

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра технічної теплофізики

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Сергій ВАНЄЄВ
(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»,
освітньо-професійної програми «Компресори, пневмоагрегати та вакуумна
техніка»

на тему: «Розроблення поршневого компресора
для залізничного транспорту»

Здобувача групи ХК.мз-31с Барана Володимира Васильовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

(підпис)

Володимир БАРАН

Керівник доцент кафедри ТТФ, к.т.н., доц. Сергій ШАРАПОВ _____
(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЄКТОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	7
1.1 Опис конструкції	7
1.2 Технічна характеристика	18
2 ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРА	20
2.1 Початкові дані	20
2.2 Попередній термодинамічний розрахунок (n = 850 об/хв).....	20
2.3 Розрахунок конструктивних параметрів (n = 850 об/хв).....	25
2.4 Розрахунок потужності приводного електродвигуна (n = 850 об/хв)	26
2.5 Попередній термодинамічний розрахунок (n = 440 об/хв).....	29
2.6 Розрахунок конструктивних параметрів (n = 440 об/хв).....	30
2.7 Розрахунок потужності приводного електродвигуна (n = 440 об/хв)	31
3 ДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРА.....	35
3.1 Розрахунок першого режиму	35
3.2 Розрахунок другого режиму.....	41
4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОМПРЕСОРА.....	46
4.1 Перевірний розрахунок днища поршня	46
4.2 Перевірний розрахунок поршневого пальця	46
4.3 Міцнісний розрахунок шатунних гвинтів.....	48
4.4 Перевірний розрахунок сальникового ущільнення	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	53
3.1. Загальні вказівки.....	53
3.2. Заходи безпеки	53
3.3. Експлуатація	54
3.2. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, які можуть впливати на працівників компресорної станції	57
3.3 Вплив шкідливих факторів на людину та конструктивні рішення і заходи зменшення їх впливу	59
3.4 Пожежо- і вибухонебезпека при роботі на компресорній станції	64
3.5 Інструкція з техніки безпеки оператора компресорної станції	66
Список використаних джерел.....	68

					М142з 01.00.00.00 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Розроблення поршневого компресора для залізничного транспорту			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.	Баран									2	69
Перевір.	Шарапов										
Н. контр.	Шарапов							СумДУ, ХК.мз-31с			
Затв.	Ванеєв										

ВСТУП

Компресор (англ. compressor, нім. Kompressor, Verdichter) – це машина, які призначена для підвищення п'єзометричного напору (тиску) газів та парів за рахунок механічної енергії, яка передається йому від приводного двигуна. Вони забезпечують стиснення і переміщення газів чи парів по трубопроводам і через апарати до споживача стисненого середовища, чи по замкненим технологічним лініям (наприклад, у холодильних машинах).

За принципом дії компресори поділяються на об'ємні, динамічні та струминні.

Робочі органи об'ємних компресорів (рис. 1) всмоктують певний об'єм робочої речовини, стискають її завдяки зменшенню замкненого об'єму робочої порожнини (циліндра, робочої комірки та ін.) і потім переміщують (нагнітають) у камеру нагнітання. При всмоктуванні об'єм робочої порожнини збільшується, а при нагнітанні – зменшується. Ці агрегати є машинами дискретної дії, тобто робочі процеси в них відбуваються строго послідовно та повторюються циклічно. Переміщення робочої речовини в цих компресорах відбувається з порівняно невеликими швидкостями. До таких компресорів відносяться поршневі, гвинтові та ротаційні. Якщо в робочу порожнину компресора не надходить змащувальне мастило, то цей компресор без змащування і називається сухого стиснення.

Поршневий компресор (англ. reciprocating compressor) – це компресор об'ємного принципу дії, в якому зміна об'єму робочої порожнини відбувається поршнем, який здійснює зворотно-поступальний рух у циліндрі (рис. 2).

Його основними елементами є кривошипно-шатунний механізм, який складається з колінчастого вала 1 з радіусом кривошипу R та шатуна 2. Шатунно-поршнева група включає в себе тронковий поршень 3 діаметром D з ущільнюючими кільцями, циліндр 4, всмоктувальний 5 та нагнітальний 6

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

самодіючі клапани. Кривошипно-шатунний механізм розміщено всередині корпусу, який називається картером, на якому закріплено циліндр.

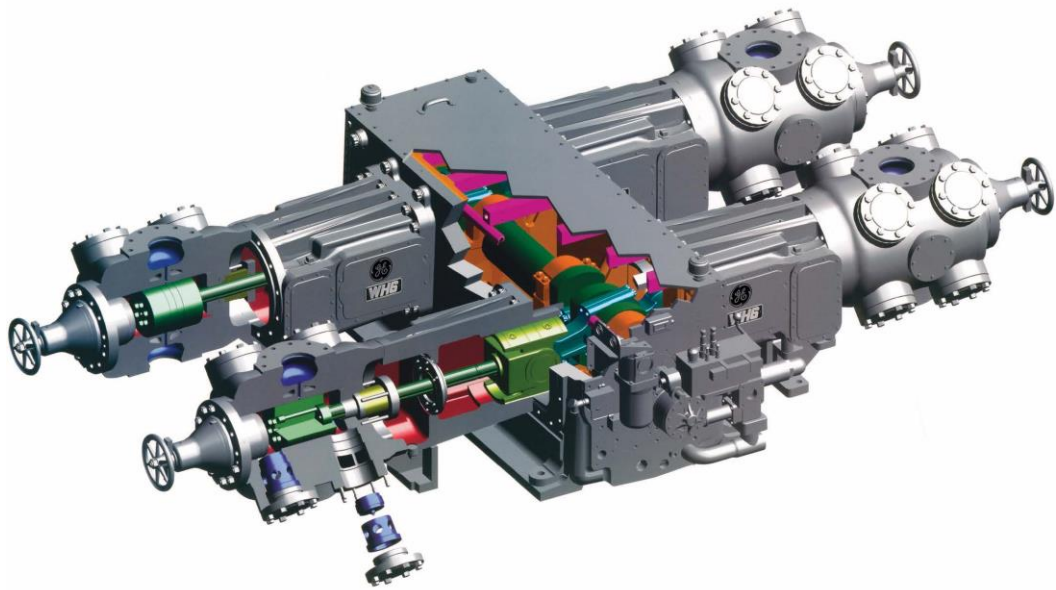


Рисунок 1 – Загальний вигляд поршневого компресора

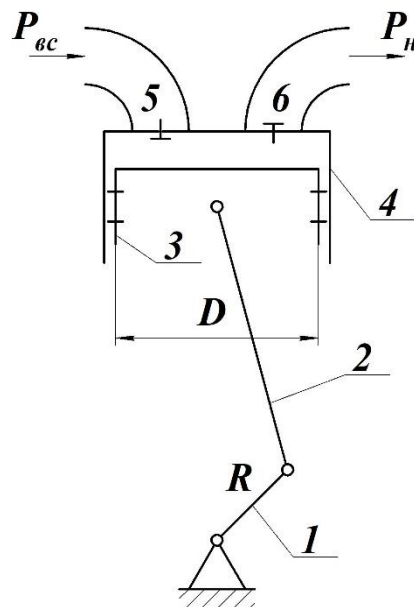


Рисунок 2 – Схема поршневого компресора простої дії:

- 1 – колінчастий вал; 2 – шатун; 3 – тронковий поршень; 4 – циліндр;
 5 – всмоктувальний самодіючий клапан; 6 – нагнітальний самодіючий клапан

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Поршневі компресори є розповсюдженим обладнанням для залізничного транспорту. Вони складаються з таких основних елементів:

- поршневий блок;
- ресивер (повітрязабірник);
- платформа (рама);
- електродвигун зі шківом;
- клинові ремені, захисне огороження;
- манометр;
- повітропровід скидання тиску;
- нагнітальний повітропровід;
- кран;
- клапан зливу конденсату;
- міжступеневий та кінцевий теплообмінники;
- вентилятор для охолодження теплообмінників;
- амортизатори.

Поршневий блок має повітряне охолодження. Змащування поверхонь деталей пристрою виконується розбризкуванням оливи, що перешкоджає зносу комплектуючих через тертя. Заливка мастила виконується через отвір у картері, злив - через отвір у його днищі, який закривається пробкою.

Ресивер збирає стиснене повітря, усуває пульсації тиску, сприяє відокремленню конденсату і масла. Він одночасно служить корпусом, де змонтовані складові елементи компресора. Ресивер має штуцер для встановлення телепресостата, зворотного клапана, крана зливу конденсату, запобіжного обладнання, а також кронштейнів.

Платформа призначена для монтажу поршневого блоку, двигуна, клиноремінної передачі та захисного огороження.

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Електродвигун необхідний для приведення компресора в дію. Телепресостат забезпечує роботу пристрою в автоматичному режимі і підтримує тиск у ресивері.

Повітропровід скидання тиску випускає стиснене повітря після зупинки поршневого блоку, що спрощує подальший запуск компресора.

Метою роботи є розроблення поршневого компресора для залізничного транспорту на основі існуючого прототипу.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЄКТОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Опис конструкції

Компресор (рис. 1.1, 1.2) - двоступеневий трициліндровий поршневий, з повітряним охолодженням, обладнаний пристроєм для переведення на холостий хід.

Корпус литий чавунний із чотирма лапами для кріплення компресора.

Передня частина корпусу закрита знімною кришкою, в якій встановлені один із підшипників колінчастого вала і гумова манжета. З боків у корпусі є два люки для доступу до деталей усередині корпусу.

До корпусу на шпильках кріпляться три чавунні циліндри з ребрами (для збільшення поверхні охолодження), розташовані в одній вертикальній площині під кутом 60° один до одного.

Бічні циліндри є циліндрами низького тиску, середній - високого тиску. Колінчастий вал - сталевий штампований або литий чавунний із високоміцного чавуну ВЧ-60 з двома балансирами, обертається на двох кулькових підшипниках 318, має систему каналів для проходу мастила.

Для поліпшення динамічних якостей компресора на основні балансири колінчастого вала встановлено два знімні додаткові балансири, кожен з яких закріплений двома гвинтами. Гвинти зашплінтовані.

У торець колінчастого вала запресована втулка з квадратним отвором для приводу масляного насоса.

Вузол шатунів (рис. 1.3) складається з одного жорсткого і двох причіпних шатунів, шарнірно приєднаних до нього за допомогою пальців.

Головний шатун виконано з двох частин - шатуна і головки, які нерухомо з'єднані між собою пальцями. У шатуни запресовані бронзові втулки. Головка шатунів роз'ємна.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

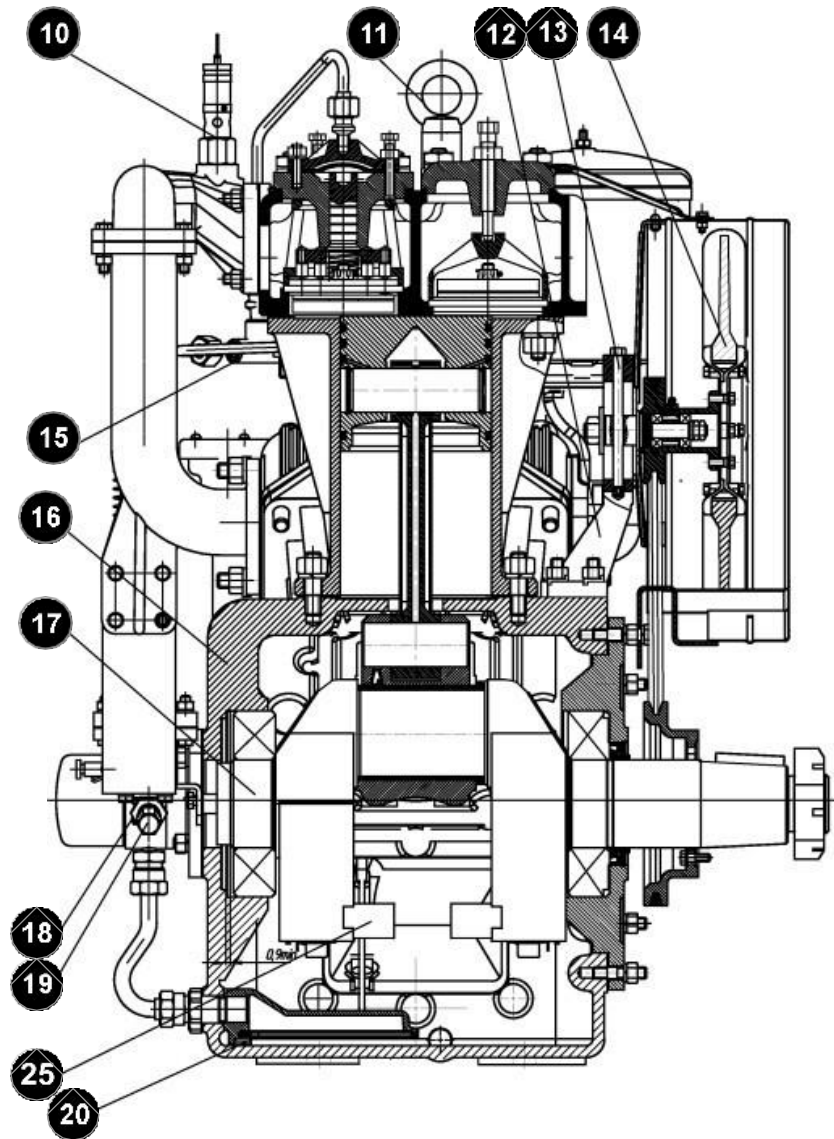


Рисунок 1.2 – Поршневий компресор для залізничного транспорту:

1 - коробка клапанна циліндра низького тиску; 2 - поршень циліндра низького тиску; 3 - циліндр низького тиску; 4 - коробка клапанна циліндра високого тиску; 5 - поршень циліндра високого тиску; 6 - циліндр високого тиску; 7 - вузол шатунів; 8 - холодильник; 9 - фільтр повітряний; 10 - клапан запобіжний; 11 - рим-болт; 12 - кронштейн вентилятора; 13 - болт натяжний; 14 - вентилятор; 15 - місце підведення повітря від регулятора; 16 - корпус компресора; 17 - вал колінчастий; 18 - насос масляний; 19 - клапан редуційний; 20 - фільтр масляний; 21 - сапун; 22 - пробка зливна; 23 - пробка запірنا; 24 - маслопоказчик; 25 - балансир додатковий

										Арк.
										9
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	M142з 01.00.00.00 ПЗ					

Знімна кришка розточена разом із головкою і прикріплена до неї за допомогою чотирьох шпильок. Гайки кріплення кришки застопорені шайбами стопорними. На компресорах для локомотивів гайки застопорені шайбами стопорними і шплінтами.

У голівці шатунів встановлено два тонкостінних сталевих вкладиша, залитих бабітом. Вкладиші щільно утримуються в голівці шатунів за рахунок натягу і додатково застопорені штифтом, який запресований у кришку головки шатунів.

Між головкою шатунів і кришкою є регульовальні прокладки.

Величина натягу залежить від товщини пакета прокладок. Номінальна товщина пакета з кожного боку дорівнює 1 мм: одна прокладка товщиною 0,7 мм і три - по 0,1 мм.

У разі зменшення товщини пакета прокладок ступінь обтиснення (натяг) вкладишів збільшується.

Збільшення товщини пакета понад 1 мм не допускається.

Вузол шатунів має систему каналів для підведення мастила до верхніх головок шатунів. Литі поршні (рис 1.3) приєднані до верхніх головок шатунів за допомогою поршневих пальців плаваючого типу.

На кожному поршні встановлено чотири поршневі кільця: два верхні - компресійні, два нижні - маслосборні.

Маслосборні кільця, що встановлюються гострими крайками в бік нижньої частини поршня, мають радіальні пази для проходу масла, знятого з дзеркала циліндра.

