випарника та їх стисненню до тиску конденсації [9].

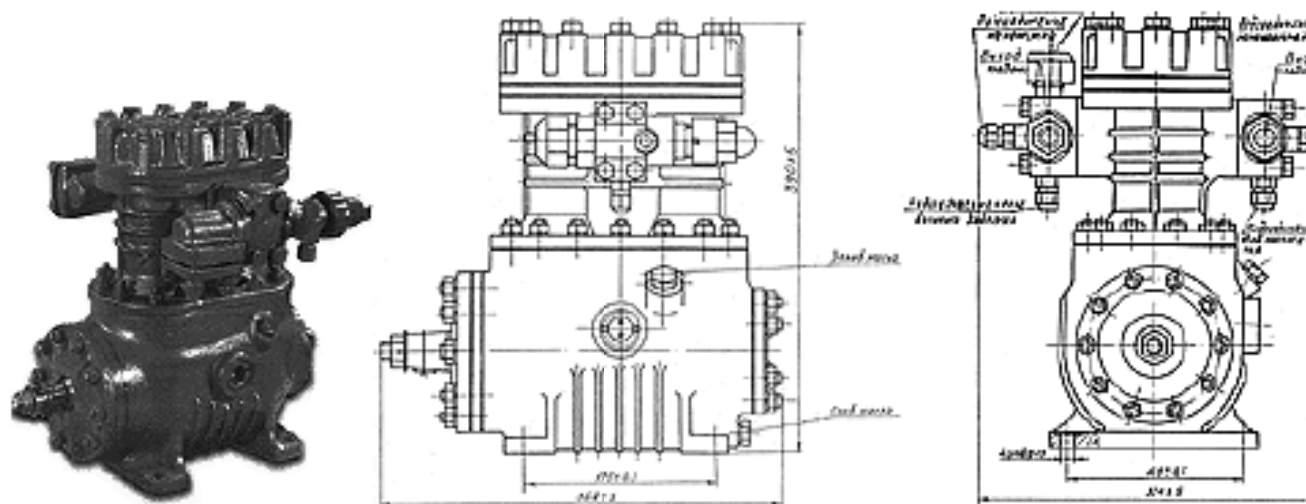


Рисунок 2.3 - Компресор Ф В 6 (1 П 1 0 – 2 – 0 2)

Ці компресори розроблені для використання у стаціонарних, транспортних та суднових холодильних установках. Вони здатні нормально функціонувати при температурі навколишнього повітря в діапазоні від 5 до 45°C.

Технічні характеристики:

Тип компресора: це вертикальний, одноступінчастий, сухопарний, непрямочинний поршневий холодильний компресор.

Умовне позначення холодильного компресора 1П10-2-02 розшифровується так:

- 1 – це модифікація компресора.
- P10 – вказує на сальник поршня та холодопродуктивність для холодоагенту R22 за таких умов: температура кипіння мінус 15,0°C, температура конденсації 30,0°C, температура всмоктування 20,0°C, а температура рідини перед дросельним пристроєм 30,0°C.
- 2 – позначає холодоагент R22.

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ

- 02 – означає, що компресор призначений для роботи в діапазоні високих та середніх температур без регулювання продуктивності.

Інші параметри:

- «Діаметр циліндра становить 67.50 мм.
- Хід поршня складає 50,0 мм.
- Кількість циліндрів – 2.
- Номінальна частота обертання валу – $24,0 \text{ c}^{-1}$ (що дорівнює 1440,0 об/хв).
- Компресору дозволено працювати при частоті обертання валу 27.50 c^{-1} (або 1640,0 об/хв).
- Об'єм, що описується поршнями, становить $32.8 \text{ м}^3/\text{год}$ (при $n=24,0 \text{ c}^{-1}$) та $37.50 \text{ м}^3/\text{год}$ (при $n=27.50 \text{ c}^{-1}$).
- Потужність продуктивності дорівнює 12.50 кВт.
- Тип приводу може бути через клинопасову передачу або зчеплення.
- Використовуваний холодоагент: R22 згідно з ГОСТ.
- Ефективна потужність складає 3.90 кВт.
- Різниця між тиском нагнітання та всмоктування не повинна перевищувати 1.70 МПа ($17,0 \text{ кгс/см}^2$), а відношення тиску нагнітання до тиску всмоктування не повинно бути більше $12,0^\circ\text{C}$.
- Розрахунковий тиск становить 1.80 МПа ($18,0 \text{ кгс/см}^2$).
- Компресори повинні зберігати герметичність при випробуванні надлишковим тиском 1.80 МПа ($18,0 \text{ кгс/см}^2$).» [3]

При роботі на R22 температура всмоктування повинна бути:

$$t_{\text{вс}} = t_0 + (15...20^\circ\text{C}) \text{ при } t_0 \geq 0^\circ\text{C}.$$

$$t_{\text{вс}} = 20^\circ\text{C} \text{ при } -20^\circ\text{C} < t_0 < 0^\circ\text{C}.$$

$$t_{\text{вс}} = t_0 + (35...40^\circ\text{C}) \text{ при } t_0 \leq -20^\circ\text{C}.$$

Компресори є виробами, які підлягають ремонту, і вимагають періодичного обслуговування згідно з регламентом:

- Технічне обслуговування проводиться через 500 мотогодин, а також через 2000,0 мотогодин із заміною масла та очищенням газового фільтра.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- Додаткове технічне обслуговування виконується через 3750,0 годин.
- Ще одне технічне обслуговування передбачено через 7500,0 годин.
- Середній ремонт здійснюється через 12500,0 годин.
- Капітальний ремонт виконується після 35000,0 годин експлуатації.

2.3 Модернізація компресійних кілець

Ефективна, тривала та економічна робота поршневих компресорів, подібно до автомобільних двигунів, залежить від експлуатаційних властивостей їхніх вузлів і деталей.

Найважливішим механізмом компресора є шатунно-поршнева група. До її складу входять: поршні, поршневі кільця, поршневі пальці та шатунні вкладиші. Поршневі кільця запобігають потраплянню стисненого газу в картер і відведенню мастила в компресійну порожнину компресора. Компресорні поршневі кільця повинні бути дуже зносостійкими і мати низький коефіцієнт тертя. При цьому вони мають швидко встановлюватися і запобігати інтенсивному зносу гільз циліндрів поршневого компресора.

У поршневих компресорах використовуються компресійні та маслознімні кільця, виготовлені з різних матеріалів.

Найбільш поширеними стали чавунні компресійні кільця. Завдяки достатній еластичності вони ефективно виконують свої функції на початковому етапі роботи компресора. Однак, при тривалій експлуатації відбувається зношування як робочих поверхонь поршневих кілець, так і гільз циліндрів. Термін служби кілець не перевищує 10 000 годин, тоді як гільза замінюється після 20 000–25 000 годин роботи поршневого компресора.

У компресорі ФВ-6 компресійні кільця виготовлені з перлітного чавуну марки 24-44.

Перлітний сірий чавун відзначається високою міцністю, помірною твердістю та добре піддається обробці різцем. Його висока міцність пояснюється наявністю у його структурі перліту та дрібних пластинок графіту. В'язкість і легкість обробки різанням досягаються завдяки тому, що цементит перебуває не у вільному стані, а

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в поєднанні з в'язким феритом, які є складовими перліту. Оскільки перлітний чавун є дорогим, його використовують лише для виготовлення відповідальних литих деталей машин та верстатів.

Класифікація чавунів за мікроструктурою та методи її визначення наведені у ГОСТ [10].

