

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра технічної теплофізики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
за освітньо-професійною програмою

«Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка»

зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»

на тему «Дослідження режимів роботи компресорної станції з
преривним регулюванням компресорів»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

Г. А. Бондаренко

Консультант з охорони праці

С. В. Сидоренко

Здобувач

А. О. Бодаква

Суми 2018

Зміст

Вступ.....	3
1. Огляд робіт по регулюванню КС з гвинтовими компресорами.....	4
2. Постановка задачі : актуальність, мета, завдання, об’єкт і предмет дослідження, методи дослідження	18
3. Регулювання переведенням на холостий хід	19
3.1 ЕОМ – програма	21
3.1.1 Компресорна станція при роботі 10 компресорів	22
3.1.2 Компресорна станція при роботі 8 компресорів (2 в резерві)	25
3.1.3 Компресорна станція при роботі від 2 до 8 компресорів	27
3.2 Порівняння результатів	29
4. Регулювання способом «пуск-зупинка».....	31
4.1 Розрахунок в ЕОМ – програмі	32
5. Комбінований спосіб регулювання.....	35
5.1 Розрахунок в ЕОМ – програмі	36
6. Порівняння основних показників ефективності компресорної станції з різними способами регулювання.....	40
7. Регулювання повітряної КС з компресорами різних типорозмірів	41
7.1 Регулювання переведенням на холостий хід.....	42
7.2 Регулювання способом «пуск-зупинка»	44
7.3 Комбінований спосіб регулювання.....	46
8. Охорона праці.....	48
Основні висновки роботи	60
Список використаної літератури	61

					КМ 04.00.00.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Болакwa			Дослідження режимів роботи компресорної станції з преривним регулюванням компресорів	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Бондаренко				2	31	
Репенз.		Шишов				СумДУ , К.м-71		
Н. Контр.		Вертепов						
Утверд.		Ванєєв						

Вступ

За останні десятиліття застосування гвинтових маслозаповнених повітряних компресорів набуло широких масштабів. Вони використовуються при створенні нових промислових підприємств будь-якого профілю діяльності (сільськогосподарська, транспортна, будівнича і т.д), а також для модернізації існуючих компресорних станцій (КС) . Це зумовлено рядом переваг гвинтових компресорів: компактність, високий ККД, не потребують фундаментів, спеціальних приміщень і т.п.

Одним з головних переваг таких компресорів є можливість просто, надійно і ефективно їх регулювати, що дозволяє зекономити значні кошти на споживанні електроенергії.

В теперішній час відбувається перехід від ручного управління агрегатами компресорної станції до автоматизованого, при цьому управління станцією стає дворівневим: на рівні кожного агрегату і на рівні станції в цілому. Для цих цілей необхідна розробка алгоритмів такого регулювання, при різних компоновальних схемах. Таких даних в літературі практично немає.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

1. Огляд робіт по регулюванню КС з гвинтовими компресорами

Структура компресорного устаткування найбільш поширених компресорних станцій промислових підприємств за останні десятиліття зазнала глибокі зміни в розвинених країнах, і набирає темпи також і в Україні. Ці процеси зумовлені, насамперед, широким впровадженням гвинтових компресорних установок малої та середньої потужності, ефективність яких доведена до рівня кращих зразків поршневих компресорів, що панували раніше на цьому ринку.