На поршнях є отвори і проточки (нижче мастилознімних кілець), призначені для відведення оливи, знятої кільцями з дзеркала циліндрів, всередину поршнів.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

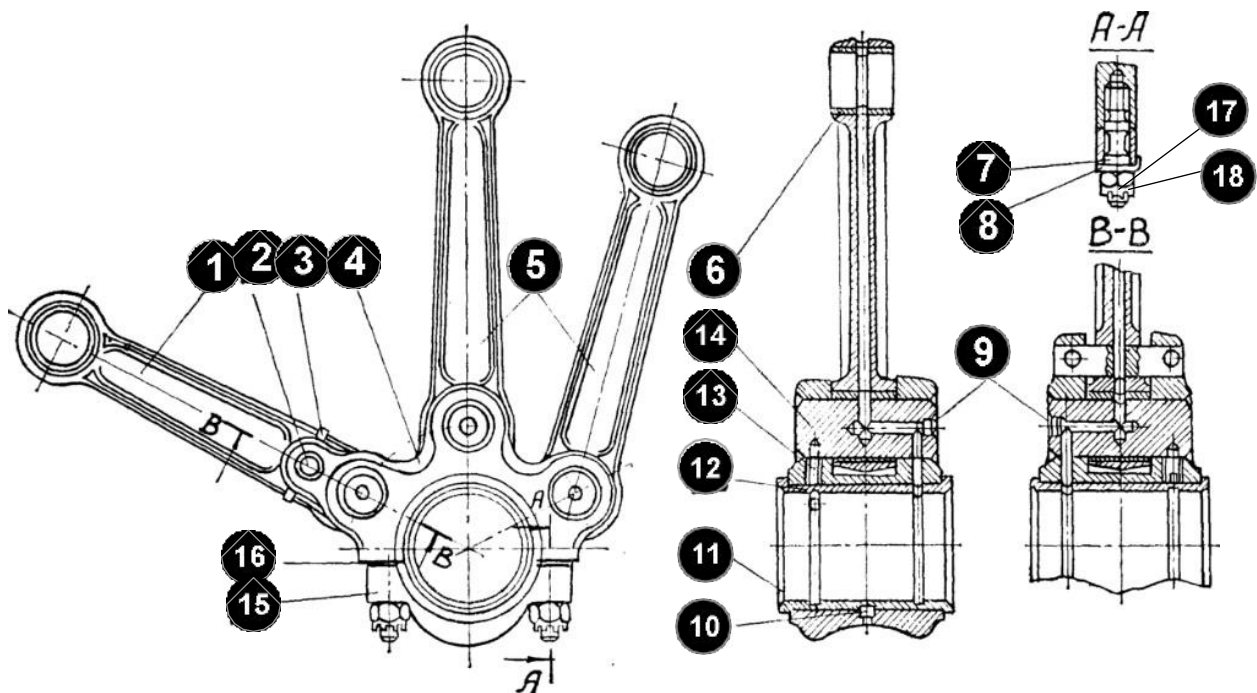


Рисунок 1.3 - Вузол шатунів:

- 1 - шатун жорсткий; 2 - палець; 3 - штифт; 4 - головка шатунів; 5 - шатуни причіпні; 6 - втулка; 7 - шпилька; 8 - шайба стопорна; 9 - пробка; 10 - штифт; 11 - вкладиш нижній; 12 - вкладиш верхній; 13 - гвинт стопорний; 14 - палець шатунів; 15 - кришка головки шатунів; 16 - набір прокладок; 17 - гайка; 18 - шплінт

На компресор встановлюють поршні ЦНД однієї вагової групи (маркування нанесено фарбою одного кольору на внутрішній поверхні днища поршня).

Корпуси коробок (рис 1.4) чавунні, з ребрами для збільшення площі охолодження. Внутрішня порожнина кожної коробки розділена на дві частини: в одній встановлений нагнітальний клапан, а в інший - всмоктувальний. Клапани самодіючі, пластинчасті, кільцеві.

										Арк.
										11
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата						

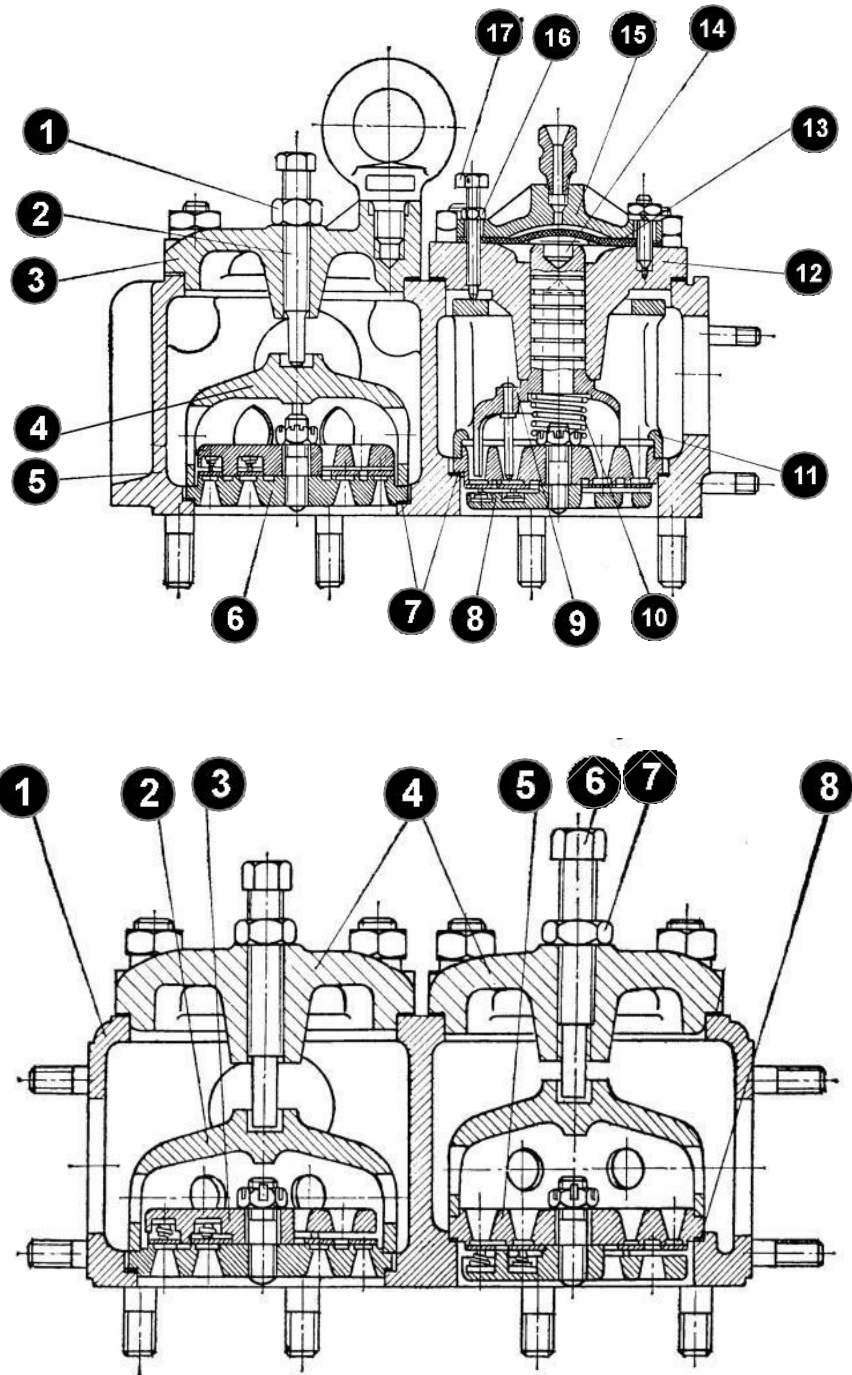


Рисунок 1.4 - Коробка клапанна

1 - контргайка; 2 - болт упорний; 3 - кришка нагнітального клапана; 4 - упор нагнітального клапана; 5 - корпус; 6 - клапан нагнітальний; 7 - прокладка; 8 - клапан усмоктувальний; 9 - упор усмоктувального клапана; 10 - пружина поворотна; 11 - стакан; 12 - кришка всмоктувального клапана; 13 - діафрагма; 14 - грибок; 15 – кришка діафрагми; 16 - контргайка; 17 - болт

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		12

Клапани всмоктувальний (рис. 1.5) і нагнітальний (рис. 1.6) аналогічні за своєю конструкцією. Клапан складається із сідла з кільцевими вікнами, що перекриваються великою і малою кільцевими пластинами. Кожна пластина притискається до сідла трьома пружинами, встановленими в гніздах упору, що обмежує хід пластин, рівний 2,5 мм. Сідло і упор з'єднані за допомогою шпильки і гайки, що стоїть на шплінті. Пружини стрічкові, конічні, однакові за розмірами і жорсткістю для всмоктувальних і нагнітальних клапанів (від 0,55 до 0,75 кгс за стиснення до 8 мм). Пружини не маркуються.

Нагнітальний клапан у корпусі клапанної коробки закріплений болтом (рис. 1.4), який притискає клапан до корпусу коробки через упор.

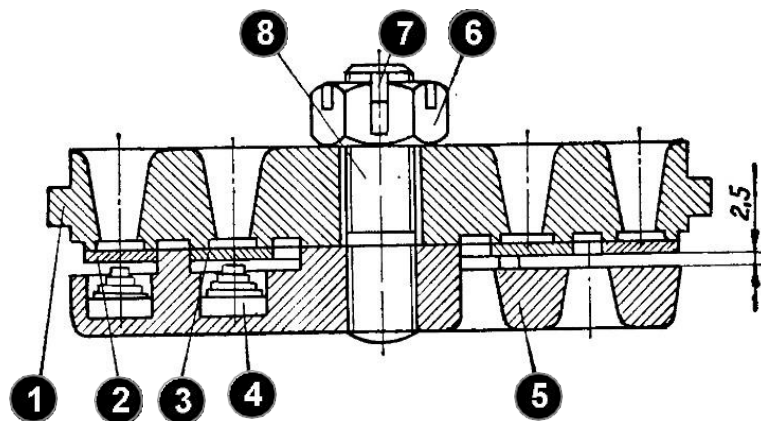


Рисунок 1.5 - Клапан всмоктувальний:

- 1 - сідло; 2 - пластина клапанна велика; 3 - пластина клапанна мала;
4 - пружина; 5 - упор; 6 - гайка; 7 - шплінт; 8 – шпилька

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

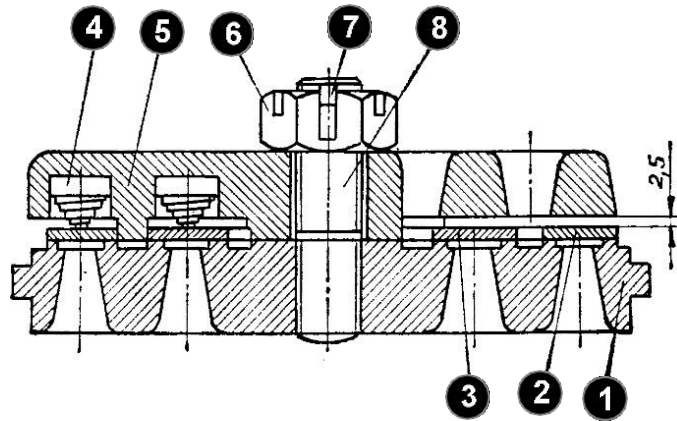


Рисунок 1.6 - Клапан нагнітальний:

1 - сідло; 2 - пластина клапанна велика; 3 - пластина клапанна мала;
4 - пружина; 5 - упор; 6 - гайка; 7 - шплінт; 8 - шпилька

Болт вкручений у кришку і застопорений контргайкою.

Всмоктувальний клапан закріплений за допомогою трьох болтів, що притискають клапан до корпусу коробки через стакан.

Болти вкручені в кришку і застопорені від відвертання контргайками.

Клапани ущільнені в корпусах коробки мідними або паронітовими прокладками, кришки - паронітовими прокладками.

Кожна клапанна коробка компресора (рис. 1.4) має розвантажувальний пристрій, рухомий до ні частини якого переміщуються вниз під впливом повітря, що надходить від регулятора через трубопровід на компресорі в простір над упором всмоктувального клапана.

Вимкнення клапана відбувається внаслідок віджимання пластин від сідла упором.

Під час вимкнення всмоктувальних клапанів стиснення повітря припиняється і компресор переходить на холостий хід.

Роботою компресора керує пневматичний регулятор (у комплект поставки не входить).

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		14

За відповідного регулювання він відкриває доступ повітря з магістралі до розвантажувальних пристроїв у разі підвищення тиску в резервуарі до 0,9 МПа (9,0 кгс/см²) і повідомляє їх з атмосферою за падіння тиску до 0,75 МПа (7,5 кгс/см²).

Пристрій і принцип роботи регулятора тиску та електропневматичного реле викладено у відповідних посібниках з експлуатації тепловозів і електровозів.

Повітря, що всмоктується компресором, очищається у двох повітряних фільтрах (рис. 1.1), які встановлені на клапанних коробках циліндрів низького тиску.

Після стиснення в циліндрах низького тиску повітря для охолодження надходить у холодильник компресора, який складається з двох секцій верхнього колектора і двох нижніх колекторів, що мають краники для зливу конденсату.

У середній частині верхнього колектора є патрубок для з'єднання його з клапанною ко-робкою циліндра високого тиску.

Для обмеження тиску в холодильнику на верхньому колекторі встановлено запобіжний клапан, відрегульований на тиск 0,45 МПа (4,5 кгс/см²).

Холодильник і циліндри обдуваються вентилятором, встановленим на кронштейні, який приводиться в обертання клиновим ременем від шківа на муфті приводу компресора.

У кронштейн, що має поздовжній паз, вкручено болт для регулювання натягу ременя. Дві суцільноштамповані лопаті вентилятора, укладені в запобіжний кожух із сіткою, обертаються на двох шарикопідшипниках.

Система змащення компресора комбінована: під тиском змащують шатунну шийку колінчастого вала, пальці причіпних шатунів і поршневі пальці; решту деталей змащують розбризкуванням. Для змащення масло заливають у

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

корпус компресора через отвір у бічній кришці, що закривається пробкою, або через патрубок сапуна. Рівень мастила контролюють за допомогою масляного показчика автомобільного типу.

Для підвищення терміну служби на компресорі передбачено 2-х ступеневе очищення масла:

1. Фільтр грубого очищення масла (встановлений у корпусі компресора);
2. Фільтр тонкого очищення оливи 8 (рис. 1.7, входить у конструкцію масляного насоса і встановлений на лінії нагнітання).

Злив оливи з корпусу здійснюють через отвори, розташовані з двох боків корпусу, що закриваються пробками.

Подача мастила здійснюється масляним насосом лопатевого типу з фільтром тонкого очищення оливи (рис. 1.7).

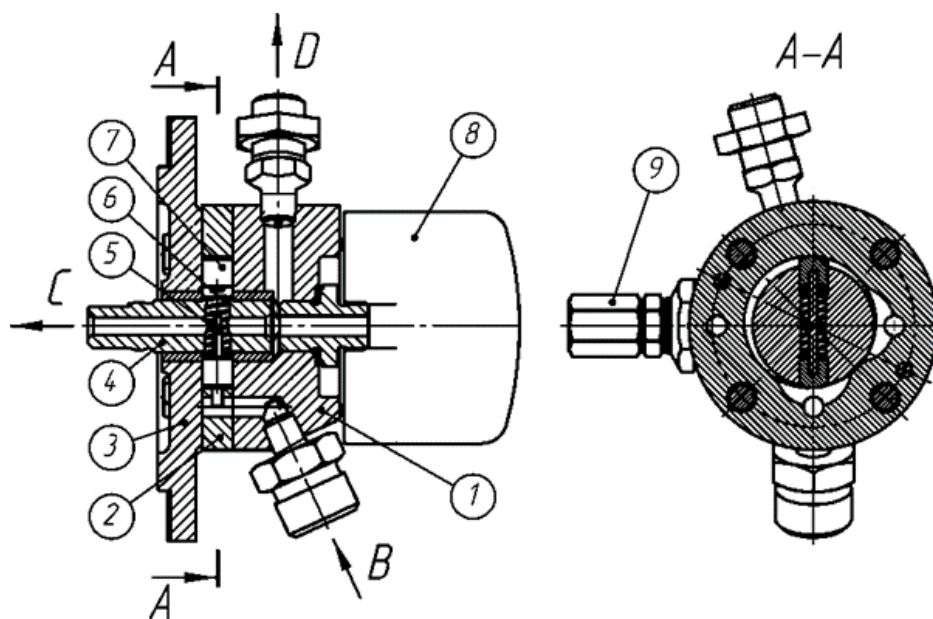


Рисунок 1.7 - Насос масляний

- 1 - кришка в зборі; 2 - корпус; 3 - фланець у зборі; 4 - валик; 5 - штифт;
 6 - пружина; 7 - лопать; 8 - фільтр тонкого очищення оливи;
 9 - клапан редукційний; B - вхід оливи; C - вихід оливи; D - до манометра

										Арк.
										16
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата						

M142з 01.00.00.00 ПЗ

Масляний насос складається з кришки, корпусу і фланця, з'єднаних чотирма шпильками і центрованих двома штифтами. У двох бронзових втулках обертається валик із двома лопатями, що розтискаються пружиною.