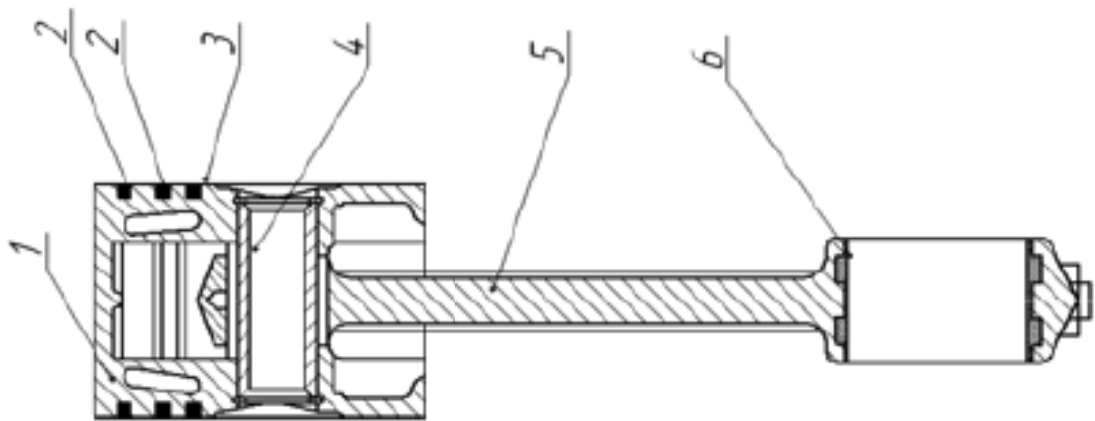


Рисунок 2.4 - Шатунно-поршнева група компресора FV6 :

- 1 – поршень; 2 – компресійні кільця; 3 – маслознімне кільце;
4 – поршневий палець; 5 – шатун; 6 – вкладка шатуна.

Таблиця 2.1 - Механічні властивості сірого чавуну

Марка чавуна	Границя міцності при розтязі, кгс/мм ²	Границя міцності при згині, кгс/мм ²	Твердість по Брінелю, НВ
СЧ 24-44	24	44	170-241

Такі кільця мають високу еластичність і щільно прилягають до дзеркала циліндра. Однак їхніми недоліками є високий коефіцієнт тертя, значна вартість перлітного чавуну, а також їхня крихкість, що ускладнює монтаж.

Сірий чавун маркується літерами "С" (сірий) і "Ч" (чавун); цифри після букв вказують на середнє значення тимчасового опору розриву (σ_{вх}).

Середньозернистий чавун, попри низький опір розтягуванню, має досить високий опір стиску. До хімічного складу сірого чавуну, окрім вуглецю (2.2–3.5%), входять кремній (1.9–2.5%), марганець (0.5–0.8%) та фосфор (0.1–0.35%).

Структура металевої основи сірих чавунів залежить від їхнього складу, а також від кількості вуглецю та кремнію. Зі збільшенням вмісту вуглецю та кремнію

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ				

зростає ступінь графітизації та схильність до формування феритної структури металевої основи.

Для покращення характеристик поршневого кільця ми пропонуємо замінити компресійні кільця з сірого чавуну на кільця з полімерного матеріалу на основі термостабілізованого «поліаміду Т Н К-2 Г 5» [3], а також на кільця з графелону-20 (на базі алифатичного поліаміду ϵ -капролактаму), обравши матеріал з найкращими властивостями.

1. Компресійні кільця з полімерного матеріалу на базі термостабілізованого «поліаміду Т Н К – 2 Г» [3] 5 мають нижчий коефіцієнт тертя, ніж кільця з сірого чавуну С Ч 24- 44. Проте їхнім недоліком є обмежений діапазон робочих температур (до $140,0^{\circ}\text{C}$). Наприклад, при підвищенні температури стиснення, що може статися через недостатню герметичність клапанів або пошкодження тарілки клапана компресора, кільця з термостабілізованого «поліаміду Т Н К – 2 Г 5» [3] плавляться, що призводить до передчасного виходу поршневого компресора з ладу [10]. Також їхнім недоліком є низький модуль пружності, що призводить до нещільного прилягання до стінки циліндра. Через це для створення необхідного тиску доводиться використовувати розширювач, що впливає на вартість кілець.

2. Компресійні кільця із матеріалу Графелон - 20



Рисунок 2.5 - Компресійні кільця з Графелону-20

Українською мовою назви поліамідів визначаються їхньою хімічною будовою. Для алифатичних поліамідів, що утворені з одного мономеру (амінокислоти або лактаму), назва складається зі слова "поліамід" та цифри, яка

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

вказує на кількість атомів вуглецю в мономері. Якщо ж поліамід отримано шляхом поліконденсації діаміну з дикарбоною кислотою, то в назві використовується дво- або тризначне число, де перша цифра до коми позначає кількість атомів вуглецю в діаміні, а цифра після коми – у дикарбоновій кислоті. Наприклад: поліамід-6 – це полікапроамід, а поліамід-6,8 – полігексаметиленсебацінамід.

В ароматичних поліамідах циклічний діамін або дикарбонова кислота позначається першою літерою їхньої назви. Так, поліамід, отриманий поліконденсацією гексаметилендіаміну та терефталевої кислоти, називається поліамідом 6,Т. Назви сополімерів поліаміду формуються з назв окремих полімерів із зазначенням відсоткового вмісту сомономеру в дужках.

Серед великої кількості поліамідів практичне значення мають такі:

1. полі-ε-капроамід – поліамід 6 (капрон, нейлон 6);
2. полігексаметиленадипамід – поліамід 6.6 (анід, нейлон 6.6);
3. полігексаметиленсебацінамід – поліамід 6,8;
4. полі-ω-ундеканамід – поліамід 11 (рілсан);
5. полі-ω-додеканамід – поліамід 12;
6. полі-м-феніленізофталамід (фенілон);
7. а також поліамідні кополімери.

Таблиця 2.2 - Фізико-механічні показники зразків матеріалу Графелону-20

Показники	Графелон-20
Температура крихкості, °С	- 80
Щільність, кг/м ³	1,32
Руйнуючі напруження, кгс/см ³	
при розтягу	1200 – 1400
при згині	2200 – 2400
при зрізі	1200
Границя текучості при стиску, кгс/см ²	2100 – 2300
Відносне видовження при розриві, %	6,6
Ударна в'язкість, кгс·см/см ²	40 – 50
Модуль пружності при стиску, кгс/см ²	40000 – 58000
Твердість, кгс/мм ²	29
Теплостійкість по Віка, °С	290

поршневі кільця підбираються таким чином, щоб після обкатки на холостому ходу, тобто після певного зносу кільця та поверхні циліндра, зазор у замку становив 0.0030 діаметра циліндра.

З цією метою кожна партія кілець підлягає контрольній обкатці для визначення зносу під час цього процесу.

Наприклад, якщо номінальний зазор у замку поршневого кільця компресора FV6 становить 0.250 мм, а контрольне зношування дорівнює 0.10 мм, то нове кільце необхідно встановлювати із зазором у замку 0.150 мм. Зазор у замку кільця визначається щупом після встановлення кільця в циліндр. Крім теплового зазору, слід перевірити щільність прилягання кільця до циліндра. Зазор між поверхнею циліндра та кільцем має бути помітним лише в одному або максимум у двох місцях, і його загальна довжина не повинна перевищувати однієї шостої від загальної довжини кільця. Кільце не можна підганяти до циліндра шляхом зменшення його довжини, тобто підпилювання в замку, оскільки це призведе до того, що кільце стане овальним і не буде відповідати поверхні циліндра.» [11]



Рисунок 2.6– Перевірка зазору поршневого кільця з канавкою поршня

«При індивідуальному ремонті поршневі кільця виготовляються точно за діаметром циліндра, тоді як у разі масового ремонту кожному ремонтному розміру

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

циліндра відповідає кілька розмірів поршневих кілець з відмінністю в діаметрі 0.10 мм. Поршневе кільце повинно бути заглиблене в канавку поршня на 0.50 мм, а торцевий зазор у канавці має бути не меншим за 0.050 мм і не більшим за 0.10 мм. Якщо торцевий зазор виявляється занадто малим, кільце зачищають на дошці з наждачним папером або полірують.

Для кожної партії поршневих кілець проводиться контрольне випробування на пружність. Пружність визначається силою, необхідною для стиснення кільця до номінального зазору. Пружність кілець повинна відповідати межах, встановленим технологією. Наприклад, пружність поршневого кільця компресора FV6 має бути в діапазоні від 1.50 до 2.30 кг» [11].

Щоб мінімізувати прорив газів через зазори в замках, кільця розміщують у канавках поршня таким чином, щоб їхні замки розташовувалися під певним кутом один до одного. На рис. 2.8 зображені форми замків компресійних та маслознімних кілець.