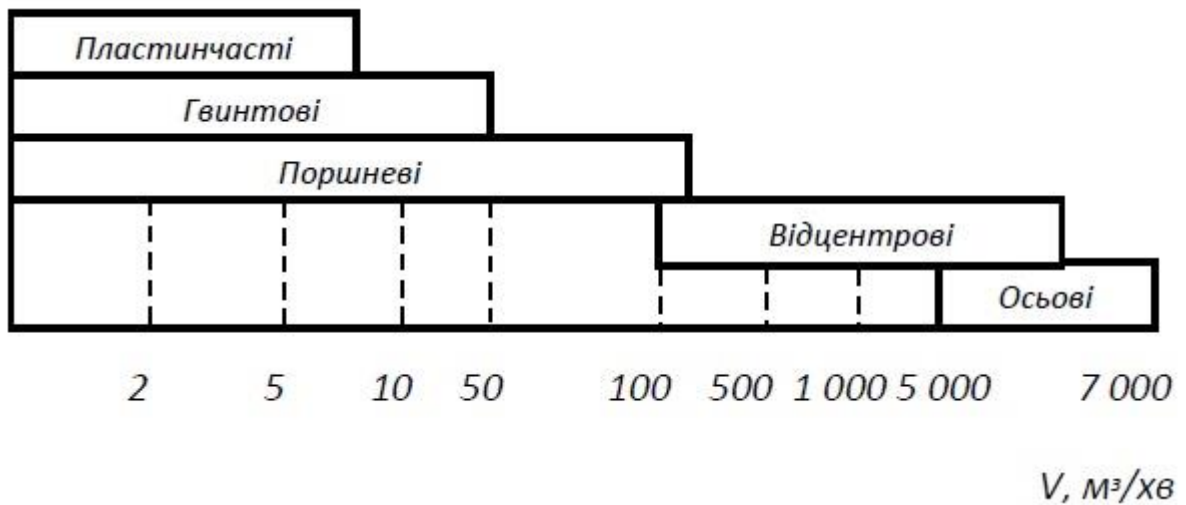


Рисунок 1.1 - Области застосування повітряних компресорів

Це стало можливим, завдяки значним перевагам гвинтових компресорних установок, основні з яких:

- висока енергетична ефективність;
- надійність і тривалий ресурс;
- малі габарити і низька металоємність;
- поставка установок в стані 100% - ої заводської готовності;
- низькі капітальні витрати;
- можливість порівняно легкого реалізації регулювання різними способами;
- оснащення мікропроцесорної технікою;
- можливість інтегрування в АСУП різних рівнів і ін.;

Порівняння заводської КС старого типу (яких ще дуже багато на Україні) з новою на базі гвинтових компресорів не вимагає коментарів. Повітряні компресори - найбільш поширені.[4, с. 4-5]

Повітряні компресорні станції та установки є невід'ємною частиною промислових виробництв, транспорту, будівництва, енергетики та інших галузей. Повітряні компресори складають понад 80% від загального парку компресорів. Настільки широке поширення повітряних компресорів пояснюється необхідністю використання стисненого повітря як найбільш зручного і порівняно недорогого енергоносія. Головними перевагами стисненого повітря перед іншими енергоносіями (природний газ, електроенергія, водяна пара) є безпека, простота і дешевизна його вироблення і транспортування до місця споживання.

Системи виробництва та розподілу стисненого повітря в промисловості споживають до 10% от загальної потреби електроенергії.

На жаль, існує думка, що стиснене повітря коштує дешево, хоча тільки лише 5-10% спожитої електроенергії йде на здійснення корисної механічної роботи, у користувачів (роботу пневмоустаткування та пневмоінструменту).

Питомі витрати на вироблення стисненого повітря складають 5-15% від собівартості продукції, а для деяких виробництв досягають 30% і більше. [1, с. 9]

Боротьба за зниження собівартості продукції змушує підприємства заощаджувати як на споживанні, так і на виробленні стисненого повітря, застосовуючи енергозберігаючі технології.

На ряді провідних підприємств різних галузей проведена або проводиться модернізація компресорних станцій і мереж в основному за рахунок виведення з експлуатації зайвих компресорів, відключення не використовуваних ділянок мережі та ін., наводиться порядок в обліку вироблення і витрачання стисненого

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

повітря, уточнюються нормативи споживання. На жаль, лише тільки в окремих випадках виконується технічне переозброєння із заміною застарілих компресорів сучасними типами, впровадженням систем регулювання.[1, с. 12]

Світовою тенденцією розвитку технології стиснення повітря є все більш широке застосування гвинтових компресорних установок, які повсюдно витісняють інші типи компресорів. Підтвердженням цьому є структура випуску повітряних компресорів в такій технічно розвиненій країні, як Японія, наведена на рис.1.2. [2, с. 9]

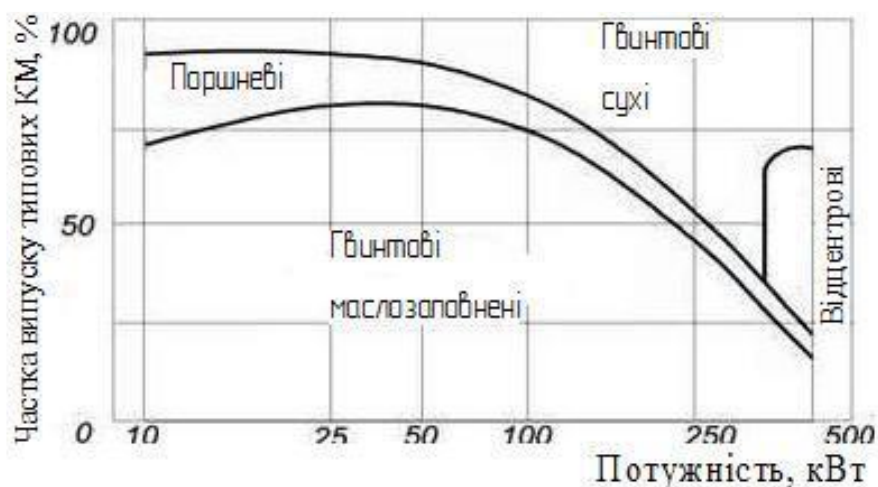


Рисунок 1.2 - Структура виробництва повітряних компресорних машин загального призначення від їх одиначної потужності (Японія)