Валик насоса має квадратний хвостовик, за допомогою якого насос приводиться в обертання від колінчастого вала компресора і сферичну поверхню, призначену для ущільнення стику між валиком насоса і втулкою з квадратним отвором, запресованою в колінчастий вал.

Розточка в корпусі насоса, в якій обертаються лопаті, виконана ексцентрично відносно осі обертання валика.

З корпусу компресора масло засмоктується насосом через сітчастий масляний фільтр. Через нижній отвір у кришці насоса олива надходить у всмоктувальну порожнину, звідки лопатями переганяється в нагнітальну порожнину і фільтр тонкого очищення оливи, потім свердліннями в кришці підводиться до манометра і порожнистим валиком до колінчастого вала для змащування шатунної шийки та подавання оливи до верхньої голівки шатунів по системі каналів. Як фільтр тонкого очищення застосовано автомобільний фільтр масляний W914/2 виробництва MANN з перепускним клапаном.

Надлишок оливи через редуційний клапан, розташований на кришці насоса, каналами в кришці, корпусі, похилими отворами у фланці та корпусі компресора зливається в корпус компресора.




За допомогою редуційного клапана регулюють тиск оливи, що подається маслососом. Роботу системи змащення контролюють за показаннями манометра, перед яким для вимкнення встановлено кран (рис. 1).

Для усунення коливань стрілки манометра (внаслідок пульсуючої подачі оливи насосом) у вузлі манометра застосовано вібростійкий манометр зі штуцером, що має демпферний отвір діаметром 0,5 мм.

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Сполучення внутрішньої порожнини корпусу компресора з атмосферою здійснюється через сапун, що має клапан і фільтрувальну набивку з капронового волокна.

1.2 Технічна характеристика

Найменування параметра		Одиниці виміру	Величина	
Тиск робочий		МПа (кгс/см ²)	0,75...0,9 (7,5...9)	
Частота обертання колінчастого вала		об/хв	850	
Потужність, споживана за кінцевого тиску 0,9 МПа (9 кгс/см ²) і частоти обертання	850 об/хв	кВт	44,1	
	750 об/хв		39,0	
	440 об/хв		22,8	
Продуктивність за протитиску 0,9 МПа (9 кгс/см ²), і частоти обертання	850 об/хв	м /хв³	5,3	
	750 об/хв		4,67	
	440 об/хв		2,75	
Кількість циліндрів	I ступеня (низького тиску)	шт	2	
	II ступеня (високого тиску)		1	
Діаметр циліндрів	I ступені	мм	198	
	II ступені		155	
Хід поршня (дивитися з боку приводу)	лівого циліндра I ступеня		144	
	правого циліндра I ступеня		153	
	циліндра II ступеня	146		
Охолодження	повітряне			
Масло	циркуляційна під тиском і розбризкуванням			
Кількість масла в корпусі компресора		л	10...12	
Тиск масла в системі змащення		МПа	0,15...0,59	
		кгс/см²	(1,5...6)	
Тривалість роботи компресора без зміни масла, не більше (п.4.4)		Годин	300	
Витрата оливи на винесення, не більше		г/год	30	
Температура повітря, що всмоктується компресором		К	від 223 до 338	
		°С	від -50 до +65	
		КТ6	КТ7	КТ6Ел
Габаритні розміри	довжина	мм	760±10	
	ширина		1320±10	1255±10
	висота		1050±10	
Маса (без масла)		кг	610	600
Напрямок обертання (якщо дивитися з боку приводу)		 за годинниковою стрілкою	 Проти годинникової стрілки	 за годинниковою стрілкою

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		18

	Повторно-короткочасний із тривалістю циклу до 10 хв включно	ПВ, ⁰ / ₁₀	50
Режим роботи	Час роботи під навантаженням не повинен перевищувати	хв	15
	Допускається безперервна робота компресора за умови підвищенні тиску від 0,098 до 0,98 МПа (від 1 до 10 кгс/см ²), не більше	хв	30
Привід	Безпосередньо від двигуна внутрішнього згоряння або від електродвигуна будь-якого типу відповідної потужності та відповідною частотою обертання через еластичну або напівжорстку муфти		

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		19

2 ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРА

Для виконання розрахунку конструкції компресора, необхідно спочатку виконати термодинамічний розрахунок для визначення основних термічних та конструктивних параметрів згідно методики, яка наведена в [1, 2].

2.1 Початкові дані

Продуктивність, м ³ /хв, за тиском P = 0,9 МПа та частотою обертання	
- 850 об/хв	5,3
- 750 об/хв	4,67
- 440 об/хв	2,75
Робочий тиск, МПа (кгс/см ²)	0,75...0,9 (7,5...9)
Хід поршня, мм	
- лівого циліндра	144
- правого циліндра	153
- середнього циліндра	146
Частота обертання колінчастого вала, об/хв	440, 750, 850

2.2 Попередній термодинамічний розрахунок (n = 850 об/хв)

Приймається попередньо відношення тисків в ступені $\pi_{ст} = 3,8$. Тоді кількість ступенів компресора

$$z = \frac{\ln \pi_K}{\ln \pi_{СТ}} = \frac{\ln \left(\frac{P_H}{P_{ВС}} \right)}{\ln \pi_{СТ}} = \frac{\ln \left(\frac{900000}{101325} \right)}{\ln 3,8} = 1,64.$$

Приймаємо число ступенів Z = 2.

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Оптимальний проміжний тиск

$$P_{\text{пр}}^* = \sqrt{P_{\text{вс}} \cdot P_{\text{н}}} = \sqrt{101325 \cdot 900000} = 301980 \text{ Па}$$

Тоді теоретичні тиски в першому ступені: $P_{\text{всI}} = 101325 \text{ Па}$,
 $P_{\text{нII}} = 301980 \text{ Па}$;

В другому : $P_{\text{всII}} = 301980 \text{ Па}$, $P_{\text{нII}} = 900000 \text{ Па}$.

Відношення тисків в ступенях

$$\pi_{\text{стI}} = \frac{P_{\text{пр}}^*}{P_{\text{вс}}} = \frac{P_{\text{нI}}}{P_{\text{всI}}} = \frac{301980}{101325} = 2,98$$

$$\pi_{\text{стII}} = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{пр}}^*} = \frac{P_{\text{нII}}}{P_{\text{всII}}} = \frac{900000}{301980} = 2,98$$

Відносні величини депресій на всмоктуванні і нагнітанні по табл. 3.1 [3]:

- для I ступеня при $P_{\text{всI}} = 0,101325 \text{ Па}$: $\delta_{\text{всI}} = 4,5\%$, $\delta_{\text{нI}} = 10,5\%$;

- для II ступеня при $P_{\text{всII}} = 0,301980 \text{ Па}$: $\delta_{\text{всII}} = 3,15\%$, $\delta_{\text{нII}} = 8\%$.

Тоді депресії на всмоктуванні і нагнітанні в першому ступені:

$$\Delta P_{\text{всI}} = \delta_{\text{всI}} P_{\text{всI}} = 0,045 \cdot 101325 = 4560 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{\text{нI}} = \delta_{\text{нI}} P_{\text{нI}} = 0,105 \cdot 301980 = 31708 \text{ Па},$$

в другому ступені:

$$\Delta P_{\text{всII}} = \delta_{\text{всII}} P_{\text{всII}} = 0,0315 \cdot 301980 = 9512 \text{ Па},$$

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\Delta P_{HII} = \delta_{HII} P_{HII} = 0,08 \cdot 900000 = 72000 \text{ Па.}$$

Тоді тиск з урахуванням депресій в першому ступені:

$$P_{BCI}^* = P_{BCI} - \Delta P_{BCI} = 101325 - 4560 = 96765 \text{ Па,}$$

$$P_{HI}^* = P_{HI} + \Delta P_{HI} = 301980 + 31708 = 333688 \text{ Па;}$$

в другому ступені:

$$P_{BCII}^* = P_{BCII} - \Delta P_{BCII} = 301980 - 9512 = 292468 \text{ Па,}$$

$$P_{HII}^* = P_{HII} + \Delta P_{HII} = 900000 + 72000 = 972000 \text{ Па.}$$

Уточнюємо відношення тисків в ступенях

$$\pi_{CTI}^* = \frac{P_{HI}^*}{P_{BCI}^*} = \frac{333688}{96765} = 3,45$$

$$\pi_{CTII}^* = \frac{P_{HII}^*}{P_{BCII}^*} = \frac{972000}{292468} = 3,32$$

Показник еквівалентної політропи стиснення приймається $n_c = 0,95 \cdot \kappa = 0,95 \cdot 1,4 = 1,3$, показник еквівалентної політропи зворотного розширення приймається $n_p = 0,96 \cdot n_c = 0,95 \cdot 1,3 = 1,248$

Величина відносного "мертвого" об'єму приймається $a_m = 5\%$.

Об'ємний коефіцієнт подачі першого ступеня:

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\lambda_{mI} = 1 - a_m \left[\left(\frac{P_{HI} + \Delta P_{HI}}{P_{BCI}} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0,05 \left[\left(\frac{301980 + 31708}{96765} \right)^{\frac{1}{1,2}} - 1 \right]$$

$$= 0,915$$

де m – політропа теплових параметрів, $m = 1 + A \cdot (k - 1) = 1,2$; $A = f(P_{BC})$.

Коефіцієнт дроселювання першого ступеня:

$$\lambda_{дрI} = 1 - \frac{1 + a_m}{\lambda_{mI}} \cdot \frac{\Delta P_{BCI}}{P_{BCI}} = 1 - \frac{1 + 0,05}{0,915} \cdot \frac{4560}{96765} = 0,946$$

Коефіцієнт підігріву першого ступеня

$$\lambda_{\omega I} = 0,985 - 0,01(\pi_{сгI}^* - 1) = 0,985 - 0,01(3,45 - 1) = 0,9605$$

Коефіцієнт густини першого ступеня:

$$\lambda_{плI} = f(\pi_{сml}^*) = 0,98$$

Коефіцієнт густини другого ступеня:

$$\lambda_{плII} = f(\pi_{сmlI}^*) = 0,975$$

Коефіцієнт подачі першого ступеня

$$\lambda_I = \lambda_{mI} \cdot \lambda_{дрI} \cdot \lambda_{\omega I} \cdot \lambda_{плI} \cdot \lambda_{плII} = 0,915 \cdot 0,946 \cdot 0,9605 \cdot 0,98 \cdot 0,975 = 0,794$$

Вологісний коефіцієнт подачі другого ступеня:

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\lambda_{\phi II} = \frac{P_{всI} - \varphi \cdot P_{нпI}}{P_{всI}} = \frac{101325 - 0,75 \cdot 1704}{101325} = 0,987$$

де $P_{нпI} = 1704 \text{ Па}$ - тиск насичених парів на всмоктуванні, [1], стр. 89.

Аналогічно для другого ступеня:

$$\lambda_{мII} = 1 - a_m \left[\left(\frac{P_{нII} + \Delta P_{нII}}{P_{всII}} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0,05 \left[\left(\frac{900000 + 72000}{292468} \right)^{\frac{1}{1,25}} - 1 \right] = 0,916$$

$$\lambda_{дрII} = 1 - \frac{1 + a_m}{\lambda_{мI}} \cdot \frac{\Delta P_{всII}}{P_{всII}} = 1 - \frac{1 + 0,05}{0,916} \cdot \frac{9512}{292468} = 0,963$$

$$\lambda_{\omega II} = 0,985 - 0,01(\pi_{стII}^* - 1) = 0,985 - 0,01(3,32 - 1) = 0,962$$

$$\lambda_{II} = \lambda_{мII} \cdot \lambda_{дрII} \cdot \lambda_{\omega II} \cdot \lambda_{плII} \cdot \lambda_{\phi II} = 0,916 \cdot 0,963 \cdot 0,962 \cdot 0,987 \cdot 0,975 = 0,817$$

Теоретична продуктивність першого ступеня:

$$V_{TI} = \frac{V_{дI}}{\lambda_I} = \frac{5,3}{0,794} = 6,675 \text{ м}^3/\text{ХВ.}$$

Теоретична продуктивність другого ступеня:

$$V_{TII} = \frac{V_{дI}}{\lambda_I} \cdot \frac{P_{всI}}{P_{всII}} \cdot \frac{T_{всII}}{T_{всI}} = \frac{5,3}{0,794} \cdot \frac{96765}{292468} \cdot \frac{308}{293} = 2,323 \text{ м}^3/\text{ХВ.}$$

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

де при повітряному міжступінчастому охолодженні ($\Delta t = 15^\circ C$) температура всмоктування в другий ступінь $T_{ecII} = T_{ecI} + \Delta t = 293 + 15 = 308K$.

2.3 Розрахунок конструктивних параметрів ($n = 850$ об/хв)

Згідно з початковими даними для розрахунків приймаємо ходи поршня та частоту обертання колінчастого вала.

Діаметр циліндра першого ступеня (лівого):

$$D_I = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{TI}}{2 \cdot \pi \cdot S \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,675}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,144 \cdot 14,17 \cdot 60}} = 0,186 \text{ м}$$

Діаметр циліндра першого ступеня (правого):

$$D_I = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{TI}}{2 \cdot \pi \cdot S \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,675}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,153 \cdot 14,17 \cdot 60}} = 0,181 \text{ м}$$

Діаметр циліндра другого ступеня (середнього):

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{TII}}{\pi \cdot S \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,323}{3,14 \cdot 0,146 \cdot 14,17 \cdot 60}} = 0,154 \text{ м}$$

Згідно з даними з технічного завдання, приймаємо діаметри циліндрів першого ступеня $D_I = 198$ мм, другого ступеня $D_{II} = 155$ мм.

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

2.4 Розрахунок потужності приводного електродвигуна (n = 850 об/хв)

Уточнюємо теоретичні продуктивності ступенів:

$$V_{TI} = \frac{\pi D_I^2}{4} S n = \frac{3,14 \cdot (0,198)^2}{4} 0,144 \cdot 14,17 \cdot 60 = 3,768 \text{ м}^3/\text{хв},$$

$$V_{TII} = \frac{\pi D_{II}^2}{4} S n = \frac{3,14 \cdot (0,198)^2}{4} 0,153 \cdot 14,17 \cdot 60 = 4,003 \text{ м}^3/\text{хв},$$

$$V_{TIII} = \frac{\pi D_{III}^2}{4} S n = \frac{3,14 \cdot (0,155)^2}{4} 0,146 \cdot 14,17 \cdot 60 = 2,341 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Індикаторна потужність I ступеня:

$$N_{iI} = P_{icpI} \cdot V_{TI} = 174923 \cdot \frac{3,768 + 4,003}{60} = 19655 \text{ Вт}.$$

Індикаторна потужність II ступеня:

$$N_{iII} = P_{icpII} \cdot V_{TII} = 521327 \cdot \frac{2,341}{60} = 16570 \text{ Вт}.$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_{iI} + N_{iII} = 19655 + 16570 = 36235 \text{ Вт}.$$

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		26

Потужності адіабатного стиснення в першому і другому ступені:

$$N_{адI} = \frac{k}{k-1} \cdot p_{всI} \cdot V_{дI} \cdot \left[\left(\frac{p_{прI} + \Delta p_{прI}}{p_{всI} + \Delta p_{всI}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 101325 \cdot \frac{6,17}{60} \cdot \left[\left(\frac{174923 + 12024}{101325 + 4560} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 7523 \text{ Вт}$$

$$N_{адII} = \frac{k}{k-1} \cdot p_{прII} \cdot V_{дII} \cdot \left[\left(\frac{p_{нII} + \Delta p_{нII}}{p_{прII} + \Delta p_{прII}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 521327 \cdot \frac{1,913}{60} \cdot \left[\left(\frac{900000 + 72000}{521327 + 26170} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 12194 \text{ Вт,}$$

де $V_{дII} = \lambda_{II} \cdot V_{ТII} = 0,817 \cdot 2,341 = 1,913 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}$

$$V_{дI} = \lambda_I \cdot V_{ТИ} = 0,794 \cdot (3,768 + 4,003) = 6,17 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}$$

$$P_{прI} = \sqrt{P_{всI} \cdot P_{нI}} = \sqrt{101325 \cdot 301980} = 174923 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{прI} = \sqrt{\Delta P_{всI} \cdot \Delta P_{нI}} = \sqrt{4560 \cdot 31708} = 12024 \text{ Па,}$$

$$P_{прII} = \sqrt{P_{всII} \cdot P_{нII}} = \sqrt{301980 \cdot 900000} = 521327 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{прII} = \sqrt{\Delta P_{всII} \cdot \Delta P_{нII}} = \sqrt{9512 \cdot 72000} = 26170 \text{ Па.}$$

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Потужність адіабатного стиснення в компресорі:

$$N_{ад} = N_{адI} + N_{адII} = 7523 + 12194 = 19717 \text{ Вт.}$$

Індикаторний ККД компресора:

$$\eta_i = \frac{N_{ад}}{N_i} = \frac{19717}{36235} = 0,544.$$

Знайдемо потужності тертя в ступенях компресора.

$$N_{трI} = p_{трI} \cdot V_{TI} = 20000 \cdot \frac{(3,768 + 4,003)}{60} = 2590 \text{ Вт,}$$

$$N_{трII} = p_{трII} \cdot V_{TII} = 30000 \cdot \frac{2,341}{60} = 1170 \text{ Вт.}$$

Були прийняті тиски тертя: $p_{трI} = 20 \text{ кПа}$ и $p_{трII} = 30 \text{ кПа}$.