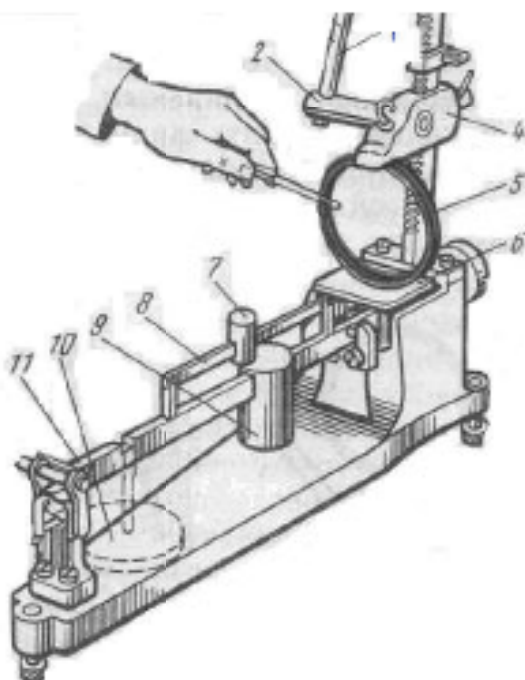


Рисунок 2.7 – Установки для тестування пружності поршневих кілець :
 1 – рукоятка; 2 – ролик із шестернею; 3 – зубчаста рейка; 4 – повзун; 5 – поршневе кільце; 6 – стіл механізму навантаження; 7,9 – рухомі вантажі; 8,11 – важелі; 10 – вантаж, що підвішується.

Шток поршня, який використовується в компресорі, безпосередньо з'єднаний із шатуном за допомогою поршневого пальця. Під час роботи компресора нормальна складова сили, що діє вздовж шатуна, притискає поршень до поверхні циліндра. Максимальне значення цієї нормальної складової N_{\max} спостерігається на початку впорскування, а при невеликих ступенях стиснення – у положенні, коли шатун перпендикулярний кривошипу.

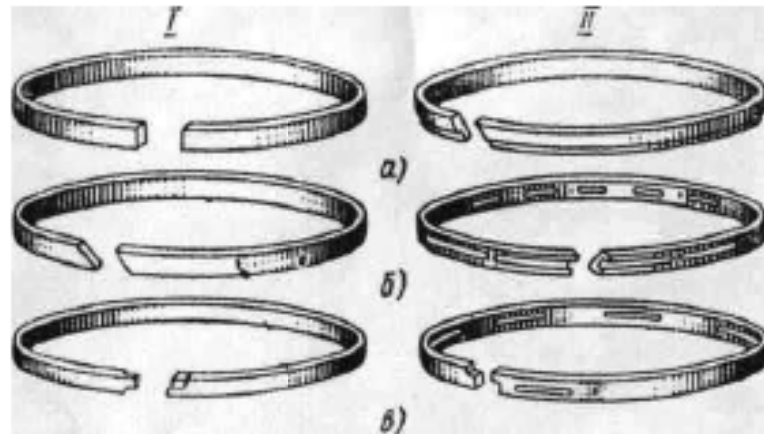


Рисунок 2.8 – Замки поршневих кілець
а - прямий, б - косий, в - ступінчастий. 1 - компресійні кілця;



Рисунок 2.9 – Цапфа поршня та компресійне кільце

Розрахунки компресійних кілець компресора з матеріалу ГР – 20.

Розрахуємо питомий тиск на бічну поверхню поршня:

$$\kappa_{\max} = \frac{N_{\max}}{DH} \quad (2.1)$$

Визначимо нормальну складову сили N_{\max} :

$$N_{\max} = \kappa_{\max} \cdot D \cdot H; \quad (2.2)$$

де D - Діаметр поршня;

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

H – висота поршня без урахування загальної висоти кілець.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$N_{\max} = 0,20 \cdot 0,0675 \cdot 0,10125 = 0,00137 \text{ МН/м}^2.$$

Можливо дозволити:

$$\kappa_{\max} \leq 0,15 \div 0,35 \text{ МН/м}^2,$$

приймаючи великі значення високошвидкісних компресорів. Загальна висота поршня H вибирається в межах:

$$H = (0,8 \div 1,5) \text{ Д};$$

$$H = 1,5 \cdot 67,5 = 101,25 \text{ мм},$$

Верхня частина відноситься до поршня ступеня.

Поршень, зображений на малюнку 3.6, підходить лише для першого та другого ступенів компресора. Щоб поршень зношувався рівномірно, вісь пальця має бути розташована таким чином, щоб її проекція проходила через центр тяжіння опорної поверхні. Положення центру ваги визначається без урахування поршневих кілець.

Під впливом сили, що діє на шатун, відбувається локальний вигин та розтріскування стінки поршня в районі бобишок під поршневий палець. Щоб уникнути можливих задирів на бічній поверхні поршня, бобишки виконані з ребрами жорсткості, а сама бічна поверхня поршня в зоні бобишок трохи занижена (рис. 3.6). Діаметральний зазор (y мм) між поршнем і циліндром у холодному стані можна приблизно прийняти:

$$\delta = (0,8 \div 1,2) \cdot \frac{D}{1000} \quad (2.4)$$

Підставляючи значення, отримуємо:

$$\delta = 1 \cdot \frac{67,5}{1000} = 0,0675 \text{ мм}; \quad (2.5)$$

де $\delta = 22,0 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт лінійного розширення для композитного матеріалу графелон, град⁻¹; Δt - Різниця температур поршня і циліндра, яку можна приблизно вважати рівною половині різниці температур газів, що нагнітаються,

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

град; D – діаметр циліндра, в мм; $\delta_0 = 0,05$ мм - зазор механізму за десятим квалітетом .

$$\delta = 22,0 \cdot 10^{-6} \cdot 25,0 \cdot 67,50 + 0,050 = 0,087130 .$$

Відповідно до теорії поршневих кілець, максимальний тиск кільця p_k (МН/м²) при стінка циліндра буде:

$$p_k = \frac{A \times E}{113 \times r_n} \times \left(\frac{s}{r_m} \right)^3 \quad (2.6)$$

де $A = (0,0040 - 0,0050) \cdot D$ π - розмір замку по середньому діаметру вільного кільця, м;

$$p_k = \frac{3,04 \times 10^{-4} \times 0,5 \times 10^6}{113 \times 0,03375} \times \left(\frac{0,0025}{0,0325} \right)^3 = 0,0204 \text{ МН/м}^2 .$$

$$A = 0,0045 \times 67,5 = 0,304 \text{ мм} . \quad (2.7)$$

$E = 0,400 \cdot 10^6 \div 0,50 \cdot 10^6$ – модуль пружності, МН/м².

Зовнішній радіус поршня:

$$r_n = \frac{D}{2}; \quad (2.8)$$

Підставляючи значення, отримуємо:

$$r_n = \frac{0,0675}{2} = 0,03375 \text{ м} .$$

Середній радіус кільця в циліндрі:

$$r_m = \frac{D - s}{2}; \quad (2.9)$$

$$r_m = \frac{0,0675 - 0,0025}{2} = 0,0325 \text{ м} .$$

Радіальна товщина кільця, м

$$s = \left(\frac{1}{27} \dots \frac{1}{37} \right) \cdot D; \quad (2.10)$$

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Підставляючи значення, отримуємо:

$$s = \frac{1}{27} \cdot 0,0675 = 0,0025 \text{ м.}$$

Згинальні напруги $\sigma'_{\text{зг}}$ (МН/м²), що виникають у внутрішніх шарах при роботі кільця:

$$\begin{aligned} \sigma'_{\text{зг}} &= 12 p_{\kappa} \left(\frac{r_m}{s} \right)^2 = 3 p_{\kappa} \left(\frac{D}{s} - 1 \right)^2 = \\ &= 3 \cdot 0,0204 \cdot \left(\frac{0,0675}{0,0025} - 1 \right)^2 = 41,4 \text{ МН/м}^2. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Згинальна напруга $\sigma''_{\text{зг}}$ (МН/м²), що виникає при встановленні кільця:

$$\sigma''_{\text{зг}} = \frac{0,625E}{\left(\frac{r_m}{s} \right)^2} \left(1 - \frac{A}{9,426s} \right); \quad (3.12)$$

Підставляючи значення, отримуємо:

$$\sigma''_{\text{зг}} = \frac{0,625 \cdot 0,5 \cdot 10^6}{\left(\frac{0,0325}{0,0025} \right)^2} \cdot \left(1 - \frac{3,04 \cdot 10^{-4}}{9,426 \cdot 0,0025} \right) = 182,5 \text{ МН/м}^2.$$

Робоча напруга збільшується зі збільшенням товщини радіального кільця s та розкриття замку A , які знаходяться в межах:

$$A = (3,7 \dots 5)s; \quad (2.13)$$

$$A = 4 \cdot 0,0025 = 0,010 \text{ м.}$$

Висота кільця не впливає на рівень напруги, проте тертя зростає зі збільшенням цієї висоти. Хоча ущільнювальні властивості кільця майже не залежать від їхньої висоти, зі збільшенням висоти зростає сила пружності кільця, і легше долається тертя між торцем та стінкою канавки в поршні. Якщо сила тертя занадто велика, деформація кільця відбувається нерівномірно і супроводжується ударами по поверхні циліндра. Ця обставина впливає на міцність кільця.