З рис. 1.2 випливає, що в найбільш споживаному інтервалі одиначних потужностей компресорів від 10 до 100 кВт домінують гвинтові машини - понад 80% від загального парку, а на частку поршневих машин припадає лише близько 15%. Аналогічна картина характерна і для країн Європейського співтовариства. В Україні гвинтові машини почали активно використовуватися приблизно 15 років тому, і їх ринок сприяє випуск гвинтових компресорних станцій підприємствами концерну "Nisimas" - ВНДІкомпресормашем і Полтавським турбомеханічним заводом. [1, с. 13].

Гвинтові компресори бувають двох типів: з уприскуванням масла в проточну частину (маслозаповнені) і без уприскування масла (сухі).

До недавнього часу вважалося, що повітряні маслозаповнені гвинтові компресори з тиском нагнітання до 0,8 МПа мають перевагу над поршневыми при застосуванні лише в пересувних компресорних установках. На сьогодні маслозаповнені гвинтові компресори продуктивністю від 1,0 до 70 м³/хв із тиском нагнітання до 4,0 МПа широко використовуються в стаціонарних установках. Це стало можливим у результаті технічного вдосконалення двороторних гвинтових машин, зокрема, при переході із симетричного профілю гвинтів на асиметричний із розмірним шліфуванням профілю, завдяки чому питома витрата потужності одноступінчастих маслозаповнених гвинтових компресорів загального призначення знизилася в середньому на 5–7 %. Порівняно з усіма іншими типами компресорів вартість 1 м³ повітря, стисненого стаціонарними маслозаповненими гвинтовими компресорами загального призначення з повітряним охолодженням у діапазоні продуктивностей від 10 до 50 м³/хв, найменша. Сучасні стаціонарні водо- або повітроохолоджувані повітряні гвинтові компресорні установки поставляються укомплектованими та випробуваними в моноблоковому безфундаментному виконанні з повною готовністю до експлуатації, що є істотною перевагою.

Міжремонтний пробіг гвинтових компресорів визначається зношенням підшипників, термін служби яких становить не менше 15 тис. год. Деякі конструкції гвинтових компресорів мають термін служби до 100 тис.год. Середній міжремонтний термін компресорів досягає 50 000 год, вони практично не вимагають постійного обслуговування.

Особливе значення гвинтові компресори з повітряним охолодженням мають для забезпечення стисненим повітрям пневматичного устаткування в районах із високим дефіцитом і вартістю охолоджувальної води.

Одна з особливостей гвинтових компресорів – здатність стискати двофазні (газ + рідина) середовища.

Відомі конструкції моноблокових повітряних одноступінчастих гвинтових компресорів, у порожнину стиснення яких замість масла вприскується вода, що забезпечує ущільнення зазорів, майже ізотермічний

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

процес стиснення та чистоту стисненого повітря. Вода надходить через регулятор і після використання легко сепарується з повторним використанням або скиданням у каналізацію. Порівняно з аналогічними за параметрами двоступінчастими гвинтовими компресорами сухого стиснення водозаповнені компресори менш металомісткі, в них немає проміжного і кінцевого холодильників.

Повітряні гвинтові компресори сухого стиску забезпечують ступінь підвищення тиску в одному корпусі не більше ніж 3 при порівнянних кінцевих температурах повітря. Як машини загального призначення вони поступаються маслозаповненим через високу вартість виготовлення і відносно низький ККД. Щодо цього маслозаповнені машини перевершили їх за таким узагальнювальним показником ефективності, як вартість одиниці об'єму стисненого газу.

Із вищенаведеного стислого огляду повітряних компресорів різного типу випливає, що умовам застосування в системах повітропостачання переважної більшості промислових підприємств найбільшою мірою відповідають гвинтові маслозаповнені компресори. У компресорному парку підприємств на сьогодні переважають поршневі компресори, проте всюди вони замінюються гвинтовими.

Власне гвинтовий компресор (чи компресорний блок) є литим чавунним корпусом, усередині якого встановлені два гвинти. Ведучому гвинту може надавати обертання як безпосередньо електродвигун, так і вбудований редуктор (рис. 1.3).

Гвинтовий компресор є машиною об'ємної дії. Стиснення повітря в ньому відбувається за рахунок зменшення об'єму всмоктуваного повітря, затисненого між зубцями гвинтів, корпусом і нагнітальною торцевою стінкою. Стиснення відбувається до того часу, поки при певному кутовому положенні роторів стиснений об'єм повітря не з'єднається з нагнітальним отвором у торцевій стінці. Таким чином, стиснене повітря безперервно наступними порціями надходить у нагнітальний патрубок. Очевидно, що витрата й тиск повітря

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

залежатимуть насамперед від розмірів і форми профілів гвинтових пар та частоти їх обертання.