Потужність тертя компресора дорівнює:

$$N_{тр} = N_{трI} + N_{трII} = 2590 + 1170 = 3760 \text{ Вт.}$$

Ефективна потужність компресора дорівнює

$$N_e = N_i + N_{тр} = 36235 + 3760 = 39995 \text{ Вт.}$$

Механічний ККД компресора дорівнює

$$\eta_{мех} = \frac{N_i}{N_e} = \frac{39995}{44196} = 0,92.$$

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Ефективний ККД компресора дорівнює

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_{\text{мех}} = 0,544 \cdot 0,92 = 0,5.$$

Потужність приводного електродвигуна дорівнює

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{44196}{0,98} = 45,1 \text{ кВт.}$$

2.5 Попередній термодинамічний розрахунок ($n = 440$ об/хв)

Розрахунок термічних параметрів аналогічний п. 2.2. Відрізняться буде лише значення теоретичної продуктивності.

Теоретична продуктивність першого ступеня:

$$V_{TI} = \frac{V_{DI}}{\lambda_I} = \frac{2,75}{0,794} = 3,46 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

Теоретична продуктивність другого ступеня:

$$V_{TII} = \frac{V_{DI}}{\lambda_I} \cdot \frac{P_{всI}}{P_{всII}} \cdot \frac{T_{всII}}{T_{всI}} = \frac{2,75}{0,794} \cdot \frac{96765}{292468} \cdot \frac{308}{293} = 1,205 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

де при повітряному міжступінчастому охолодженні ($\Delta t = 15^\circ \text{C}$) температура всмоктування в другий ступінь $T_{всII} = T_{всI} + \Delta t = 293 + 15 = 308 \text{K}$.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

2.6 Розрахунок конструктивних параметрів (n = 440 об/хв)

Згідно з початковими даними для розрахунків приймаємо ходи поршня та частоту обертання колінчастого вала.

Діаметр циліндра першого ступеня (лівого):

$$D_I = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{TI}}{2 \cdot \pi \cdot S \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,46}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,144 \cdot 7,33 \cdot 60}} = 0,186 \text{ м}$$

Діаметр циліндра першого ступеня (правого):

$$D_I = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{TI}}{2 \cdot \pi \cdot S \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,46}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,153 \cdot 7,33 \cdot 60}} = 0,181 \text{ м}$$

Діаметр циліндра другого ступеня (середнього):

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{TII}}{\pi \cdot S \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,205}{3,14 \cdot 0,146 \cdot 7,33 \cdot 60}} = 0,154 \text{ м}$$

Згідно з даними з технічного завдання, приймаємо діаметри циліндрів першого ступеня $D_I = 198$ мм, другого ступеня $D_{II} = 155$ мм.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		30

2.7 Розрахунок потужності приводного електродвигуна (n = 440 об/хв)

Уточнюємо теоретичні продуктивності ступенів:

$$V_{TI} = \frac{\pi D_I^2}{4} S n = \frac{3,14 \cdot (0,198)^2}{4} 0,144 \cdot 7,33 \cdot 60 = 1,949 \text{ м}^3/\text{хв},$$

$$V_{TII} = \frac{\pi D_{II}^2}{4} S n = \frac{3,14 \cdot (0,198)^2}{4} 0,153 \cdot 7,33 \cdot 60 = 2,071 \text{ м}^3/\text{хв},$$

$$V_{TIII} = \frac{\pi D_{III}^2}{4} S n = \frac{3,14 \cdot (0,155)^2}{4} 0,146 \cdot 7,33 \cdot 60 = 1,211 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Індикаторна потужність I ступеня:

$$N_{iI} = P_{icpI} \cdot V_{TI} = 174923 \cdot \frac{1,949 + 2,071}{60} = 11720 \text{ Вт}.$$

Індикаторна потужність II ступеня:

$$N_{iII} = P_{icpII} \cdot V_{TII} = 521327 \cdot \frac{1,211}{60} = 10522 \text{ Вт}.$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_{iI} + N_{iII} = 11720 + 10522 = 22242 \text{ Вт}.$$

Потужності адіабатного стиснення в першому і другому ступені:

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$N_{адI} = \frac{k}{k-1} \cdot p_{всI} \cdot V_{дI} \cdot \left[\left(\frac{p_{прI} + \Delta p_{прI}}{p_{всI} + \Delta p_{всI}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 101325 \cdot \frac{3,192}{60} \cdot \left[\left(\frac{174923 + 12024}{101325 + 4560} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 3892 \text{ Вт}$$

$$N_{адII} = \frac{k}{k-1} \cdot p_{прII} \cdot V_{дII} \cdot \left[\left(\frac{p_{нII} + \Delta p_{нII}}{p_{прII} + \Delta p_{прII}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 521327 \cdot \frac{0,989}{60} \cdot \left[\left(\frac{900000 + 72000}{521327 + 26170} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 6304 \text{ Вт,}$$

де $V_{дII} = \lambda_{II} \cdot V_{ТII} = 0,817 \cdot 1,211 = 0,989 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}$

$$V_{дI} = \lambda_I \cdot V_{ТИ} = 0,794 \cdot (1,949 + 2,071) = 3,192 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}$$

$$P_{прI} = \sqrt{P_{всI} \cdot P_{нI}} = \sqrt{101325 \cdot 301980} = 174923 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{прI} = \sqrt{\Delta P_{всI} \cdot \Delta P_{нI}} = \sqrt{4560 \cdot 31708} = 12024 \text{ Па,}$$

$$P_{прII} = \sqrt{P_{всII} \cdot P_{нII}} = \sqrt{301980 \cdot 900000} = 521327 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{прII} = \sqrt{\Delta P_{всII} \cdot \Delta P_{нII}} = \sqrt{9512 \cdot 72000} = 26170 \text{ Па.}$$

Потужність адіабатного стиснення в компресорі:

$$N_{ад} = N_{адI} + N_{адII} = 3892 + 6304 = 10916 \text{ Вт.}$$

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Індикаторний ККД компресора:

$$\eta_i = \frac{N_{ад}}{N_i} = \frac{10916}{22242} = 0,49.$$

Знайдемо потужності тертя в ступенях компресора.

$$N_{трI} = p_{трI} \cdot V_{TI} = 20000 \cdot \frac{(1,949 + 2,071)}{60} = 1340 \text{ Вт},$$

$$N_{трII} = p_{трII} \cdot V_{TII} = 30000 \cdot \frac{1,211}{60} = 605,5 \text{ Вт}.$$

Були прийняті тиски тертя: $p_{трI} = 20 \text{ кПа}$ и $p_{трII} = 30 \text{ кПа}$.

Потужність тертя компресора дорівнює:

$$N_{тр} = N_{трI} + N_{трII} = 1340 + 605,5 = 1945,5 \text{ Вт}.$$

Ефективна потужність компресора дорівнює

$$N_e = N_i + N_{тр} = 22242 + 1945,5 = 24187,5 \text{ Вт}.$$

Механічний ККД компресора дорівнює

$$\eta_{мех} = \frac{N_i}{N_e} = \frac{22242}{24187} = 0,92.$$

Ефективний ККД компресора дорівнює

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_{\text{мех}} = 0,49 \cdot 0,92 = 0,45.$$

Потужність приводного електродвигуна дорівнює

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{24187}{0,98} = 24,7 \text{ кВт.}$$

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		34

3 ДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРА

Розрахунок виконуємо за методикою, яка наведена в [1] для двох режимів роботи компресора. Перший режим – частота обертання становить 850 об/хв, другий режим – 440 об/хв. За наданими замовником даними, маса рухомих деталей 1 ступеня становить 10,86 кг, для 2 ступеня – 8,04 кг. При цьому маса шатуна становить 4,3 кг для кожного ряду.

3.1 Розрахунок першого режиму

Початкові дані для розрахунку занесені до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Початкові дані для перевірного розрахунку за першим режимом ($n = 850$ об/хв)

Параметр	Значення
$\rho_{вс}, \text{кгс/см}^2$	1,03
$\rho_n, \text{кгс/см}^2$	9
$T_{вс1}, \text{К}$	293
$T_{вс2}, \text{К}$	308
$D_1, \text{м}$	0,198
a_1	0,1
$D_2, \text{м}$	0,155
a_2	0,1
E_1	3,1456
$T_1, \text{К}$	406,5
E_2	2,7793
$T_2, \text{К}$	412,4

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		35

Таблиця 3.2 – Результати термодинамічного розрахунку за першим режимом ($n = 850$ об/хв)

$V_{вс}, \text{м}^3/\text{хв}$	5,2623
$V_0, \text{нм}^3/\text{хв}$ (за н. у.)	4,8868
$N_k, \text{кВт}$	39,9833
$P_{г1}, \text{кГс}$	793,3383
$P_{г2}, \text{кГс}$	1650,8998
$P_{г3}, \text{кГс}$	793,3383

Результати розрахунку поршневої сили за першим режимом ($n = 850$ об/хв) наведені в таблиці 3.

$p_{вс}$ – тиск всмоктування

p_n – тиск нагнітання

$T_{вс1}$ – температура всмоктування першого ступеня

$T_{вс2}$ – температура всмоктування другого ступеня

D_1 – діаметр циліндра першого ступеня

a_1 – величина мертвого об'єму першого ступеня

D_2 – діаметр циліндра другого ступеня

a_2 – величина мертвого об'єму другого ступеня

E_1 – степінь підвищення тиску в першому ступені

T_1 – температура нагнітання після першого ступеня

E_2 – степінь підвищення тиску в другому ступені

T_2 – температура нагнітання після другого ступеня

$V_{вс}$ – продуктивність за умовами всмоктування

V_0 – продуктивність за нормальних умов

N_k – потужність компресора

$P_{г1}$ – величина газової сили в першому ряду

$P_{г2}$ – величина газової сили в другому ряду

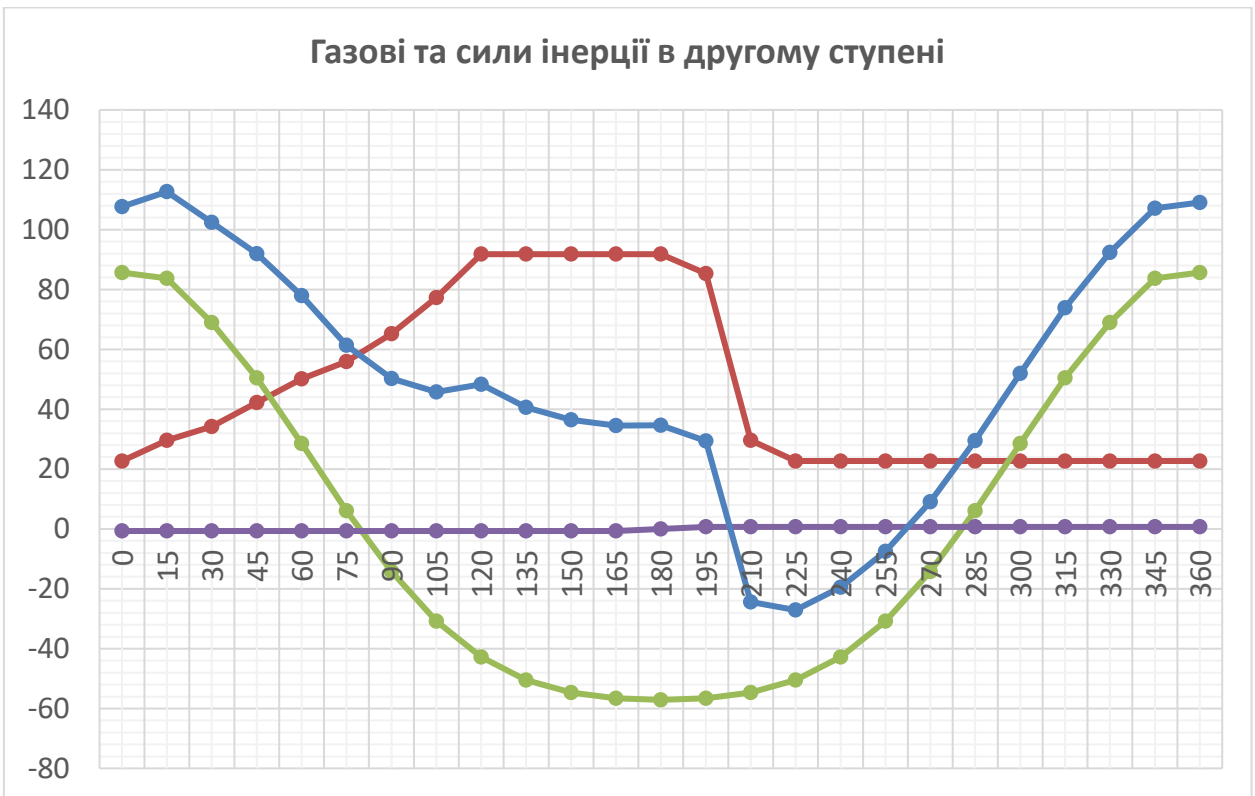
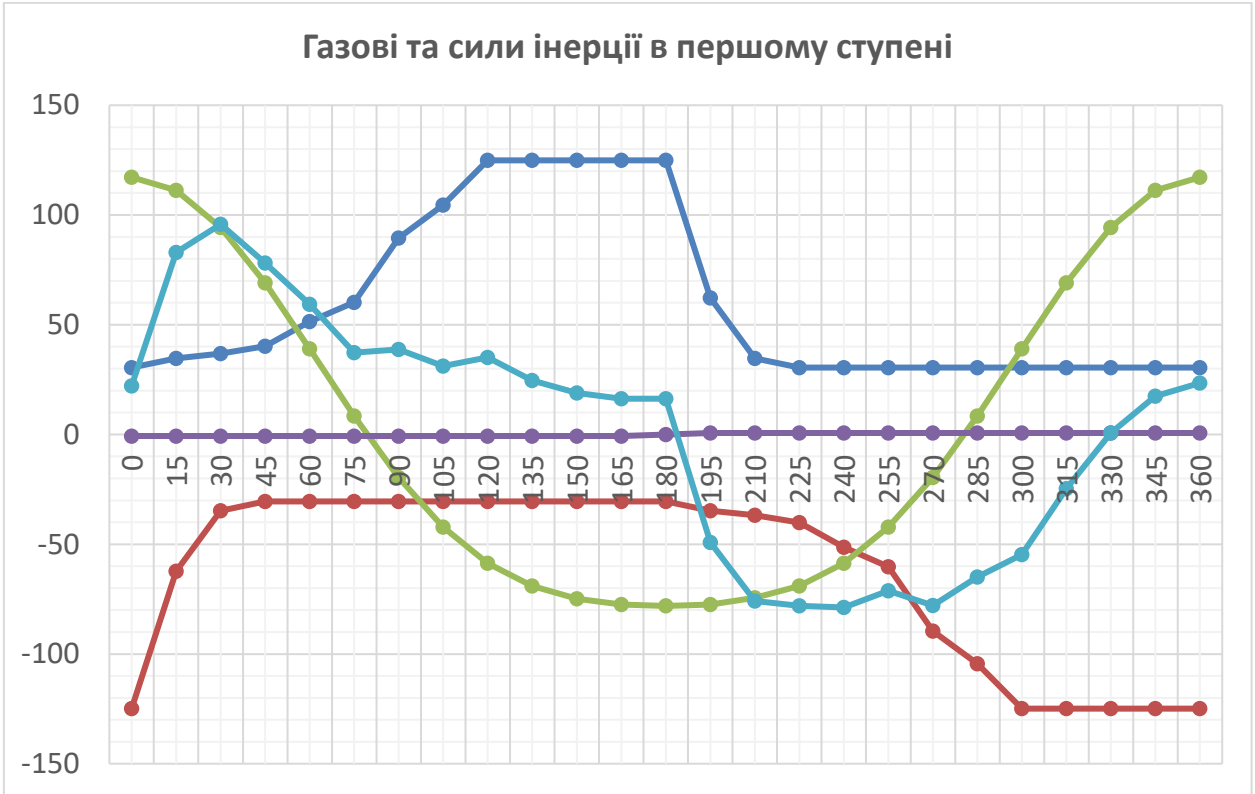
					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