									Арк.
									33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ				

Тепловий зазор a (у мм) у замку кільця, встановленого в циліндрі, обирається таким:

$$a = \pi \cdot \alpha \cdot (t_k - t_{\psi}) \cdot D; \quad (2.14)$$

де $\alpha = 22,0 \cdot 10^{-6}$ - Коефіцієнт лінійного розширення, град⁻¹; t_k - Робоча температура кільця, °С; t_{ψ} - Температура холодного циліндра, °С.

°С із запасом $t_k - t_{\psi} = 115$ отримуємо вираз для теплового зазору:

$$a = 0,0040 \cdot D = 0,0040 \cdot 68,0 = 0,2720 \text{ мм}.$$

2.4 Модернізація шатунних вкладишів

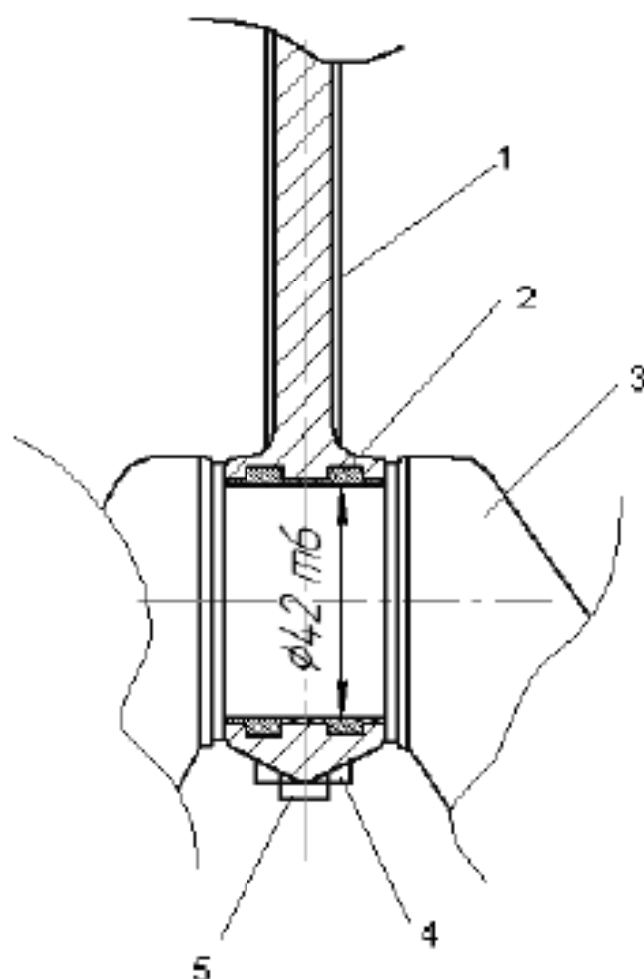


Рисунок 2.10 – Схема з'єднання колінчастого валу з вкладишем: 1 – шатун; 2 – вкладиш; 3 – колінчастий вал; 4 – гайка; 5 – болт шатуна

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Характеристики матеріалів пар тертя

Втулка компресора F V 6 виготовлена з бабіту Б 8 3.

Бабіти — це легкоплавкі сплави, в основі яких лежить олово (олов'яні бабіти) або свинець (свинцеві бабіти). Ці сплави не вирізняються високою міцністю, тому їх зазвичай наносять тонким шаром на міцнішу основу, як правило, сталеву. Тонкостінні вкладиші виготовляють штампуванням з біметалічної стрічки, отриманої методом безперервного лиття. Підшипники великого діаметра відливають окремо, використовуючи стаціонарний або відцентровий способи, а також лиття під тиском [11].



Рисунок 2.11 - Вкладиш шатуна компресора FV6

Бабіти мають високу пластичність, низьку температуру заливки (від 300 до 420°C) і низький коефіцієнт тертя. Їхні чудові антифрикційні властивості зумовлені наявністю твердих кристалів у м'якій основі.

Бабіти позначаються літерою "Б". Для олов'яних бабітів після літери йдуть цифри, що вказують середній відсоток олова у сплаві (наприклад, Б83, Б89). Крім олова, що є основою сплаву, до складу цих бабітів входять сурма (7,0–12,0 % залежно від марки) та мідь (2,50–6,50 % залежно від марки).

$$\sigma_B = 90 \text{ МПа}; \delta = 6 \div 9\%.$$

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Температура плавлення становить 380,0-342,0°C. Мікроструктура являє собою пластичну основу, утворену твердим розчином сурми та міді в олові, в якій розміщені легкі тверді вкраплення та інші включення.

Як зазначалося, для досягнення низького коефіцієнта тертя необхідно створити мікрогетерогенну структуру, де чергуються тверді та м'які структурні компоненти. У бабітах це досягається завдяки утворенню дрібних кристалів твердих хімічних сполук, рівномірно розподілених у м'якій матриці зі свинцю чи олова.

Бабіти характеризуються низькою твердістю (15,0–30,0 НВ), низькою температурою плавлення (240,0–320,0°C), високими антифрикційними властивостями та відмінною оброблюваністю різанням. Недоліком бабітів є їхня висока вартість та низька контактна міцність, особливо це стосується олов'яних бабітів. Тому такі сплави не застосовують у швидкохідних машинах.

Товщина шару бабіту впливає на втомну міцність: чим тонший шар, тим вищий опір втоми. Наприклад, зменшення товщини шару з 0.750 до 0.0750 мм збільшує ресурс підшипника в 4.50 рази. У біметалевих вкладках товщина шару бабіту коливається від кількох міліметрів до 0.2 мм. Подальше зменшення товщини шару є неможливим, оскільки це призводить до збільшення ймовірності його швидкого зносу.

Колінчастий вал компресора виготовлений з легованої сталі 40X. Хромисті сталі схильні до відпускнуї крихкості, а отже після великого відпуску охолодження повинно бути швидким: для дрібних деталей – у маслі, для великих – у воді.

$$\sigma_B = 500 \div 610 \text{ МПа}, \sigma_{0,2} = 300 \div 360 \text{ МПа}, \delta = 21,0 \div 16,0 \%$$

Заготовки валів для великосерійного виробництва отримують гарячим штампуванням, а для великогабаритних валів та дрібносерійного виробництва — куванням. Після штампування заготовки піддають нормалізації. Зносостійкість шийок валів, що з'єднуються з підшипниками ковзання, підвищують загартуванням їх поверхні струмами високої частоти на глибину 1.50 – 3.0 мм. Твердість загартованих поверхонь шийок валів для сталей 40 та 40X становить HRC 48– 58. Галтелі та зони навколо отворів для виходу мастила не загартовують для

										Арк.
										36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ

підвищення втомної міцності; шийки валів і тіла кочення, що з'єднуються з кільцями підшипників, також не гартують.

Визначення умов експлуатації та виявлення можливих пошкоджень

Деталі компресора функціонують в умовах динамічних знакозмінних навантажень. При цьому частота обертання головного валу становить 1440 об/хв, що, своєю чергою, висуває певні вимоги до точності обробки деталей, їх монтажу та матеріалів, що використовуються при їх виготовленні.

Найбільшому зносу при знакозмінних навантаженнях та високих взаємних швидкостях піддаються пари тертя ковзання. У нашому випадку найбільш навантаженими є шатунні вкладиші, а саме пари тертя "колінчастий вал-вкладиш". Причому вкладиш навантажений як по внутрішній, так і по зовнішній циліндричній поверхні. Вал зношується в зоні контакту з вкладишем.