Рисунок 1.3 – Гвинтовий компресор CF180G фірми GHH-Rand:

- 1 – корпус роторної пари; 2 – роторна пара; 3 – роликопідшипник;
 4 – шарикопідшипник; 5 – корпус підшипника; 6 – ущільнення;
 7 – фланець; 8 – редуктор

Обертіві гвинти (чи ротори) мають різну форму (рис. 1.4): ведучий ротор має опуклі, а ведений – увігнуті профілі зубців. Уздовж довжини ротора зубці зігнуті по гвинтовій лінії. Ведучий ротор має п'ять зубців, а ведений – шість вирізів для входження в них зубців. Ротори мають асиметричний профіль зубців, при якому досягається найвищий ККД.

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	КМ 04.00.00.00 ПЗ				

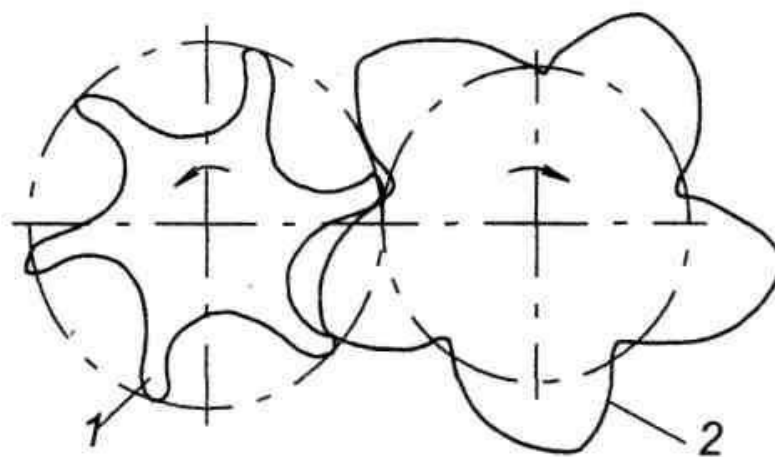


Рисунок 1.4 – Поперечний переріз роторів:

1 – ведений ротор; 2 – ведучий ротор

Ротори обертаються усередині корпусу, що охоплює їх. Точне шліфування профілів зубців дозволяє досягти дуже малих зазорів між спряженими зубцями роторів (0,02–0,03 мм) і звести до мінімуму перетікання робочого середовища з порожнин із підвищеним тиском на всмоктування.

Під час роботи компресора з боку стисненого між зубцями об'єму повітря на кожен ротор діють значні радіальні та осьові сили. Радіальні навантаження сприймаються роликотими підшипниками важкої серії, встановленими з обох кінців кожного ротора. Осьові навантаження сприймаються радіально-упорними шарико-підшипниками, встановленими на кінцях роторів із боку нагнітання. Шарикопідшипники мають рознімні зовнішні та внутрішні обойми, що дозволяє шляхом підтискання обойм тарілчастими пружинами забезпечувати контакт кульок з обоймами в чотирьох точках, підвищуючи їх надійність. Усі підшипники кочення мають латунні або пластмасові сепаратори, що забезпечують безшумне обертання.

Підшипники з боку нагнітання встановлені у гніздах, виконаних у корпусі компресора, а підшипники з боку всмоктування – в проміжному корпусі, встановленому в розточці корпусу компресора. Така конструкція забезпечує точність монтажу роторів без додаткового регулювання. Шестерні редуктора монтуються в кришці, прифланцьованій до корпусу компресора.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Для нормальної роботи компресорів цього типу потрібне постійне уприскування свіжого масла в робочу порожнину. При цьому забезпечується змащування контактувальних зубців, що підвищує надійність і довговічність. Наявність масляної плівки на поверхнях робочої порожнини створює ущільнювальний ефект і зменшує внутрішні перетікання через радіальні й торцеві зазори між роторами та корпусом, за рахунок чого підвищується продуктивність компресора. Ефект охолодження повітря за рахунок уприскування холодного масла дозволяє збільшити відношення тисків у ступені, підвищити енергетичну ефективність компресора. Уприскування масла здійснюється безпосередньо в робочу порожнину з боку всмоктування. У нагнітальний патрубок компресора надходить повітряно-масляна суміш, з якої відділяється масло, очищається від домішок, охолоджується і знову спрямовується в компресор.