П_{г3} – величина газової сили в третьому ряду

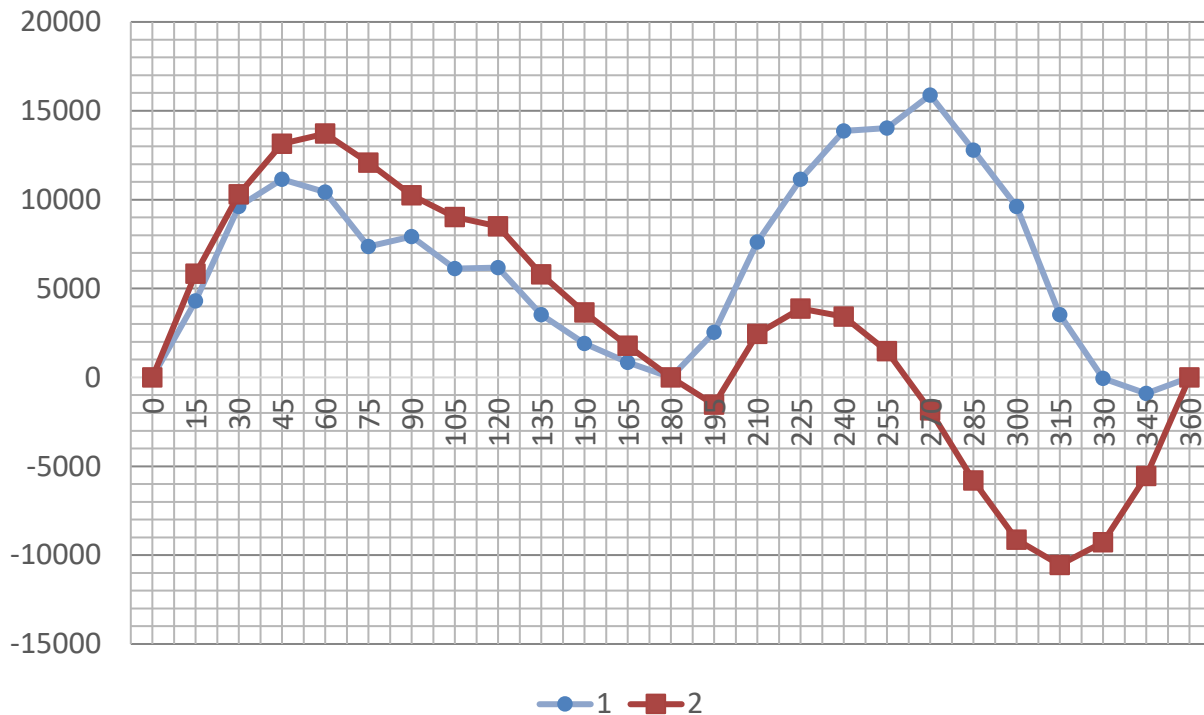
Таблиця 3.3 - Результати розрахунку поршневої сили за першим режимом (n = 850 об/хв)

Кут повороту колінчастого вала, град.	Поршнева сила в 1 ряду, МН	Поршнева сила в 3 ряду, МН
0	0,00125	-0,00917
15	0,00299	-0,00575
30	0,00504	-0,00107
45	0,00526	0,00044
60	0,00336	-0,00128
75	0,00108	-0,00304
90	-0,00097	-0,00462
105	-0,00262	-0,00589
120	-0,00380	-0,00680
135	-0,00453	-0,00736
150	-0,00492	-0,00766
165	-0,00508	-0,00779
180	-0,00582	-0,00852
195	-0,00583	-0,00858
210	-0,00582	-0,00877
225	-0,00574	-0,00907
240	-0,00551	-0,00948
255	-0,00514	-0,01015
270	-0,00482	-0,01148
285	-0,00505	-0,01436
300	-0,00528	-0,01436

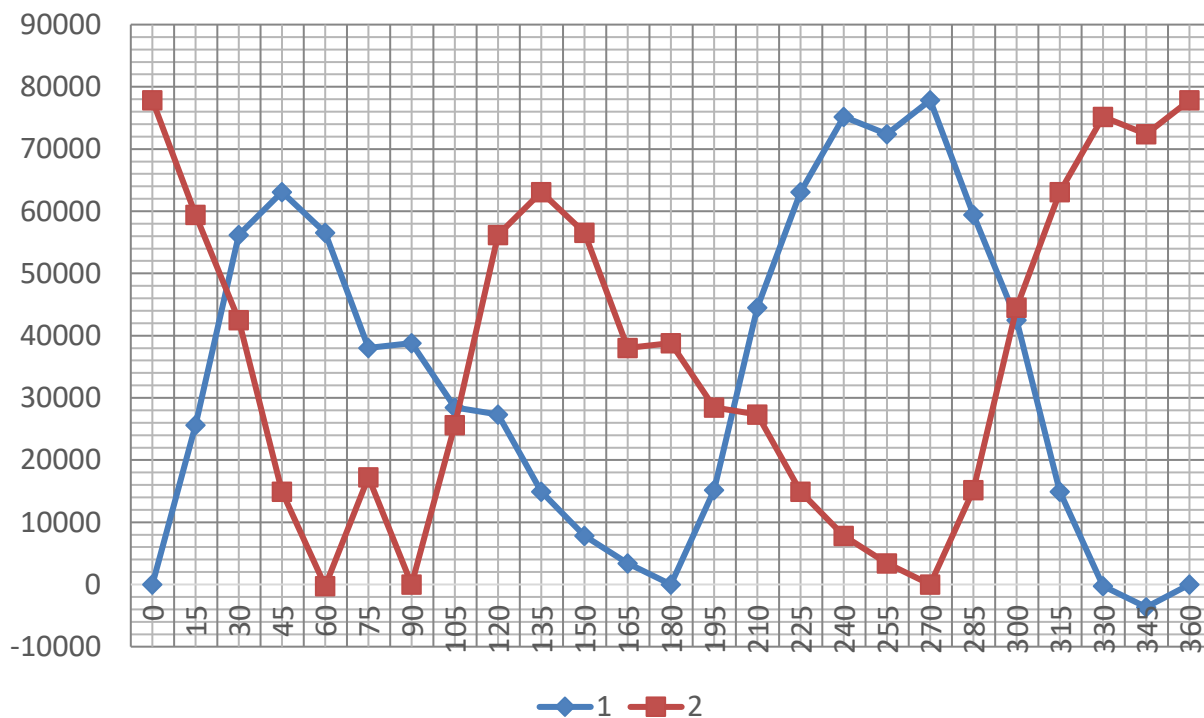
315	-0,00305	-0,01264
330	-0,00116	-0,01118
345	0,00011	-0,01021



Діаграма нормальних сил за ступенями

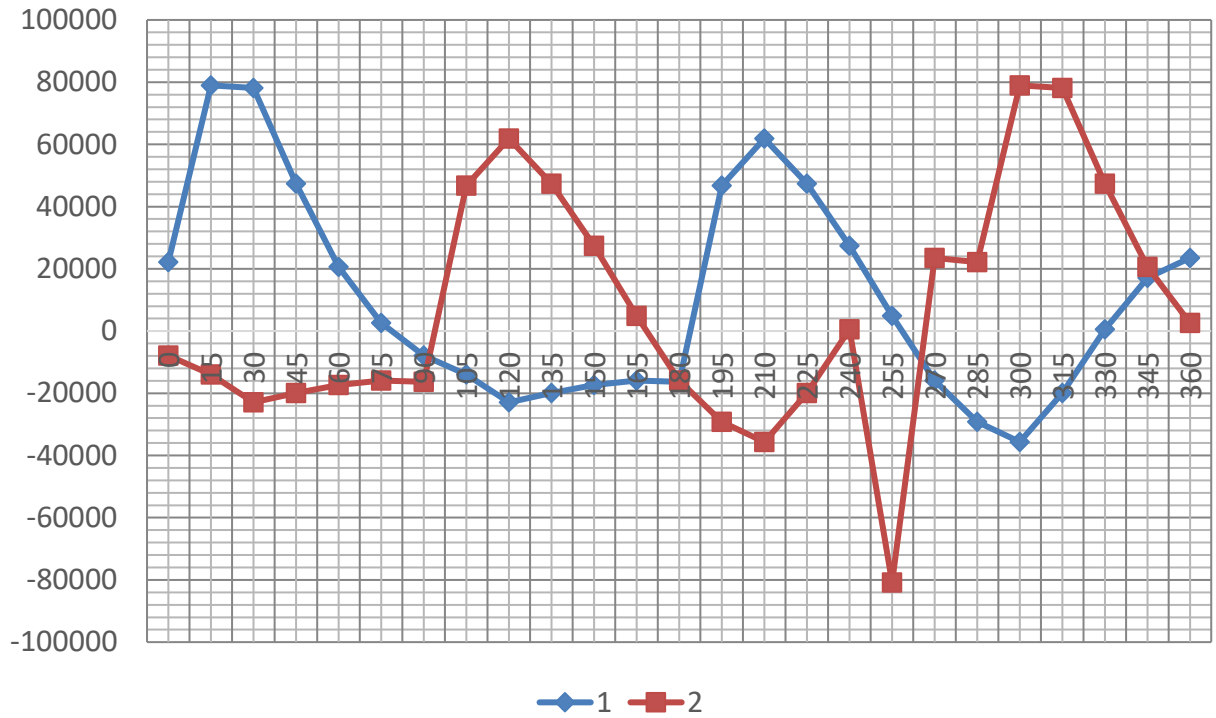


Діаграма тангенціальних сил за ступенями

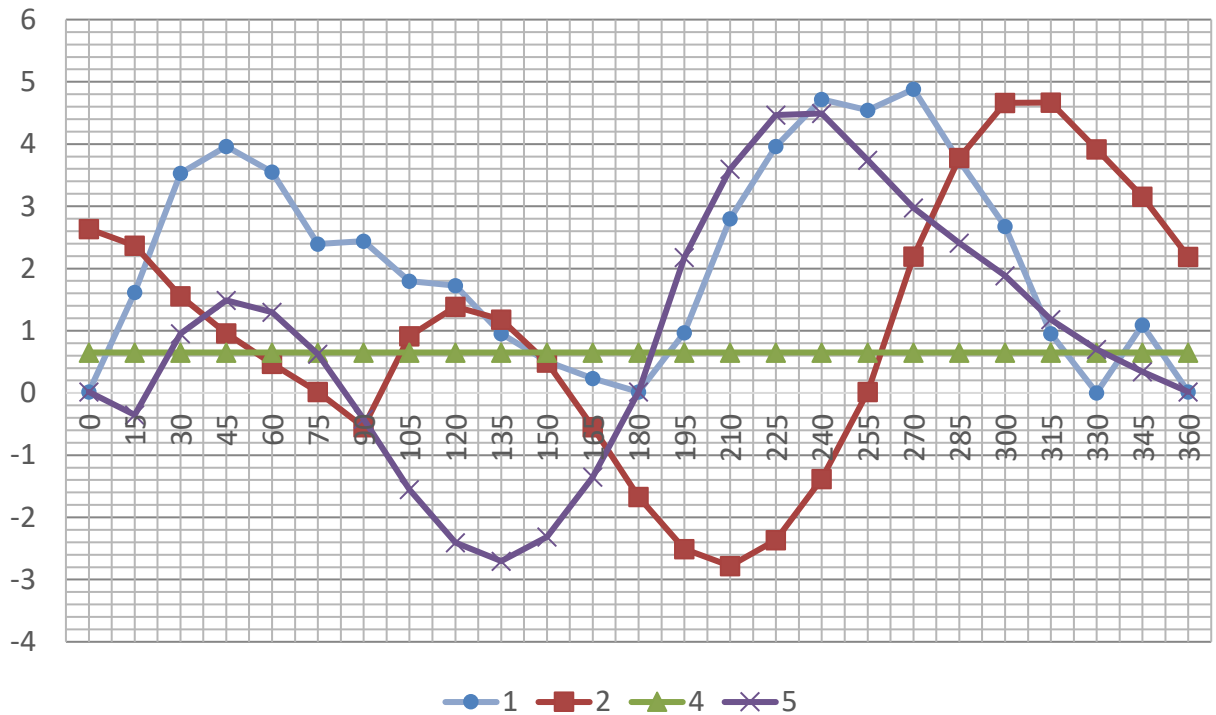


Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Діаграма радіальних сил за ступенями



Діаграма сумарного моменту



Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

3.2 Розрахунок другого режиму

Початкові дані для розрахунку занесені до табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Початкові дані для перевірного розрахунку за другим режимом ($n = 440$ об/хв)

Параметр	Значення
$\rho_{вс}, \text{кгс/см}^2$	1,03
$\rho_n, \text{кгс/см}^2$	9
$T_{вс1}, \text{К}$	293
$T_{вс2}, \text{К}$	308
$D_1, \text{м}$	0,198
a_1	0,1
$D_2, \text{м}$	0,155 / 0,1
a_2	0,1
E_1	3,1456
$T_1, \text{К}$	406,5076
E_2	2,7793
$T_2, \text{К}$	412,4672

Таблиця 3.5 – Результати термодинамічного розрахунку за другим режимом ($n = 440$ об/хв)

$V_{вс}, \text{м}^3/\text{хв}$	5,2623
$V_0, \text{нм}^3/\text{хв}$ (за н. у.)	4,8868
$N_k, \text{кВт}$	39,9833
$\Pi_{r1}, \text{кгс}$	793,3383
$\Pi_{r2}, \text{кгс}$	1650,8998
$\Pi_{r3}, \text{кгс}$	793,3383

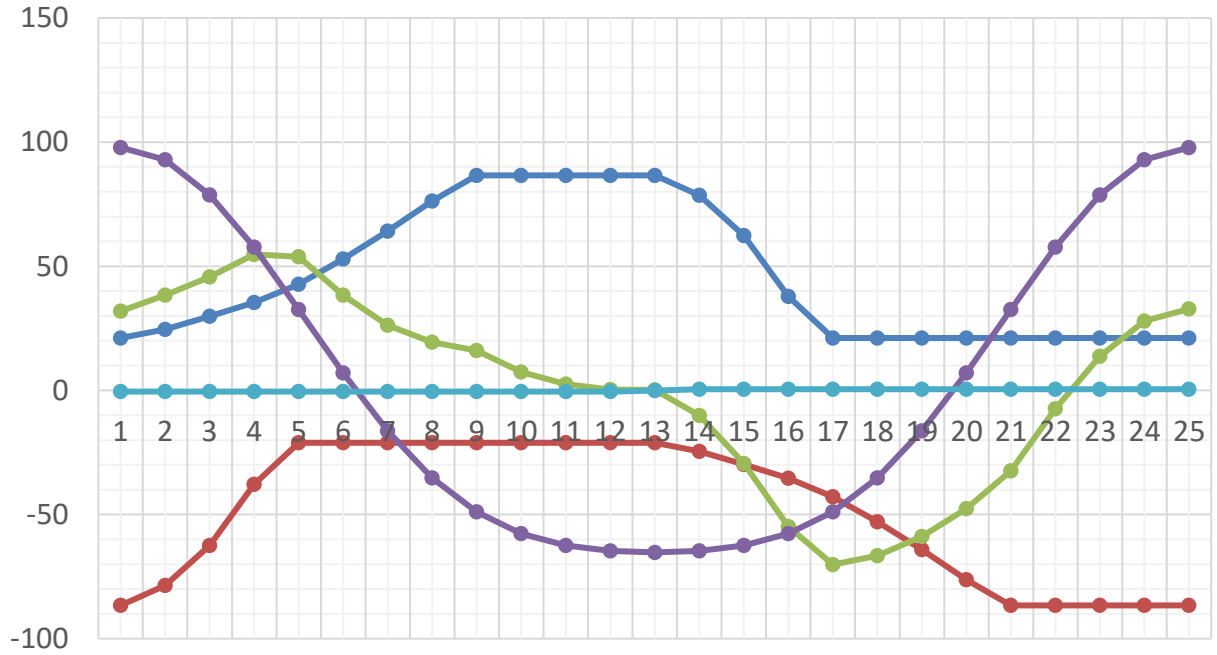
Результати розрахунку поршневої сили за першим режимом (n = 850 об/хв) наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Результати розрахунку поршневої сили за другим режимом (n = 440 об/хв)