Вкладиш зношується по внутрішній циліндричній поверхні, а також може виникнути неспіввісність між зовнішньою циліндричною поверхнею вкладиша та корпусом шатуна.

Поломки деталей машин можна поділити на три групи: зношування, механічні пошкодження та хімічні пошкодження.

Зношування деталей машин визначається тиском, циклічними навантаженнями, режимами мастила та ступенем їх стабільності, швидкістю взаємного переміщення поверхонь тертя, температурним режимом роботи деталей, агресивністю навколишнього середовища тощо.

Як відомо, залежно від виду тертя всі деталі поділяються на 5 груп за типом зносу.

Розглянуті в роботі пари тертя відносяться до першої групи – контакт по циліндричній поверхні валу – підшипник ковзання. До цієї групи належать деталі ходової частини мобільних машин, для яких основним фактором, що визначає їх довговічність, є абразивне зношування деталей.

Через забруднення мастильних матеріалів на робочих поверхнях утворюються подряпини та задирки, що призводить до прискореного зносу таких пар тертя і є найчастішою причиною поломок.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Залежно від інтенсивності, процес зношування ділиться на 3 періоди:

1-й період – характеризується інтенсивним зносом – це час опрацювання деталей.

2-й період – відповідає нормальній роботі, є найдовшим за часом.

3-й період – характеризується інтенсивним зростанням зношування деталей через збільшення зазорів у сполуках.

Таким чином, знаючи закономірність збільшення зносу деталей або збільшення зазорів у з'єднаннях, можна легко визначити гранично допустиме зношування деталей або зазорів у з'єднаннях.

Поломки деталей можна поділити на три типи за ймовірністю їх виникнення: залежні, рівноймовірні та незалежні (випадкові).

За характером виникнення залежні та рівноймовірні відмови можуть бути наслідком природного зношування, а випадкові відмови – наслідком аварійних ситуацій.

Класифікація дефектів дає змогу адекватно обирати технологічні процеси відновлення окремих деталей, особливо типових.

У нашому випадку найбільшому зносу піддаються контактні поверхні двох деталей, що входять до пари тертя. Причому в одному випадку зношування відбувається на внутрішній циліндричній поверхні підшипника ковзання та на зовнішній циліндричній поверхні валу. Причиною зносу є знакозмінні контактні навантаження, що виникають при взаємному переміщенні поверхонь тертя.

Модернізація та підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя

Для модернізації шатунних вкладок пропонується замінити існуючий матеріал (бабіт Б83) на ГР-20 (на основі ароматичного феніленполіаміду), а також обрати найкращий за комплексом властивостей матеріал.

«Заготовки композиційного матеріалу на основі ароматичного поліаміду – Графелон – виготовлялися наступним чином» [11]:

«Брикетування. Порошкоподібні ароматичні поліаміди, одержувані методом емульсійної поліконденсації, зазвичай мають низьку насипну щільність (0.150–0.250 г/ см³). При завантаженні порошку у форму завантажувальну камеру

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

слід робити значно вищою, що допустимо лише для деяких видів малогабаритних виробів. У більшості випадків використовують низьку камеру завантаження, в яку поміщають формувальний матеріал у вигляді брикетів, які отримують пресуванням порошку при кімнатній температурі. В цьому випадку, крім зменшення габаритів форм, покращуються умови нагрівання формувального матеріалу у формі за рахунок підвищення теплопровідності.

Використання брикетів також спрощує та прискорює завантаження прес-матеріалу у форму, виключає необхідність його вирівнювання, що важко при високій температурі форми, і, нарешті, при швидкому перенесенні брикету із сушильної печі в прес-форму матеріал не встигає ввібрати вологу з повітря.

З відносно сухого порошку виходять досить міцні брикети при досягненні щільності близько 0.450 г/см^3 .

При виготовленні брикету, що відповідає за формою та розмірами виробу, необхідно враховувати, що розміри брикету при витягуванні з форми, зберіганні та особливо при нагріванні в процесі сушіння збільшуються приблизно на 1.50–2.0% порівняно з розмірами форми, в якій здійснюється брикетування. Тому необхідно передбачити зменшення розмірів форми для брикетування порівняно з формою для гарячого пресування.

Форми для брикетування слід вибирати з великою висотою камери завантаження, розрахованої на весь об'єм порошкової шихти.

Пресувати прес-порошок під час завантаження не рекомендується: це призведе до появи смуг на готовому виробі, що відповідають межам між пресованою та знову доданою порціями матеріалу.

Такі ж неоднорідності у виробках виникають і під час використання пресованого матеріалу як таблеток. Крім погіршення зовнішнього вигляду під час використання таблеток знижується міцність виробів, що особливо помітно під час виготовлення виробів простих форм: пластин, циліндрів, гільз. У цих випадках пресований матеріал не має можливості достатньо розтікатися, а межі поділу між таблетками повністю не зникають. Крім того, насипна щільність таблеток порівняно із щільністю брикетів зменшується у 1.60 рази. Усе це робить

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

недоцільним використання пресованого матеріалу як таблеток для прямого пресування виробів.

При великій площі та малій товщині виробів прес-порошок перед брикетуванням необхідно ретельно розрівняти.

Ароматичні поліаміди перед нагріванням до високих температур необхідно ретельно висушувати від вологи, щоб уникнути деструкції. Звісно, прес-матеріал сушать у брикетованому вигляді. Прес-порошки графелону можна нагрівати на повітрі до порівняно високих температур, тому доцільніше використовувати звичайні сушильні шафи, а не складнішу вакуумну сушку.

Режим сушіння істотно впливає на якість виробів. При переробці полімерів, схильних до кристалізації, температуру сушіння слід знижувати, оскільки за високих температур структура полімеру стає впорядкованою, що призводить до підвищеної крихкості виробів.

Температури гарячого пресування ароматичних поліамідів вибирають також на основі температурної залежності міцності виробів, що отримуються. Вибір цих температур для полімерів, що кристалізуються, визначається необхідністю зниження в'язкості розплаву, яка зменшується зі зростанням температури, і припинення кристалізації, швидкість якої збільшується зі зростанням температури.

Оптимальна температура пресування графелону становить 320,0°C, при якій показники міцності виробів, у тому числі ударна в'язкість, мають максимальні значення.

Висушений брикет слід перекласти у форму, нагріту до температури вище 100°C, щоб полімер не вбирав вологу з повітря. При цьому недоцільно поміщати брикет у форму, нагріту до максимальної температури, тому що в цьому випадку форма і брикет послідовно нагріваються, що збільшує загальний час нагріву; крім того, нагрівання брикету одночасно з формою сприяє додатковому висиханню полімеру.

У деяких випадках завантаження прес-матеріалу має відбуватися за високої температури. Це робиться при низькій швидкості нагрівання форми для скорочення часу перебування полімеру при високій температурі, що сприяє погіршенню якості

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

виробів, або при використанні форм, в яких при завантаженні прес-матеріалу пуансон значно виступає з матриці, яка нагрівається, що призводить до зниження швидкості нагрівання і погіршення рівномірності температурного поля. Такі форми необхідно нагрівати до пресування в закритому стані без прес-матеріалу.» [11]

Для розрахунку часу, необхідного для рівномірного прогрівання прес-матеріалу по всьому об'єму, можна скористатися даними теплопровідності полімерів. Якщо прес-матеріал з температурою T у вигляді брикету, розміри якого збігаються з розмірами порожнини форми, завантажити у форму, нагріту до постійної температури T , то тривалість нагрівання центральної частини брикету до температури T можна оцінити за наведеними нижче формулами.