За конструктивною схемою гвинтові компресори (рис. 1.5) відрізняються такими основними ознаками:

- охолоджуваним або неохолоджуваним корпусом;
- прямим приводом або через вбудований редуктор;
- із синхронізувальними шестернями або без них.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

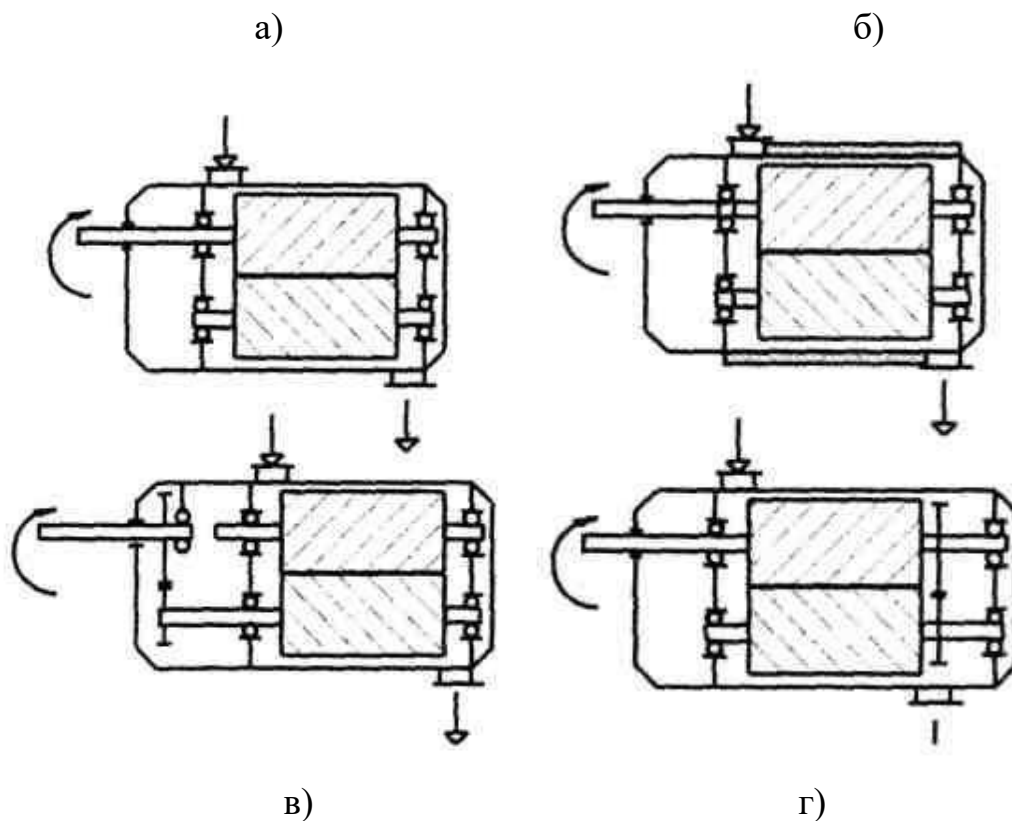


Рисунок 1.5 – Конструктивні схеми гвинтових компресорів:

а – з прямим приводом; *б* – з охолодженням корпусу;

в – із вбудованим редуктором; *г* – із синхронізувальними шестернями

Власне гвинтовий компресор, що іноді називається компресорним блоком, служить для здійснення процесу стиснення повітря. Для забезпечення його нормальної роботи необхідно виконати ряд умов: організувати підведення повітря на всмоктування і відведення стисненого повітря, застосувати крутний момент до ведучого ротора, забезпечити дозоване уприскування масла, відділення масла від стисненого повітря, його охолодження та очищення. Необхідно також пристосовувати компресор до умов експлуатації, що змінюються, і забезпечити захист його при збоях у режимі роботи й аварійних ситуаціях і т. ін. Для забезпечення усіх цих функцій служить комплекс технічних пристроїв, який у сукупності з гвинтовим блоком утворює компресорну установку.

На відміну від інших типів установок гвинтовий агрегат є, як правило, повністю автономним самодостатнім технічним модулем, що потребує лише

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

підведення електроенергії (іноді охолоджувальної води). Це досягається за рахунок того, що все необхідне устаткування змонтоване на одній рамі в контейнері і поставляється виготовлювачами у стані 100% заводської готовності.

Функціональна схема типової гвинтової компресорної установки, загальна для всіх типорозмірів, наведена на рис. 1.6. Принципова схема установки складається з двох взаємодіючих контурів – повітряного розімкненого та масляного замкненого – і допоміжних систем.

Повітряний контур за ходом повітря складається з таких основних елементів: усмоктувального фільтра, дросельної заслінки, компресора, бака-масловіддільника, фільтра-масловіддільника, кінцевого повітро-охолоджувача, нагнітального патрубку. Масляний контур складається з бака-масловіддільника, маслоохолоджувача, масляного фільтра, компресора.