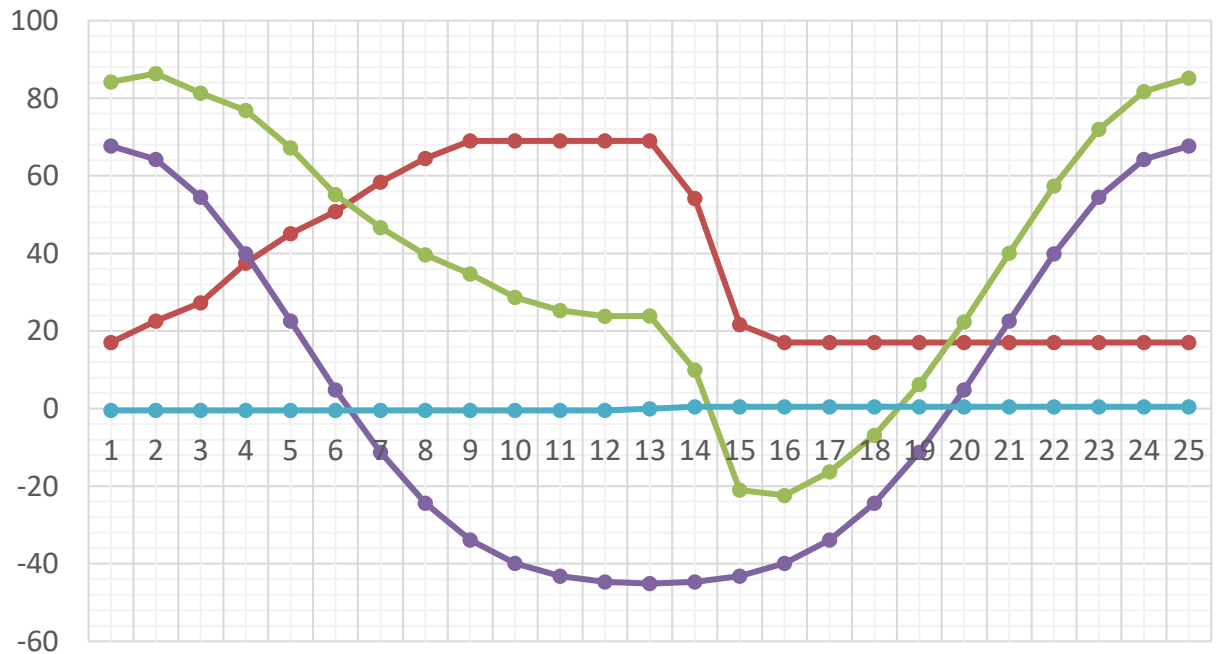
Кут повороту колінчастого вала, град.	Поршнева сила в 1 ряду, МН	Поршнева сила в 3 ряду, МН
0	-0,00441	-0,01302
15	-0,00248	-0,00957
30	0,00028	-0,00451
45	0,00174	-0,00269
60	0,00114	-0,00315
75	0,00054	-0,00362
90	-0,00001	-0,00404
105	-0,00046	-0,00438
120	-0,00077	-0,00462
135	-0,00097	-0,00478
150	-0,00107	-0,00485
165	-0,00112	-0,00489
180	-0,00178	-0,00555
195	-0,00182	-0,00564
210	-0,00194	-0,00594
225	-0,00216	-0,00648
240	-0,00248	-0,00734
255	-0,00301	-0,00875
270	-0,00395	-0,01112
285	-0,00578	-0,01535

300	-0,00662	-0,01488
315	-0,00602	-0,01441
330	-0,00552	-0,01402
345	-0,00518	-0,01376

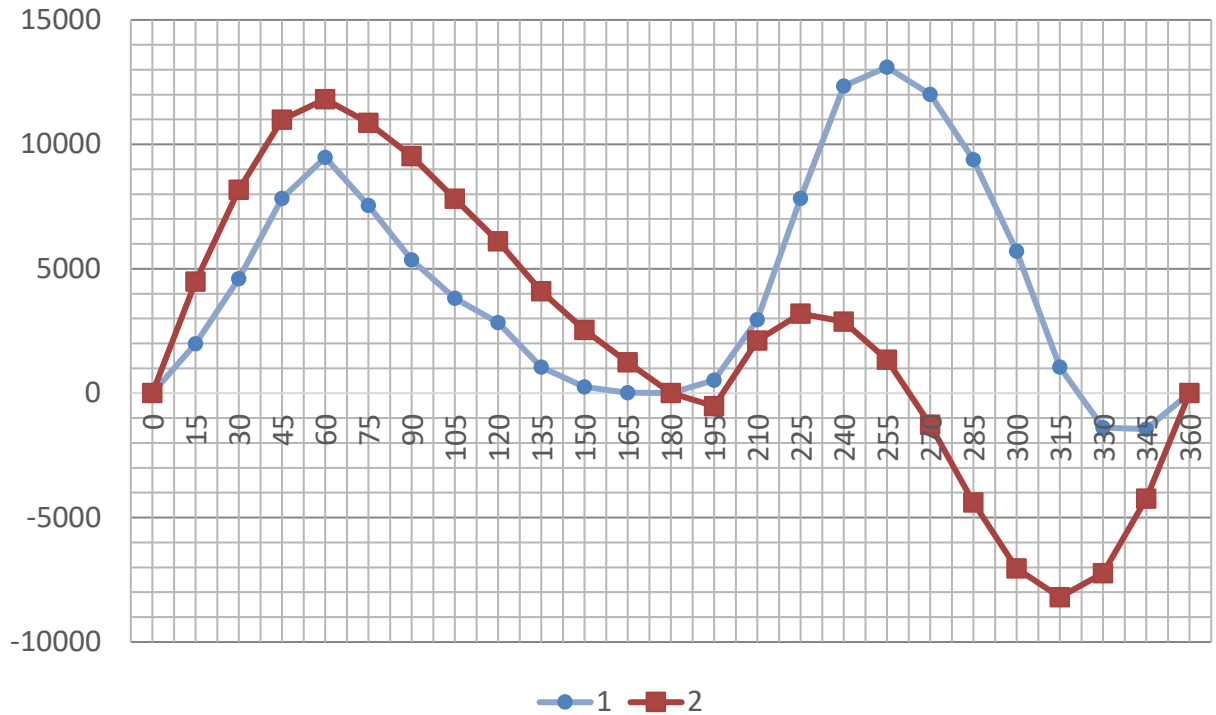
Газові та сили інерції в першому ступені



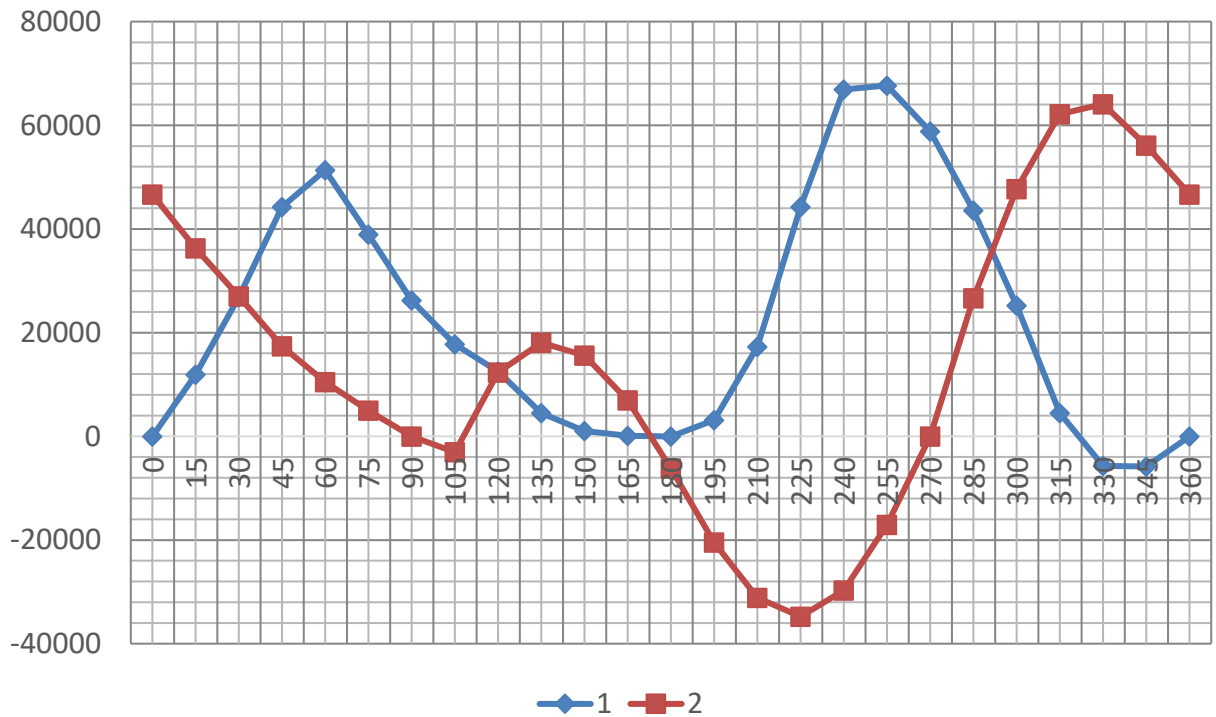
Газові та сили інерції в другому ступені



Діаграма нормальних сил



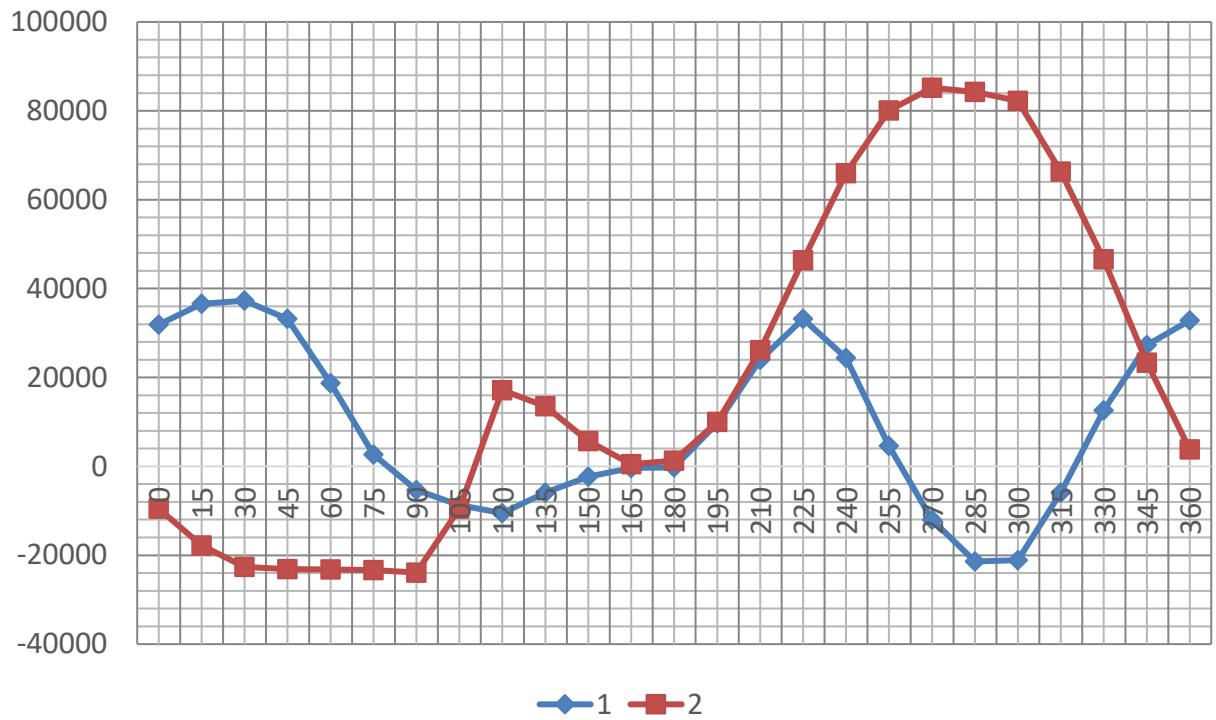
Діаграма тангенціальних сил



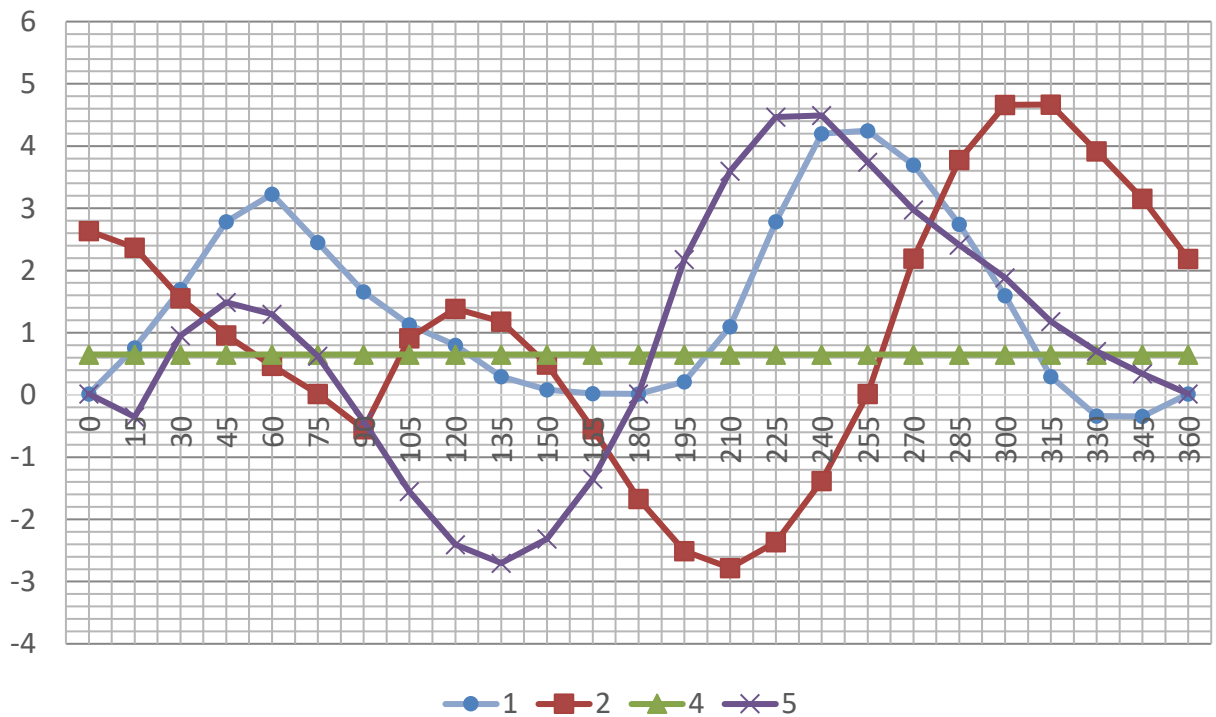
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

M142з 01.00.00.00 ПЗ

Діаграма радіальних сил



Діаграма сумарного моменту



Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

M142з 01.00.00.00 ПЗ

4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОМПРЕСОРА

4.1 Перевірний розрахунок днища поршня

Днище поршня розраховуємо як круглу плиту, що затиснену по периметру.

Розрахункове напруження згинання

$$\sigma_u = 0,68 \cdot p \cdot \frac{r^2}{\delta^2},$$

де $p = 1,17 \cdot 10^6 - 10^5 = 1,07 \cdot 10^6 \text{ Па}$ – максимальний надлишковий тиск;

r – радіус затиснення днища поршня;

$$r = D - \delta_{cm} = 0,065 - 0,008 = 0,057 \text{ м},$$

де $\delta_{cm} = 0,008 \text{ м}$ – товщина стінки днища.

$$\sigma_u = 0,68 \cdot 1,07 \cdot \frac{0,057^2}{0,008^2} = 37 \text{ МПа}.$$

Для сталі 40X $[\sigma_u] = 700 \text{ МПа}$ тоді $\frac{[\sigma_u]}{n} = \frac{700}{3} = 233,3 \text{ МПа} > \sigma_u = 37 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується.

4.2 Перевірний розрахунок поршневого пальця

Поршневий палець (рис. 10.2.1) розраховується як балка на двох опорах з рівномірно розподіленим навантаженням по довжині шатунного підшипника.

Напруження у пальці

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{W},$$

де $M_{изг}$ – максимальний згинаючий момент у середньому перерізі пальця;

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

W – момент опору згинанню.