Для випадку нескінченної плоскопаралельної пластини:

$$\tau_{пл} = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{\left(\frac{S}{2}\right)^2}{a} \cdot \ln\left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\theta_a}{\theta_m}\right); \quad (2.27)$$

а для випадку циліндра нескінченної довжини:

$$\tau_{ц} = \frac{r^2}{5,79 \cdot a} \cdot \ln\left(1,6 \cdot \frac{\theta_a}{\theta_m}\right); \quad (2.28)$$

де: $\tau_{пл}$ - час нагрівання середини зразка, год;

s і r - товщина пластини та радіус циліндра, м;

a - Коефіцієнт теплопровідності, $m^2/год$;

$$\theta_a = T_o - T_a; \theta_m = T_o - T_m. \quad (2.29)$$

Розрахункові значення тривалості нагріву при $a = 4,0 \cdot 10^{-4} m^2/год$, $T_o = 340,0$ °С, $T = 230,0$ °С і $T_{пл} = 335,0$ °С, приблизно відповідні умовам пресування графелону, наведені в таблиці (2.6):

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 - Тривалість прогрівання

Товщина плоского чи діаметр циліндричного брикетів, мм	6	10	20	25	30	40	50
Тривалість прогріву пластини, хв.	1,8	5	20	–	45	80	–

Коли пресуються пластини, час нагрівання можна значно зменшити, якщо застосовувати тиск до прес-матеріалу під час нагрівання. Якщо в момент прикладання тиску температура перевищує температуру склування полімеру, прес-матеріал стає монолітним і його товщина суттєво зменшується (для ГР-20 – вдвічі). Крім того, зростає теплопровідність монолітного матеріалу.

Зразки, отримані пресуванням, часто мають пропорційні розміри в різних напрямках. Теплообмін відбувається по всій зовнішній поверхні пресованого матеріалу, що прискорює його нагрівання порівняно з нескінченними пластинами та циліндрами.

Як уже згадувалося, час нагрівання скорочується, якщо формувальний матеріал поміщати у форму при низькій температурі та нагрівати його разом з нею. Коли форма нагрівається з постійною швидкістю, різниця температур у центрі зразка та на його поверхні виражається формулами:

$$\Delta t = \frac{br^2}{4a}, \quad (2.30)$$

для тарілки:

$$\Delta t = \frac{bs^2}{8a}; \quad (2.31)$$

де Δt - Різниця температур, °C; b - швидкість нагрівання форми, °C/год; r - радіус циліндра, м; S - Товщина пластини, м; a - теплопровідність, м²/год.

«На підставі розрахунків, температурна різниця при швидкості нагріву 5,0-10,0°C/хв є значно меншою, ніж при переміщенні брикету в форму, нагріту до максимальної температури. Для визначення оптимального тиску пресування ($P_{пр}$) досліджували залежність показників міцності виробів від цього тиску. Проте, застосування високих тисків під час пресування може збільшити внутрішню напругу в готових зразках. Висока в'язкість розплавів ароматичних поліамідів ускладнює релаксацію внутрішньої напруги, величина якої зростає з підвищенням $P_{пр}$. Тому при пресуванні зразків простої форми та невеликої висоти (k) $P_{пр}$ становить 400,0-500,0 кгс/см². При пресуванні ароматичних поліамідів температура (15,0 мм), за якої застосовується тиск, встановлюється низкою факторів. Одним з них є потреба в додатковому сушінні пресованого матеріалу, який нагрівається в прес-формі. У такому випадку нагрівання до $T_{пр}$ відбувається без застосування тиску для полегшення виділення вологи з полімеру. Крім того, нагрівання пресованого матеріалу в прес-формі без тиску сприяє видаленню летких продуктів часткової деструкції полімеру.

Водночас, застосування тиску при температурах нижче $T_{пр}$ покращує тепловіддачу від стінок форми. При досягненні температури розм'якшення це призводить до зменшення товщини пресованого зразка, істотно прискорюючи його прогрів. Отже, вибір температури, при якій здійснюється додаток тиску до прес-матеріалу, залежить від конкретних умов переробки, виду виробів та потреб у них.

Тривалість витримки під тиском визначається необхідністю повного прогріву формувальної маси та часом, потрібним для її течії та формування виробу. При нагріванні полімеру до $T_{пр}$ час оформлення виробу найскладнішої конфігурації не перевищує 300 секунд.

Температура зняття тиску та випуску виробу наприкінці пресування визначається головним чином тим, що полімер перед вилученням виробу з форми необхідно охолодити нижче температури склування. Інакше незатверділий відпресований виріб неминуче буде зіпсований. Щоправда, в деяких випадках

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

зняття або зниження тиску може проводитися і при вищих температурах, і такий режим охолодження сприяє послабленню та зниженню внутрішньої напруги у виробі. Однак, якщо зняття тиску проводиться при температурах вище T_c , міцність виробу та точність його розмірів дещо знижуються. Тому при підвищених вимогах до виробів охолодження при переробці полімерів типу графелону має відбуватися під тиском не менше ніж до $250,0\text{ }^\circ\text{C}$.

Для скорочення тривалості циклу пресування необхідно доцільно збільшувати швидкість охолодження форм з готовим виробом. Застосування водяного охолодження дозволяє знижувати температуру стінок форм зі швидкістю близько $100^\circ\text{C}/\text{хв}$. Слід зазначити, що центральна частина, особливо масивних виробів, охолоджується значно повільніше. Крім того, надто швидке охолодження виробів може призвести до появи значних внутрішніх напруг та усадки.

Межі робочих температур ароматичних поліамідів визначаються як їхньою тепло-, так і термостійкістю. Це проміжне положення ароматичних поліамідів обумовлене двома обставинами. При зміні хімічної структури ароматичних поліамідів їх тепло- та термостійкість змінюються нерівномірно. В результаті максимальні робочі температури одних ароматичних поліамідів обмежуються їхньою термостійкістю, а інших — теплостійкістю (наприклад, полі-*p*-фенілентерефталамід, $T_p = 520,0\text{ }^\circ\text{C}$; полі-*m*-феніленізофталамід, $T_p = 270,0\text{ }^\circ\text{C}$).

Окрім досить високих робочих температур, матеріали на основі ароматичних поліамідів характеризуються високими показниками міцності. В ізотропному стані ароматичні блокові поліаміди значно перевершують їх за міцністю (часто за твердістю та модулем пружності) (Таблиця 2.7). Відмінною особливістю хімічної структури поліамідів є їхня здатність утворювати водневі зв'язки між макромолекулами. Оскільки кожна амідна група може утворювати водневі зв'язки із сусідньою молекулою, концентрація таких зв'язків у полімері дуже велика.» [11]

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Таблиця 2.7 - Міцність пластмас на основі ароматичних поліамідів

Полімер	Руйнуюче напруження, кгс/см ²	
	при розтягу	при згині
Ароматичні поліаміди (графелон)	1800 – 2000	2700 – 3000

Велика кількість атомів в ароматичних поліамідах, що здатні утворювати водневі зв'язки, призводить до високої концентрації цих зв'язків. Ймовірно, це стосується не лише орієнтованих кристалізованих волокон, але й аморфних ізотропних матеріалів, отриманих з цих полімерів. Сильна міжмолекулярна взаємодія, зумовлена водневими зв'язками, очевидно, є одним з основних чинників, що забезпечують міцність матеріалів з ароматичних поліамідів.

Графелон — це полімерний композиційний матеріал. Його основами є аліфатичні та ароматичні поліаміди, важкі ароматичні поліефіри, пентапласт, полікарбонат, поліформальдегід та його сополімери, полііміди, поліхіноксидини, поліфенілхіноксаліни, поліоксидіазоли, полібензоксазоли, поліфеніленікси сумішей. Основним наповнювачем є спеціально оброблене вуглецеве волокно, модифіковане особливими добавками та з заданим розподілом за довжиною.

Багатокомпонентні матеріали графелону містять додаткові елементи, такі як дисперсні тверді мастила або їх комплекси, порошки термопластичних полімерів, суміші вуглецевих волокон з різними властивостями, волокна термостійких матеріалів або металів, органічні термостійкі полімери, термостійкі рідини, модифікатори та оксиди металів. Вироби, виготовлені з ненаповнених графелонопластів, мають забарвлення від світло-жовтого до темно-коричневого.

У тонких шарах вони добре пропускають світло, а на дотик здаються дуже твердими та міцними. За сукупністю фізико-механічних показників графелон перевершує більшість промислових пластиків, поступаючись у міцності лише деяким маркам склопластиків. У таблиці 2.8 представлені основні фізико-механічні показники зразків графелону, отриманих методом прямого пресування.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 2.8 - Фізико-механічні показники зразків ГР-20

Показники	Графелон
Температура крихкості, °С	- 80
Щільність, г/см ³	1,33
Руйнуючі напруження, кгс/см ³	
при розтягу	1200 – 1400
при згині	2200 – 2400
при зрізі	1200
Границя текучості при стиску, кгс/см ²	2100 – 2300
Відносне видовження при розриві, %	6,6
Ударна в'язкість, кгс·см/см ²	40 – 50
Модуль пружності при стиску, кгс/см ²	30000 – 32000
Твердість, кгс/мм ²	29
Теплостійкість по Віка, °С	290

Зразки, створені методом компресійного формування, за деякими параметрами перевершують пресовані. Вони мають особливо високу ударну в'язкість, а їхні характеристики представлені в таблиці 2.9.