Під час обертання гвинтів компресора повітря з атмосфери всмоктується через вхідний фільтр і далі через усмоктувальний патрубок надходить у камеру всмоктування компресора, звідки захоплюється гвинтами і стискується. Охолоджене масло безперервно вприскується через дросельний отвір у порожнину стиснення, де розпилюється в повітряному середовищі. Масло, змішуючись із повітрям, відбирає основне тепло, що виділяється при стисненні, ущільнює зазори і змащує тертьові поверхні. Стиснена гаряча повітряно-масляна суміш надходить через зворотний клапан у маслобак-сепаратор, де відбувається випадання з неї краплинного масла. У верхній частині бака встановлений фільтр-віддільник масла, в якому відбувається остаточне відділення парів масла. Очищене повітря через кінцевий повітроохолоджувач надходить до споживача.[1, с. 42-50]

						КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			13

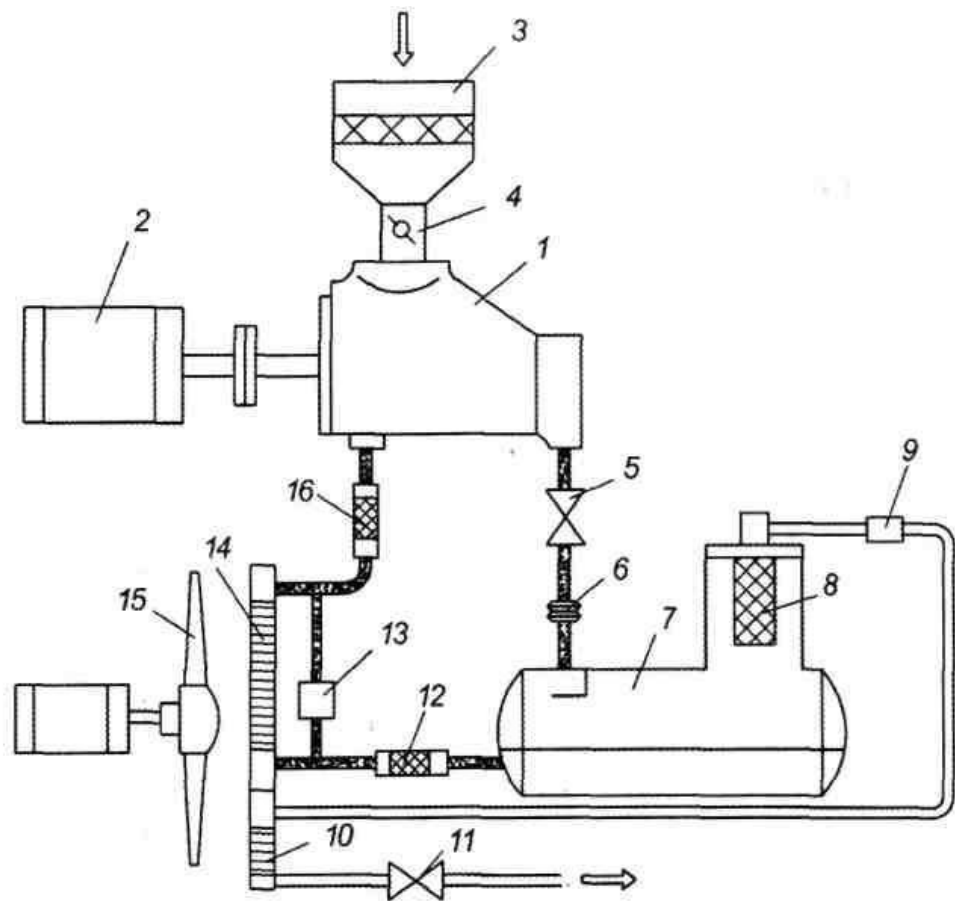


Рисунок 1.6 – Функціональна схема гвинтової компресорної установки:

1 – гвинтовий компресор; 2 – приводний електродвигун; 3 – повітряний вхідний фільтр; 4 – дросельна заслінка; 5 – зворотний клапан; 6 – компенсатор; 7 – масловіддільник; 8 – повітряно-масляний фільтр; 9 – клапан підтримування тиску; 10 – кінцевий повітроохолоджувач; 11 – зворотний клапан; 12 – масляний фільтр грубого очищення; 13 – перепускний клапан; 14 – маслоохолоджувач; 15 – вентилятор; 16 – масляний фільтр тонкого очищення

В даний час основною вимогою, що пред'являється до компресорних станцій є забезпечення високого рівня енергоефективності і надійності в умовах істотно змінних режимів роботи КС.