Максимальний згинаючий момент у середньому перерізі пальця

$$M_{изг} = \frac{P_{\Gamma}}{2} \cdot \left(\frac{b}{2} + \frac{a}{2} \right) - \frac{P_{\Gamma}}{2} \cdot \frac{c}{4},$$

де P_{Γ} – газова сила.

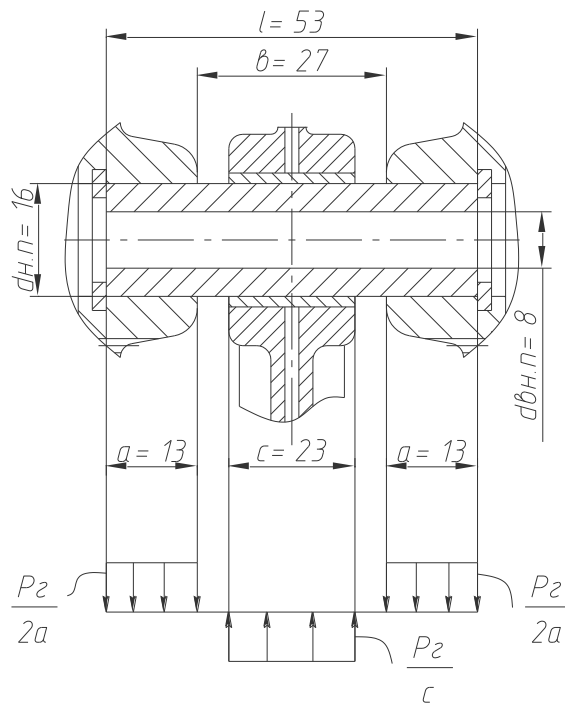


Рисунок 4.1 – Ескіз кріплення поршневого пальця і епюра навантажень

$$P_{\Gamma} = p_{\kappa} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1.17 \cdot \frac{\pi \cdot 0,065^2}{4} = 3,88 \cdot 10^{-3} \text{ МН} = 3880 \text{ Н};$$

$$M_{изг} = \frac{3880}{2} \cdot \left(\frac{0,027}{2} + \frac{0,013}{2} \right) - \frac{3880}{2} \cdot \frac{0,023}{4} = 27,645 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору згинанню

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_{нар.п}^4 - d_{вн.п}^4}{d_{нар.п}} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(16 \cdot 10^{-3})^4 - (8 \cdot 10^{-3})^4}{16 \cdot 10^{-3}} = 3,77 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3;$$

$$\sigma = \frac{27,645}{3,77 \cdot 10^{-7}} = 7,34 \cdot 10^7 \text{ Па} = 73,4 \text{ МПа}.$$

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Для сталі 40Х $[\sigma_{ep}] = 1500 \text{ МПа}$ тоді

$$\frac{[\sigma_{ep}]}{n} = \frac{1500}{3} = 500 \text{ МПа} > \sigma = 73,4 \text{ МПа}.$$

Тут $n = 2 \dots 3$ – коефіцієнт запасу міцності.

Умова міцності виконується.

4.3 Міцнісний розрахунок шатунних гвинтів

Шатунні гвинти перевіряються на розрив під впливом максимальних сил інерції $J_{ПС.маx}$ поршня і шатуна та зусилля затяжки $T_{зат}$.

Розриваюче напруження σ_p дорівнює

$$\sigma_p = \frac{J_{ПС.маx} + z'_y + T_{зат}}{i \cdot f},$$

де $i = 2$ – число гвинтів;

f – найменша площа перерізу гвинта;

z'_y – розтягуюче зусилля від сили інерції

$$z'_y = m'_{ш} \cdot \omega^2 \cdot R;$$

$$m'_{ш} = \frac{2}{3} \cdot m_{ш} \cdot (0,35 \dots 0,4) = \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot 0,37 = 0,245 \text{ кг},$$

де $m_{ш} \approx 1 \text{ кг}$ – маса шатуна.

Радіус кривошипну

$$R = \frac{S}{2} = \frac{0,05}{2} = 0,025 \text{ м}.$$

Кутова швидкість обертання валу компресора

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 16,67 = 104,7 \text{ c}^{-1};$$

$$z'_y = 0,245 \cdot 104,7^2 \cdot 0,025 = 67,2 \text{ H};$$

$$J'_{PC \max} = 0,466 \text{ кН};$$

$$f = \frac{\pi \cdot 0,007^2}{4} = 3,848 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ (для різі М8)};$$

$$T_{\text{зат}} = 2,7 \cdot (466 + 67,2) = 1440 \text{ Н};$$

$$\sigma_p = \frac{466 + 67,2 + 1440}{2 \cdot 3,848 \cdot 10^{-5}} = 25,64 \cdot 10^6 \text{ Па} = 25,64 \text{ МПа}.$$

Для сталі 40Х межа текучості складає $\sigma_T = 600 \text{ МПа}$, тоді запас міцності

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_p} = \frac{600}{25,64} = 23,4, \text{ що досить задовільно.}$$

4.4 Перевірний розрахунок сальникового ущільнення

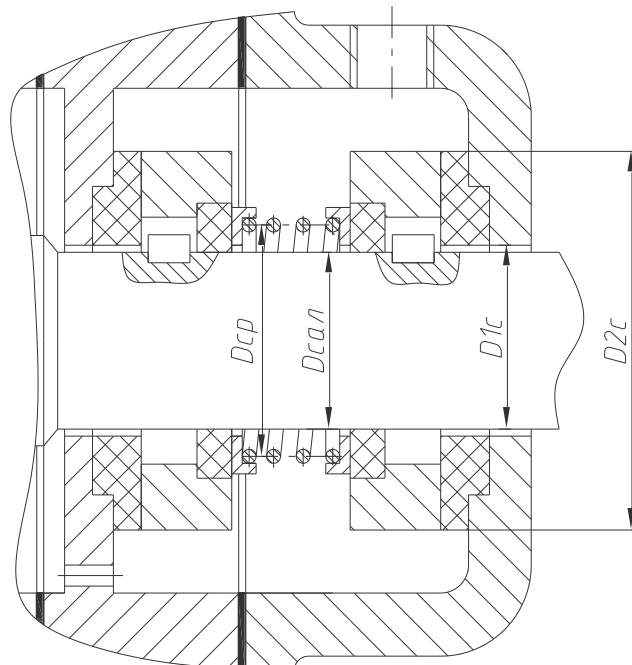


Рисунок 4.2 – Ескіз сальникового ущільнення

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Характерні розміри сальника вибираємо з креслення (див. рис 2.2):

$$D_{cal} = 25\text{мм}; d_{1c} = 26\text{мм}; d_{2c} = 54\text{мм}.$$

Мінімальний питомий тиск на ущільнюючих поверхнях

$$q_{np} = 0,196\text{МПа}.$$

Для розрахунку пружин сальника питомий тиск $q_c = 0,392\text{МПа}$.

Зусилля, що створюється однією пружиною

$$P_{np1} = \frac{\pi}{4} (d_{2c}^2 - d_{1c}^2) \cdot \frac{q_c}{z_{np}},$$

де $z_{np} = 12...15$ – кількість пружин;

$$P_{np1} = \frac{\pi}{4} \left((54 \cdot 10^{-3})^2 - (26 \cdot 10^{-3})^2 \right) \cdot \frac{0,392}{14} = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{МН}.$$

Середній діаметр пружини $D_{cp} = 32\text{мм}$.

Діаметр пружинного дроту $d_{3c} = 0,002\text{м}$.

Загальна кількість витків $n_{обц} = 2,5$.

Робоча кількість витків $n_p = 2$.

Вільна довжина пружини $l_{св} = 0,03\text{м}$.

Модуль пружності при крученні $\sigma = 7,85 \cdot 10^4 \text{МПа}$.

Деформація пружини

$$\psi_{np} = \frac{8 \cdot (D_{cp})^3 \cdot P_{np1} \cdot n_p}{\sigma \cdot (d_{3c})^4};$$

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\psi_{np} = \frac{8 \cdot (32 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 4,9 \cdot 10^{-5} \cdot 2}{7,85 \cdot 10^4 \cdot (0,002)^4} = 0,02 \text{ м.}$$

Зусилля пружини при деформації

$$P_{np} = \kappa \cdot \psi_{np} = 0,28 \cdot 0,02 = 0,0057 \text{ МН,}$$

де $\kappa = 0,28$ – коефіцієнт деформації.

Робоча довжина пружини

$$l_{раб} = l_{св} - \psi_{np} = 0,03 - 0,02 = 0,01 \text{ м.}$$

Максимальна деформація

$$\psi_{max} = l_{св} - n_{обц} \cdot d_{3c} = 0,03 - 2,5 \cdot 0,002 = 0,025 \text{ м.}$$

Робоче напруження

$$\tau_{раб} = \frac{8 \cdot P_{np1} \cdot D_{cp}}{\pi \cdot (d_{3c})^3} = \frac{8 \cdot 4,9 \cdot 10^{-5} \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,002^3} = 499 \text{ МПа.}$$

Максимальне напруження

$$\tau_{max} = \tau_{раб} \cdot \frac{\psi_{max}}{\psi_{np}} = 499 \cdot \frac{0,025}{0,02} = 623,75 \text{ МПа.}$$

Допустиме зношування $\delta_{mp} = 0,004 \text{ м.}$

Деформація при зношуванні

$$\psi'_{np} = \psi_{np} - \delta_{mp} = 0,02 - 0,004 = 0,016 \text{ м.}$$

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Робоче зусилля

$$P'_{np} = P_{np1} \cdot \frac{\psi'_{np}}{\psi_{np}} = 4,9 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,016}{0,02} = 3,92 \cdot 10^{-5} \text{ МН} .$$

Питомий тиск при допустимому зношуванні

$$q'_c = \frac{P'_{np} \cdot z_{np}}{\frac{\pi}{4}(d_{2c}^2 - d_{1c}^2)} = \frac{3,92 \cdot 10^{-5} \cdot 14}{\frac{\pi}{4} \left[(54 \cdot 10^{-3})^2 - (26 \cdot 10^{-3})^2 \right]} = 0,312 \text{ МПа} .$$

Так як виконується умова по зусиллю $q'_c < q_c$ ($0,312 < 0,392$) виконується, то спроектоване сальникове ущільнення є працездатним і надійним.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		52

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

3.1. Загальні вказівки

Під час експлуатації компресора необхідно керуватися цим посібником з експлуатації та технічною документацією.

До експлуатації компресора допускаються особи, які вивчили цю інструкцію, пройшли навчання за спеціальною програмою і мають підтверджувальний документ.

Для змащення компресора допускається застосовувати тільки рекомендовані оливи.

Перевірка справності та дії запобіжного клапана і манометра повинні проводитися відповідно до "Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском".

Примітка. Перед введенням компресора в експлуатацію необхідно провести перевірку манометра згідно з чинними правилами.

3.2. Заходи безпеки

Перед пуском компресора відрегулюйте й опломбуйте запобіжні клапани на холодильнику компресора і нагнітальному трубопроводі, а також перевірте справність огорожі вентилятора і муфти приводу.

Не допускайте роботу компресора в середовищі агресивних і вибухонебезпечних газів і парів. Під час роботи компресора забороняється:

- ✓ регулювати і вивертати запобіжні клапани;
- ✓ регулювати тиск оливи в системі змащення редукційним клапаном маслососа;
- ✓ регулювати натяг ременя приводу вентилятора;
- ✓ заправляти компресор маслом і виймати маслопоказчик;
- ✓ проводити обтирання й очищення поверхонь компресора.

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

3.3. Експлуатація

Нормальна тривала робота компресора може бути забезпечена тільки за умови відповідного догляду за ним, що полягає в дотриманні передбачених технічною характеристикою параметрів його роботи; уважному щоденному спостереженні за станом і роботою компресора та його вузлів; своєчасному усуненні несправностей та вжитті профілактичних заходів для їх запобігання; виконанні вимог цієї настанови з експлуатації.

У процесі експлуатації стежте за збереженням встановленої величини зазорів між сполученими рухомими деталями компресора, тому що при збільшених зазорах починається прискорений знос деталей. Збільшення зазорів супроводжується появою стукотів і одночасним зниженням тиску масла в компресорі.

Під час встановлення компресора на локомотиві дотримуйтеся таких правил:

Застосовуйте муфту для приводу компресора, яка унеможливила б передачу додаткових навантажень на колінчастий вал компресора.

Напрямок обертання колінчастого вала (дивитися з боку приводу) має бути: у компресорів КТ6 і КТ6 Ел за годинниковою стрілкою, у компресора КТ7 - проти годинникової стрілки. Робота компресора з протилежним напрямком обертання колінчастого вала не допускається.

Нагнітальний трубопровід від компресора до першого повітряного резервуара виконуйте з труб із внутрішнім діаметром не менше 50 мм.

На нагнітальному трубопроводі від компресора до першого повітряного резервуара встановіть один або кілька запобіжних клапанів, пропускна спроможність яких має бути не меншою за продуктивність компресора.

Запобіжні клапани відрегулюйте на тиск 1,02 +0,03 МПа (10,2 +0,3 кгс/см²) і опломбуйте їх.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		54

Для полегшення повертання колінчастого вала використовуйте спеціальний ключ із плечем 0,5м-0,8м, при цьому навантаження має бути не менше 10-20 кгс. Після тривалого зберігання компресора повертання колінчастого вала може бути ускладнене, що не є дефектом компресора.

У повітряну систему ввімкніть регулятор або пневмореле, які забезпечували б переведення компресора на холостий хід (під час вимкнення електродвигуна) у разі підвищення тиску в головних резервуарах до $0,9 \pm 0,02$ МПа ($9 \pm 0,2$ кгс/см²) і вмикали б його в роботу під навантаженням у разі падіння тиску в резервуарах до $0,75 \pm 0,02$ МПа ($7,5 \pm 0,2$ кгс/см²).

Підготовка до пуску

Перевірте рівень оливи в корпусі компресора, який має бути між рисками на оливо-показчику. За необхідності долийте або залийте в компресор масло до норми.

Примітка. 1. Оливу заливайте через лійку із сіткою, розмір комірок у світлі якої має бути не більше 0,45 мм.

Для змащення застосовуйте оливи, дозволені цим посібником з експлуатації, оскільки застосування інших олив може спричинити підвищене нагароутворення на клапанах або повне стікання оливи зі стінок циліндрів.

Температура оливи в компресорі перед пуском має бути не нижче +15°C.

Огляньте компресор для виявлення течі мастила, стан кріплень, з'єднань тощо.

Після тривалого зберігання компресора для забезпечення масляного затвора в маслonaсосі необхідно провести доливання оливи в отвір кришки маслonaсоса до появи оливи, попередньо викрутивши вузол манометра.

Під час заміни фільтра тонкого очищення оливи необхідно перед встановленням заповнити його чистою компресорною оливою.

Пуск

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Після монтажу під час першого пуску компресор має працювати 10...15 хв за відкритих кранів на головних повітряних резервуарах. Після цього крани мають бути закриті і компресор переведений на роботу під навантаженням.

Примітка. Надалі пуск компресора при відкритих кранах головних резервуарів не потрібен.

Під час кожного пуску компресора:

- ✓ відкрийте зливні крани і продуйте холодильник;
- ✓ за манометром, встановленим на компресорі, перевірте тиск мастила, який має бути 0,15...0,6 МПа (1,5...6кгс/см²) (компресор має бути прогрітий).

Примітка. 1 Кран манометра нормально має бути закритий. Кран відкривайте тільки при перевірці тиску масла.

За необхідності регулювання величини тиску проводьте тільки на прогрітому зупиненому компресорі, затискаючи або відпускаючи пружину редукційного клапана масляного насоса (рис. 7, поз. 8).

- ✓ переконайтеся у відсутності сторонніх шумів і стукотів;
- ✓ контролюйте час, необхідний для нагнітання повітря в головні резервуари до необхідного тиску; такий контроль необхідний для визначення продуктивності компресора і режиму його роботи.

- ✓ перевірте спрацьовування запобіжного клапана шляхом його підриву за наявне кільце клапана.

Примітка. У разі якщо компресор не відповідає жодній з вищевикладених вимог, зупиніть його, з'ясуйте причину ненормальної роботи та усуньте її.

Контроль під час роботи

Робота компресора супроводжується шумом певної низької тональності. З переходом компресора з робочого на холостий хід і назад (тепловозний

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		56

режим) рівень шуму незначно змінюється. Під час роботи компресора сторонній шум або стуки показують, що в компресорі з'явився дефект.