Як видно з таблиці 2. 8, при кімнатних температурах відносне подовження графелону при розриві не перевищує 5,0-7,0%. Однак при стисканні деформація може бути значною: зразки, залежно від їх форми та розмірів, можуть деформуватися на 30,0-70,0% без утворення тріщин.

Варто зазначити, що пластична деформація графелону при стисканні є неминучою та високоеластичною за своєю природою, що вказує на оборотність деформації під час відпалу.

Поєднання високої жорсткості та твердості з відмінною ударною в'язкістю і здатністю до пластичної деформації надає Графелону значну перевагу над іншими пластмасами.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 2.9 - Фізико-механічні властивості литих зразків графелону

Показники	Графелон
Руйнуюче напруження, кгс/см ²	
при розтягу	1750 – 2050
при згині	2800
Границя текучості при стисненні, кгс/см ²	2700
Ударна в'язкість, кгс·см/см ²	140 – 180
Теплостійкість по Віка, °С	290

Перевага графелону полягає в тому, що виготовлені з нього деталі, подібно до металевих, можуть відповідати важливим експлуатаційним вимогам. Проте, як і в інших матеріалів, міцність графелону зменшується зі зростанням температури.

Поєднання жорсткості та пластичності забезпечує Графелону високу втомну міцність. Це підтверджується тим, що Графелон перевершує капролон за втомною міцністю у 1.50 рази (при 2×10^6 циклів навантаження), а за кількістю циклів до руйнування при тому ж навантаженні – у кілька сотень разів. Дослідження контактної міцності під час прокатки навантажених роликів показали, що Графелон є більш стійким за аналогічних умов. Руйнування робочої поверхні Графелону відбувалося при навантаженнях 140,0–150,0 та 180,0–200,0 кгс /см² під час випробувань без мастила та з мастилом відповідно.

Графелон також відзначається низькою повзучістю. Швидкість накопичення деформації залишається незначною навіть за високих температур.

Коефіцієнт тертя Графелону при роботі без мастила є досить високим, але його значення залишається стабільним у широкому діапазоні температур.

Випробування проводилися приблизно в однакових умовах на торцевій машині тертя та на машині Skoda-Savine, що працює за схемою "вал-частковий вкладиш". В обох випадках контртілом виступала сталь 45 з твердістю 45,0 HRC та чистотою обробки поверхні $R_a = 0.320$ мкм. Після випробувань було встановлено,

									Арк.
									47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ				

що коефіцієнт тертя Графелону практично не змінюється в діапазоні температур 20,0–200,0 °С, тоді як у бабітів він різко зростає.

Коефіцієнт тертя Графелону по сталі при роботі з рідким мастилом також демонструє добру температурну стабільність, що наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Залежність коефіцієнта тертя ГР від температури.

Температура	20°С	80°С	150°С	180°С	220°С	250°С
Графелон	0,074	0,88	0,106	0,108	0,112	0,123

Застосування рідкого мастила дозволяє використовувати графелон навіть при дуже високих навантаженнях. Наприклад, при навантаженні 200,0 кгс/ см² та швидкості 3.90 м/с температура в зоні тертя не перевищує 110°С. Несуча здатність матеріалу залишається високою, оскільки при навантаженні 230,0 кгс/см² та швидкості 2.60 м/с ознак об'ємної деформації вкладишів ще не спостерігається. Для порівняння, нейлон в аналогічних умовах витримує навантаження не більше 80,0 кгс/см². Для оцінки зносостійкості графелону при роботі з рідким мастилом його порівнювали з бабітом. При шляху тертя 6,0×105,0 м, швидкості 2.30 м/с та навантаженні 120,0 кгс /см² знос графелону становив 4 мкм (при навантаженні 200,0 кгс/ см² – 5.50 мкм), тоді як знос бабіту – 9.50 мкм.

Коефіцієнт термічного розширення графелону в діапазоні робочих температур (від –90 до 250°С) є досить стабільним і в два-три рази нижчим, ніж в інших пластиків. За коефіцієнтом розширення графелон перевершує алюміній лише в 1.20 рази, бронзу — вдвічі, а сталь — втричі.

Графелон практично не набухає, і виготовлені з нього вироби не змінюють своїх розмірів під впливом більшості вуглеводнів та інших органічних рідин. Лише деякі полярні речовини, такі як «нафтол» та добавки на основі первинних крезолів, можуть негативно впливати на графелон при підвищених температурах.

Графелон має задовільну стійкість до розбавлених мінеральних кислот і лугів. Проте, концентровані кислоти та луги його руйнують, а їхня дія посилюється при підвищених температурах.

										Арк.
										48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ					

Графелон, через наявність амідних зв'язків у макромолекулах полімеру, здатний сорбувати вологу з повітря та поглинати воду при контакті з водою та водними розчинами. Швидкість сорбції значно зростає зі збільшенням температури (коефіцієнт дифузії змінюється від 10,0–11,0 при 20,0°С до 10,0 см²/с при 100,0°С). Однак рівномірна кількість поглиненої води (вологи) не залежить від температури і для графелону становить 9,0–10,0 мас. %.

Зволоження графелону призводить до зниження показників міцності. При висиханні зразків їхні розміри та міцність практично повністю відновлюються.

Графелон, як і інші ароматичні та циклічні сполуки, відзначається високою твердістю, жорсткістю та міцністю, добрими антифрикційними властивостями, пластичністю та стійкістю до ударних навантажень, високою втомною міцністю, а також стабільними діелектричними характеристиками. Це забезпечує можливість широкого застосування графелону в різних галузях господарств — від побутової техніки до медицини. Комплекс властивостей графелону дозволяє використовувати його як конструкційний матеріал для роботи в широкому діапазоні температур. У багатьох випадках графелон може бути використаний замість металів. Така заміна є особливо актуальною там, де потрібно зменшити масу деталей, покращити їхні антифрикційні властивості, забезпечити електроізоляцію, знизити шум або полегшити виготовлення деталей складного профілю.

Таблиця 2.11 - Порівняльні характеристики матеріалів для виготовлення гільз компресорів

Матеріал	Шлях тертя, м	Навантаження, кгс/см ²	Швидкість, об/хв	Знос матеріалу, мкм
Бабіт Б83	6·10 ⁵	120	2000	9,5
Графелон - 20	6·10 ⁵	120	2000	4

Технологія виготовлення вставок із матеріалу ГР – 20 (графелон)

У поршневих компресорах найчастіше з ладу виходять компресійні кільця та вкладиші шатунно-поршневої групи.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Шатунний вкладиш являє собою біметалічну пластину, покриту тонким шаром бабіту, який дуже швидко зношується.

Щоб забезпечити довговічність гільзи та всієї шатунно-поршневої групи, пропонується замінити матеріал гільзи та кілець. Рекомендовано використовувати Графелон, оскільки він складається з багатьох композиційних речовин (див. табл. 2.12), що мають високу стійкість до ударів, зношування під впливом тертя, а також витримують високі температури від 180,0 до 320,0 °С.

Таблиця 2.12 - Структура складової речовини

Композиційна речовина	Вміст в %
Ароматичний поліамід фенілон	85-35
Графіти зване чи вуглецеве волокно	8.5-42
Перфторполіефірне масло	5.0-50

Властивості графітованого (вуглецевого) волокна наведено у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 - Властивості графітованого або вуглецевого волокна

Волокно		Міцність волокна, кгс/мм ²	Діаметр волокна, мкм	% вміст вуглецю золи	
основа	тип			Не менше	Не більше
віскозне	вуглецеве	35-55	10-12	60	21
-"-	графітизоване	40-55	8-9	95	5
Поліакрило -нітрильне	графітизоване	60-70	7-8	90	-

Фізико-механічні властивості фенілону наведені у таблиці 2.14.

Перфторполіефірна олія є ефективним мастилом, оскільки при високих температурах вона дифундує до поверхні тертя, забезпечуючи низький коефіцієнт тертя та мінімальний знос.