Витрата повітря в кожен заданий момент часу визначається потребою системи, і його можна вважати умовно об'єктивним, бо він не піддається коригуванню без шкоди для споживачів. Значить, узгодження вироблюваної кількості повітря і його витрати слід здійснювати за рахунок зміни робочих

						Лист
					КМ 04.00.00.00 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

параметрів КС, тобто налаштування системи «КС – мережа» за рахунок впливу на компресори.

У зв'язку з цим виникає необхідність одночасно зі зміною характеристики мережі змінювати і параметри КС. Останнє досягається її управлінням. Завданням управління КС є забезпечення необхідних за умовами експлуатації режимів КС максимально раціональним шляхом в залежності від прийнятих критеріїв. [1, с. 127]

Одними з найбільш поширених способів регулювання гвинтових і поршневих компресорів в залежності від конкретної задачі є переведення на холостий хід або зупинка компресора.

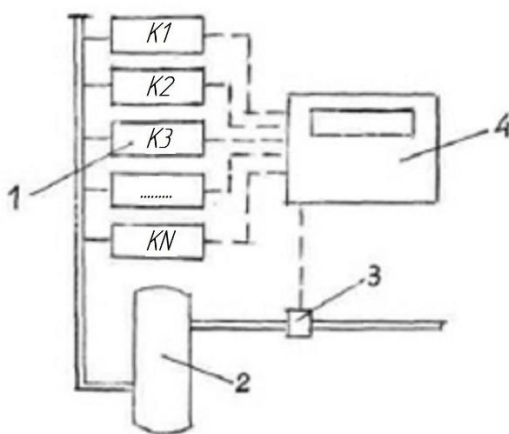


Рисунок 1.7 - Принципова схема системи управління КС з однаковими компресорами:

1 - компресори; 2 - ресивер; 3 - датчик тиску; 4 - процесор

При зміні споживання газу (або повітря) тиск у мережі змінюється: збільшення споживання викликає зменшення тиску, а зменшення споживання, навпаки, підвищення тиску. Датчик тиску перетворює імпульс в аналоговий або цифровий сигнал, який ініціює роботу системи управління КС за алгоритмом. Важливо відзначити, що попередньо проводиться настройка датчика на спрацьовування при підвищенні (сигнал "+") та зниженні тиску (сигнал "-") в порівнянні з прийнятими величинами P_{max} та P_{min} .

Після вибору певного варіанту система дає керуючий сигнал на відключення (або переведення на холостий хід) відповідних компресорів. Система стабілізується аж до отримання наступного сигналу від датчика тиску (або витрати).

У разі, коли компресорна станція обладнана компресорами різних типорозмірів (рис. 1.8), логіка алгоритму залишається подібною, але ускладнюється оператор.

Процедура вибору компресорів стає двохступеневою. Спочатку потрібно вибрати можливий набір компресорів з груп різних типорозмірів (К-15 і К-10), а потім по якомусь з критеріїв (або декількох) вибрати правильний варіант. Базовий компресор (К-32) працює постійно.

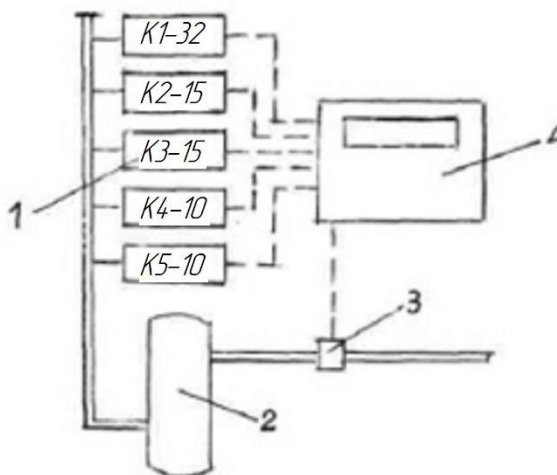


Рисунок 1.8 - Принципова схема системи управління КС з компресорами різних типорозмірів:

1 - компресори; 2 - ресивер; 3 - датчик тиску; 4 - процесор

Очевидно, що загальною необхідною умовою є мінімізація різниці між необхідним навантаженням V_n і продуктивністю станції $V_{кс}$.

Друга умова відображає економічну ефективність, тобто мінімізацію споживаної потужності.

При вирішенні цієї задачі були прийняті наступні основні допущення:

1. Вважається, що пневмосистема задемпфрована таким чином, що випадкові пульсації тиску в системі "глушаться" і на них не реагує датчик тиску.
2. Вважаємо, що при обробці сигналу датчика використовуються інтегрально-пропорційні (або інші) системи автоматичної обробки сигналу з урахуванням похідної тренда його зміни, тобто прогнозування тривалості зміненого режиму навантаження. Сучасні системи з мікропроцесорами дозволяють це зробити.