Під час роботи компресора періодично:

- ✓ перевіряйте на слух, чи не чути в компресорі підвищеного шуму і стуків;
- ✓ за манометром, встановленим на компресорі, контролюйте тиск масла;
- ✓ перевіряйте, чи не викидає компресор масло через повітряні фільтри.

Примітка. У разі виявлення дефекту під час роботи усуньте його на працюючому компресорі або після його зупинки.

3.2. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, які можуть впливати на працівників компресорної станції

Залежно від часу і інтенсивності впливу на працівника, виробничі фактори можуть бути небезпечними або шкідливими [8].

При миттєвій дії фактор стає небезпечним, а при тривалому впливі — шкідливим.

Небезпечним називають виробничий фактор, вплив якого на організм працюючого у відповідних умовах праці може призвести до травм або іншого раптового, різкого погіршення стану здоров'я.

Шкідливим називають виробничий фактор, вплив якого на організм працюючого може призводити в певних умовах до захворювання або зниження рівня працездатності.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори поділяються за природою дії на групи [8]:

- фізичні;

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

Визначимо фактори, що відносяться до наведених груп, які можуть виникати в умовах роботи на КС. До фізичних небезпечних і шкідливих факторів можна віднести [8]:

- рухомі машини і механізми;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена або понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена або понижена вологість повітря;
- підвищена або понижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена або понижена рухомість повітря;
- гострі кромки, шорсткість на поверхні заготовок, інструменту;
- підвищене значення напруги в електричному колі;
- підвищений рівень статичної напруги.

Хімічні небезпечні і шкідливі фактори, що можуть діяти на технічний персонал в умовах роботи на КС [8]:

- за характером дії на організм - токсичні, подразнюючі;
- за шляхом проникнення в організм людини - через органи дихання, через шкіряні покриви і слизові оболонки.

До психофізіологічних небезпечних і шкідливих факторів можна віднести наступні фактори [8]:

- фізичні перевантаження - статичні, динамічні;

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- нервово-психічні перевантаження - розумові перенавантаження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

3.3 Вплив шкідливих факторів на людину та конструктивні рішення і заходи зменшення їх впливу

Мікроклімат виробничого приміщення здійснює суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність. Мікрокліматом називають клімат внутрішнього середовища виробничого приміщення, який визначається температурою, відносною вологістю, рухом повітря та тепловим випромінюванням нагрітих поверхонь, що в сукупності впливають на тепловий стан організму людини [16].

Людина постійно перебуває в тепловій взаємодії з виробничим середовищем під час виконання трудової діяльності. Якщо мікрокліматичні умови нормальні, то температура тіла працівника буде постійною (36,6°C), завдяки терморегуляції. Залежно від фізичного навантаження працівника кількість тепла, що утворюється в організмі буде змінюватись, а рівень тепловіддачі залежить від мікрокліматичних умов виробничого приміщення.

В основному віддача тепла з організму людини відбувається за рахунок випромінювання і випаровування вологи з поверхні шкіри. Тепло віддаватиметься за рахунок випромінювання тим більше чим нижча температура повітря і швидкість його руху. При високій температурі значна частина тепла втрачається випаровуванням поту. Втрачаючи піт організм втрачає також воду, вітаміни, мінеральні солі тому і зневоднюється, порушується обмін речовин. Саме через це працівники «гарячих» цехів забезпечуються газованою підсоленою водою [8].

Вологість повітря істотно впливає на віддачу тепла випаровуванням. Віддача тепла буде зменшуватись, тому що утруднюється випаровування

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		59

через високу вологість. Зниження вологості покращує процес тепловіддачі випаровуванням. Проте занадто низька вологість викликає висихання слизових оболонок дихальних шляхів [8].

Рівень тепловіддачі з поверхні шкіри конвекцією і випаровуванням визначає рухомість повітря. Збільшенню віддачі тепла організмом, у жарких виробничих приміщеннях, сприяє рух повітря за температури рухомого повітря до 35°C. З підвищенням температури рухоме гаряче повітря саме буде віддавати своє тепло тілу людини, викликаючи його нагрівання.

Переохолодження організму викликає рухоме повітря при низькій температурі. Різкі коливання температури в приміщенні, яке продувається холодним повітрям (протягом), значно порушують терморегуляцію організму і можуть викликати простудні захворювання.

Хоча і можливості організму пристосуватись до метеорологічних умов значні, проте не безмежні. Для людини, що знаходиться у стані спокою

верхньою межею терморегуляції прийнято вважати 30-31 °C за відносної вологості повітря 85% чи 40 °C при відносній вологості 30%. Ця межа буде значно нижча при виконанні фізичної роботи . Так, при виконанні важкої роботи теплова рівновага зберігається при температурі повітря 12-14 °C.

Отже, для нормального теплового самопочуття людини важливе певне співвідношення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря.

Основним нормативним документом, що визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень є санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99.

Чистота повітря являється необхідною складовою для створення нормальних умов виробничої діяльності, адже в повітря можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, як наслідок виробничої діяльності [8].

Вони можуть проникати в організм, як через органи дихання так і через органи травлення, а також шкіру та слизові оболонки. Пари, газо- та пилоподібні речовини потрапляють в організм через дихальні шляхи, а рідкі

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

речовини потрапляють до організму переважно через шкіру. Під час ковтання або при внесенні брудними руками їжі до рота шкідливі речовини потрапляють до шлунково-кишкових шляхів.

Шкідливі речовини потрапивши в організм можуть викликати гострі або хронічні отруєння. Тяжкість отруєння залежатиме від токсичності речовини, її кількості, часу дії, шляху проникнення, метеорологічних умов, індивідуальних особливостей організму. Результатом одноразової дії великих доз шкідливих речовин будуть гострі отруєння (чадний газ, метан, сірководень). Результатом тривалої дії невеликих концентрацій шкідливих речовин (свинець, ртуть, марганець) будуть хронічні отруєння. Розподіл шкідливих речовин, що потрапили в організм буде нерівномірним. Найбільше свинцю накопичиться в кістках, фтору в зубах, марганцю в печінці.

Порушення здоров'я людини, при потраплянні шкідливих речовин, відбуватиметься лише у тому випадку, коли їхня кількість в повітрі перевищуватиме граничну для кожної речовини величину.

Шкідливі речовини за ГДК поділяються на чотири класи [8]:

- 1-й клас - речовини надзвичайно небезпечні, ГДК менше 0,1 мг/м³(свинець, ртуть, озон);
- 2-й клас - речовини високо небезпечні, ГДК 0,1-1,0 мг/м³ (кислоти сірчана та соляна, хлор, фенол і т.д.);
- 3-й клас - речовини помірно небезпечні, ГДК 1,1-10,0 мг/м³ (вінілацетат, толуол, ксилол, спирт метиловий);
- 4-й клас - речовини мало небезпечні, ГДК більше 10,0 мг/м³ (аміак, бензин, ацетон, гас).

До заходів боротьби з забрудненням повітря на виробництві та захисту працюючих включають [8]:

- вилучення шкідливих речовин з технологічних процесів, заміна шкідливих речовин менш шкідливими і т. п.;

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- вдосконалення технологічних процесів та устаткування (застосовування замкнених технологічних циклів, неперервних технологічних процесів);
- автоматизація і дистанційне управління технологічними процесами та обладнанням, що виключає, безпосередній контакт працюючих з шкідливими речовинами;
- герметизація виробничого устаткування, робота технологічного устаткування під розрідженням, локалізація шкідливих виділень за рахунок місцевої вентиляції;
- нормальне функціонування систем опалення, загальнообмінної вентиляції, кондиціонування повітря, очистки викидів в атмосферу;
- контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- використання засобів індивідуального захисту.

Світло відіграє одну з ключових ролей серед чинників зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці. Вплив світла відбувається не лише на функцію зору, а й на діяльність організму в цілому: посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу [8].

Через недостатню або надмірну освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору настає втома очей, що призводить до зниження продуктивності праці при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надто яскраве джерело світла може стати причиною головного болю, різі в очах, розладу гостроти зору, а світові відблиски можуть бути причиною тимчасового засліплення.

Основні вимоги, які висуваються до виробничого освітлення, що сприяло б зоровій роботі, виключало б швидку втомлюваність очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків та сприяло б підвищенню продуктивності праці та якості продукції є [9]:

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- не повинно бути засліплюючої дії, як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частої переадаптації органів зору;
- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);
- повинен бути достатній, для розрізнення деталей, контраст поверхонь, що освітлюються;
- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпечне ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників);
- повинно бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Звуковими коливаннями називають акустичні коливання, що лежать в діапазоні частот 16-20000 Гц. Людське вухо з нормальним слухом здатне сприйняти їх [8].

Для молодшої здорової людини порогове значення слуху складає 0 дБ при частоті 1000 Гц. Так як вухо людини менш чутливе до низькочастотних звуків, то поріг слухового відчуття при частоті 100 Гц буде вищим.

Больовим порогом називають звук з інтенсивністю 140 дБ, відповідає звуковому тиску 200 Па та інтенсивності 100 Вт/м². Звуковий тиск у понад 120 дБ називають порогом дискомфорту (біль у вусі). Шум з рівнем звукового тиску 30-35 дБ взагалі не турбує людину, а підвищення рівня до 40-70 дБ спричиняє значне навантаження на нервову систему, що призводить до погіршення самопочуття, зниження продуктивності. При тривалому впливу шуму

					M142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

інтенсивністю понад 75 дБ може виникати погіршення слуху. Дія шуму рівнем понад 140 дБ може викликати розрив барабанних перетинок, контузію, а при дії шуму понад 160 дБ може настати смерть. Величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6-037-99 [16].

Зменшення впливу шуму на людину повинно забезпечуватись розробкою і впровадженням більш шумобезпечної техніки, застосуванням будівельно- акустичних методів, застосуванням засобів індивідуального захисту.

Негативний вплив на людину здійснює вібрація [9].

Характер та ступінь поширення коливань по тілу людини визначається їх частотою, амплітудою, тривалістю дії, площею контакту тіла людини та джерела вібрації, місцем прикладання та напрямком вібраційного впливу, демпферними властивостями тканин.

Вплив вібрації на людину:

- подразнювальний;
- зміщення органів;
- деформації тканин та клітин окремих органів.

Наслідками впливу вібрації є:

- зниження працездатності;
- порушення функцій центральної нервової системи;
- порушення функцій опорно-рухового апарату;
- порушення функцій статевих органів.

3.4 Пожежо- і вибухонебезпека при роботі на компресорній станції

Система автоматичного пожежогасіння експериментального стенду входить у блок забезпечення обладнання (відсік пожежогасіння).

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Система автоматичного пожежогасіння забезпечує пожежний захист відсіків камери згорання, відцентрового нагнітача, паливної системи і котла (автоматичний, ручний з відсіку пожежогасіння та дистанційний з операторної). Спосіб гасіння пожежі — об'ємний, вогнегасна речовина — двоокис вуглецю CO₂.

Майданчик експериментального приміщення передбачено обладнати системою автоматичного газового пожежогасіння простір під фальшполом приміщення електрощитової ВЕБа.

Для автоматичного виявлення і гасіння осередків пожежі в підпідлоговому просторі електрощитової запроектована централізована автоматична установка газового пожежогасіння (АУГП). Спосіб гасіння пожежі — об'ємний.

Розрахункова маса газової вогнегасної речовини CO₂ — 150 кг.

Після спрацювання основного запасу газової вогнегасної речовини (ГВР), у разі повторного займання або невиконання АУГП свого завдання, батареї резервного запасу ГВР готові до негайного застосування.

Батареї газового пожежогасіння розміщуються в окремому приміщенні станції пожежогасіння у ВЕБі. Кімната пожежогасіння відділена від інших приміщень протипожежними перегородками 1-го типу і перекриттям 3-го типу і має окремий вихід.

В кімнаті пожежогасіння передбачений телефон.

На вході в приміщення станції встановлюється світлове табло «КІМНАТА ПОЖЕЖОГАСІННЯ».

Для контролю за масою CO₂ в балонах в кімнаті пожежогасіння передбачені контрольні ваги.

Установка автоматичного пожежогасіння має дистанційний і місцевий пуск і знаходиться в режимі автоматичного цілодобового чергування.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		65

Автоматичний пуск установки газового пожежогасіння передбачається від пожежних сповіщувачів, які встановлені в об'ємах, що захищаються, із затримкою випуску газової вогнегасної речовини на час, необхідний для евакуації людей і зупинки вентиляційного обладнання, але не менше за 30 с.

Продування трубопроводів і колекторів АУГП здійснюється стисненим повітрям від балону повітряного переносного.

Для видалення залишків вогнегасної речовини з об'ємів, що захищаються, після спрацювання АУГП передбачений димовсмоктувач переносний пожежний, який встановлюється в кімнаті пожежогасіння.

Трубопроводи газового пожежогасіння монтуються зі сталевих безшовних труб і фарбуються емаллю ПФ-133 червоного кольору з нанесенням виду речовини, що транспортується, цифрами: вуглекислий газ — 5.4.

3.5 Інструкція з техніки безпеки оператора компресорної станції

До самостійної роботи оператором КС допускаються особи у віці не молодше 18 років, які у навчальному закладі отримали професію оператор КС та за станом здоров'я можуть бути допущені до вказаної роботи. Перед допуском до самостійної роботи, після отримання вступного інструктажу, первинного інструктажу, попереднього спеціального навчання з питань охорони праці, перевірки знань з охорони праці, яка проводиться за екзаменаційними білетами, перевірки вмінь та навичок безпечного виконання робіт, оператор КС повинен пройти безпосередньо на робочому місці стажування протягом 2-15 змін (залежно від стажу, досвіду і характеру роботи) під керівництвом досвідченого кваліфікованого оператора КС. Допуск до самостійної роботи здійснюється при позитивних результатах стажування, перевірки вмінь та навичок безпечного виконання робіт [9].

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Робота оператора МГ полягає у здійсненні контролю за надійною та економічною роботою газопроводів, компресорних станцій (КС), газорозподільних станцій (ГРС) у межах ЛВУМГ; веденні добових відомостей, в яких позначається тиск і температура на вході та виході КС, кількість газоперекачувальних агрегатів, які знаходяться у резерві та ремонті; тиск газу на вході та виході ГРС, відомості з обходу траси газопроводів лінійними обхідниками, тиск газу на трасі газопроводу, відомості про роботу установок електрохімзахисту; з'ясуванні причин і термінів змін режимів роботи газопроводів, КС і ГРС [9].

Оператор КС повинен знати вимоги з охорони праці, передбачені даною інструкцією, інструкціями за видами робіт та інструкціями заводів-виготовлювачів з експлуатації обладнання, що використовується у роботі; властивості шкідливих та отруйних речовин; правила поводження з метанолом, одорантом та конденсатом; план локалізації та ліквідації можливих аварійних ситуацій і аварій на лінійній частині трубопроводу та порядок збору аварійної бригади; схему виклику лінійних обхідників, операторів ГРС та працівників виробничих служб, які виїхали для виконання робіт на лінійну частину МГ; правила внутрішнього трудового розпорядку [9].

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мілованов В.І., Водяницька Н.І., Мельников В.Д. Компресори об'ємного стиснення. Підручник. Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2015 р., 330 с.
2. Мілованов В.І., Ярошенко В.М., Бондаренко Г.А. Технологія використання стиснених газів. Підручник. Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2015 р., 448 с.
3. Мілованов В.І., Ярошенко В.М., Бондаренко Г.А. Технологія використання стиснених газів. Підручник. Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2015 р., 448 с.
4. Бондаренко Г. А., Бага В. М. Основи проектування турбокомпресорів: навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2022. 203 с.
5. Бондаренко Г. А. Основи сучасної методології наукових досліджень енергетичних машин [Текст]: навч. посіб. / Г.А. Бондаренко, В.М. Бага. — Суми: СумДУ, 2020. — 101 с.
6. Бондаренко Г. А. Компресорні станції : підручник / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 385 с.
7. Федоров, О. Г. Компресорні машини : підручник / О. Г. Федоров, В. І. Мілованов, Д. М. Єременко ; Одеська нац. акад. харчових технологій. — Одеса : Бондаренко М.О., 2017. — 156 с.
8. Безпека життєдіяльності та охорона праці [Електронний ресурс] : підручник / В. В. Сокурєнко, О. М. Бандурка, С. М. Бортник та ін. ; за ред. В. В. Сокурєнка. — Харків : Харківський нац. ун-т внутр. справ, 2021. — 308 с.
9. Варивода, К. С. Охорона праці в галузі [Електронний ресурс] : підручник / К. С. Варивода, С. І. Горденко. — Переяслав-Хмельницький : Домбровська Я. М., 2019. — 466 с.

					М142з 01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		