Пластина вкладиша компресора виробляється методом гарячого пресування, після чого її приклеюють до металевої основи.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таблиця 2.14 - Фізико-механічні властивості фенілону

Показник	Фенілон		
	П	С-1	С-2
Питома в'язкість 0.5%-ного розчину в диметилформаміді з 5% флористого літія	0,75-0,90	0,75-1,08	0,80-1,15
Границя міцності при розтягу, кгс/см ²	1000-1090	1000-1170	1200-1360
Границя міцності при статичному згині, кгс/см ²	1200-1560	1500-1740	2000-2200
Ударна в'язкість, кгс*см/см ²	20-32	20-28	35-46
Границя текучості при стиску, кгс/см ²	2200-2420	2200-2400	2100-2400
Твердість по НВ, кгс/см ²	1800-2200	1800-2120	2200
Температура розм'ягчення по Віка, °С	260-270	270-272	270-277

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

3 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ

Розрахунок загальної вентиляційної системи для дільниці виробництва шатунних вкладишів компресора. У дільниці виготовлення шатунних вкладишів компресора одночасно виділяється кілька шкідливих речовин. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно визначити продуктивність загальної вентиляційної системи, кратність повітрообміну та концентрацію шкідливих речовин при обраному значенні повітрообміну (табл. 3.1).

Для проведення розрахунку потрібні такі дані:

- Назва шкідливої речовини: Перелік усіх шкідливих речовин, що виділяються.
- Гранично допустима концентрація (ГДК) для кожної речовини в повітрі робочої зони.
- Кількість виділення шкідливої речовини за одиницю часу.
- Об'єм приміщення дільниці.

Таблиця 3.1 Виділення шкідливих речовин у дільниці

Шкідливі речовини	Інтенсивність виділення, G, г/год	ГДК	Клас небезпеки
Бензол	100	5	I
Сірководень	200	10	II
Сірковуглець	50	1	II
Ксилол	600	50	I
Формальдегід	30	0,5	III

Розміри приміщення: А = 12,0 м, В = 6,0 м, Н = 3,50 м.

Визначаємо продуктивність вентиляції для видалення кожної шкідливої речовини:

$$L_i = \frac{1000 \cdot G_i}{ГДК}$$

$$L_1 = \frac{1000 \cdot 100}{5} = 20000 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_2 = \frac{1000 \cdot 600}{50} = 12000 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_3 = \frac{1000 \cdot 200}{10} = 20000 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_4 = \frac{1000 \cdot 50}{1} = 50000 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_5 = \frac{1000 \cdot 30}{0,5} = 15000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Визначаємо необхідність повітрообміну для кожної з груп шкідливих речовин однонаправленої дії:

$$L_I = L_1 + L_2 = 20000 + 12000 = 32000 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{II} = L_3 + L_4 = 20000 + 50000 = 70000 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{III} = L_5 = 15000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приймаємо повітрообмін необхідний для видалення всіх шкідливих речовин:

$$L_{\max} = L_{II} = 70000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Визначаємо кратність повітрообміну:

$$K = \frac{L_{\max}}{V},$$

де V - вільний об'єм приміщення,

$$V = A \cdot B \cdot H = 12,0 \cdot 6,0 \cdot 3,50 = 252,0 \text{ м}^3;$$

$$K = \frac{70000}{12 \cdot 6 \cdot 3,5} = 277,7 \text{ год}.$$

Далі ми визначаємо концентрації шкідливих речовин у повітрі, що виділяються при заданому повітрообміні, а потім перевіряємо, чи немає підвищеної концентрації шкідливих речовин у повітрі дільниці:

$$g_i = \frac{1000 \cdot G_i}{K} \text{ (мг/м}^3\text{)};$$

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$g_1 = \frac{1000 - 100}{277,7} = 0,3 \leq 5 ;$$

$$g_1 = \frac{1000 - 600}{277,7} = 2,1 \leq 50 ;$$

$$g_1 = \frac{1000 - 200}{277,7} = 0,7 \leq 10 ;$$

$$g_1 = \frac{1000 - 50}{277,7} = 0,18 \leq 1 ;$$

$$g_1 = \frac{1000 - 30}{277,7} = 0,1 \leq 0,5 .$$

Отже, після проведення розрахунку вентиляційної системи дільниці ми визначили її продуктивність, кратність повітрообміну, а також концентрацію шкідливих речовин у цьому приміщенні. Порівнявши отримані результати з гранично допустимими концентраціями (ГДК), ми дійшли висновку, що поточна концентрація шкідливих речовин на дільниці не становить небезпеки.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ВИСНОВКИ

Огляд та аналіз патентної документації з різних технічних джерел показав, що існує багато типів компресорів, які застосовуються в холодильних установках, але серед них найбільшого поширення набули поршневі компресори. Ці компресори широко використовуються в більшості країн. Однак, суттєвим недоліком поршневих компресорів є відносно невеликий ресурс роботи шатунно-поршневої групи. Тому було поставлено завдання збільшити довговічність шатунно-поршневої групи компресора ФВб, замінивши матеріал компресійних кілець і шатунних вкладишів на такий, що має менший коефіцієнт тертя та довший термін служби.

Цю проблему було вирішено шляхом заміни чавунних компресійних кілець та бабітових вкладишів на вироби з композиційного матеріалу «Графелон – 20».

Графелон відмінно зарекомендував себе як ущільнювальний матеріал, особливо для виготовлення деталей пар тертя та запірних пристроїв, що функціонують при високих тисках, витратах та частотах спрацьовування. Поєднання твердості та зносостійкості з пластичністю, високою втомною та ударною міцністю забезпечує надійність та тривалий термін експлуатації таких деталей, як ущільнювальні кільця, вкладиші, подушки та сидла клапанів. Ці деталі зберігають працездатність у діапазоні температур від $-50,0$ до $+280,0^{\circ}\text{C}$, забезпечуючи високу герметичність систем при тисках до $350,0$ кгс/см². У низці випадків Графелон виявився єдиним матеріалом, що дозволив зберегти працездатність вузлів пневмо- та гідравтоматики, які експлуатуються в складних умовах.

Поєднання відмінних властивостей та високої термостійкості дозволяє застосовувати Графелон як матеріал для деталей опор обертання.

Після проведення необхідних розрахунків було встановлено, що компресійні кільця з композиційного матеріалу «Графелон – 20» мають менший термін припрацювання, нижчий коефіцієнт тертя та довший термін служби (у 2,0 – 2.50 рази) порівняно з кільцями з перлітного чавуну С Ч – 2 4 – 4 4 . Крім того,

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

собівартість компресійних кілець з графелону значно нижча, ніж чавунних, оскільки графелонові кільця вирізаються з готових заготовок, тоді як чавунні кільця виготовляються масляним способом. Технологія виробництва чавунних кілець цим способом дуже складна, і будь-які відхилення від неї призводять до дефіциту кілець.

Також, після розрахунку довговічності бабітових та графелонових вставок, було визначено, що графелонові вставки мають довший термін служби (у 3 рази), ніж бабітові.

Отже, проаналізувавши вищезазначені переваги модернізованого компресора, можна дійти висновку, що спроектована нами шатунна група компресора має триваліший термін служби, а отже, повністю вирішує поставлене завдання.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Деталі машин : Навчальний посібник / Г.М. Борозенець, В.М. Павлов., І. В., Семак. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.
2. Шпак Я.В. Проектування підйомно-транспортних систем і обладнання. Конспект лекцій. – Львів. Рукопис, 2012. – 300 с.:іл.
3. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Кривий Ріг: Видавництво «Мінерал», 2006.- 462 с.
4. Пастушенко С. І. Курсове проектування деталей машин / С. І. Пастушенко, О. В. Гольдшмідт, В. Ф. Ярошенко. – К. : Аграрна освіта, 2003. – 291 с.
5. Кукоба В. П. Організаційне проектування підприємства: навч. посібник / В. П. Кукоба. – К. : КНЕУ, 2014. – 420 с.
6. Новіков Ф. В. Математичне моделювання та оптимізація процесів металообробки: монографія / Ф. В. Новіков. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 384 с.
7. Струтинський В.Б. Математичне моделювання металорізальних верстатів / В.Б. Струтинський, П.П. Мельник. – Житомир : ЖТІ, 2002. – 570с.

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ДОДАТКИ

					КРБ 0011.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58