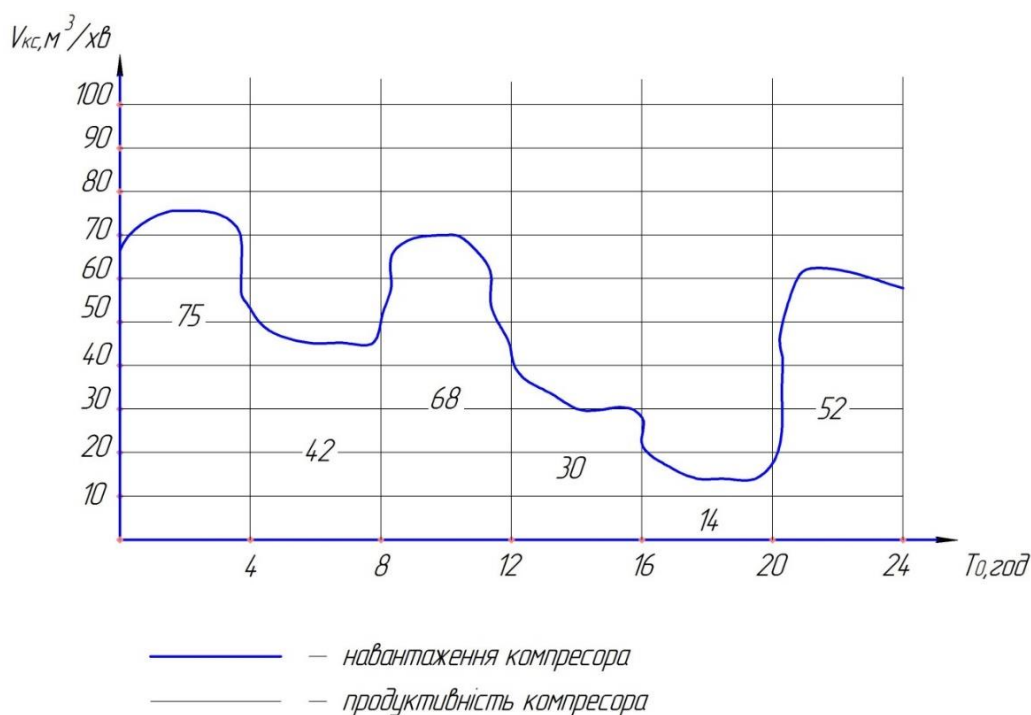


Рисунок 1.9 – Добовий графік навантаження і продуктивності КС

3. Час спрацювання системи, що складається з часу обробки сигналу, часу алгоритмічного аналізу та часу пуску (або зупинки) не робить впливу на працездатність системи. [4, с. 12-13]

2. Постановка задачі : актуальність, мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження, методи дослідження

Актуальність: Сучасні компресорні станції (КС) виробництв різних галузей (газова, нафтова, хімічна та ін.) являють собою потужні енергетичні комплекси, які споживають до 15% усієї вироблюваної в країні енергії.

Мета: Розробка математичної моделі управління роботою повітряної компресорної станції промислового підприємства на змінних режимах.

Завдання: Розробити алгоритм, програму і математичні моделі КС, призначеної для управління КС шляхом переведення на холостий хід або зупинкою компресорних машин, згідно з прийнятими критеріями раціональності. Вирішити задачу для аналізу компресорної станції з будь-якими типорозмірами компресорних машин з відомим графіком навантаження станції.

Об'єкт дослідження: Розподіл навантажень між компресорами КС.

Предмет дослідження: Взаємозв'язок зовнішнього навантаження на КС з ефективністю регулювання. %

Методи дослідження: Розрахункове дослідження на основі створення математичної моделі робочого процесу КС і численне дослідження роботи різноманітних варіантів компоновок КС на змінних режимах.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

3. Регулювання переведенням на холостий хід

Гвинтові компресори ВАТ «НВАТ ВНДІ Компресормаш» оснащені системою регулювання, що забезпечує зміну продуктивності компресора від 10 до 100 % шляхом автоматичного переведення компресора на холостий хід. Цей спосіб є ступінчастим регулюванням. Схематичне зображення процесів представлено на рис. 3.1. [3, с. 73]

Якщо на даний момент часу дросельна засувка на всмоктуванні у компресор закрыта (що відповідає режиму холостого ходу), то через деякий час тиск у мережі стисненого повітря знизиться до мінімально допустимого значення p_{min} , і регулятор продуктивності подасть імпульс на пневмопривод, який, у свою чергу, відкриє заслінку на всмоктуванні. Тиск у мережі почне зростати, оскільки продуктивність компресора дещо більша від споживання стисненого повітря. Це відповідає процесу 1–2 на рис. 3.1 а. [1, с. 139]

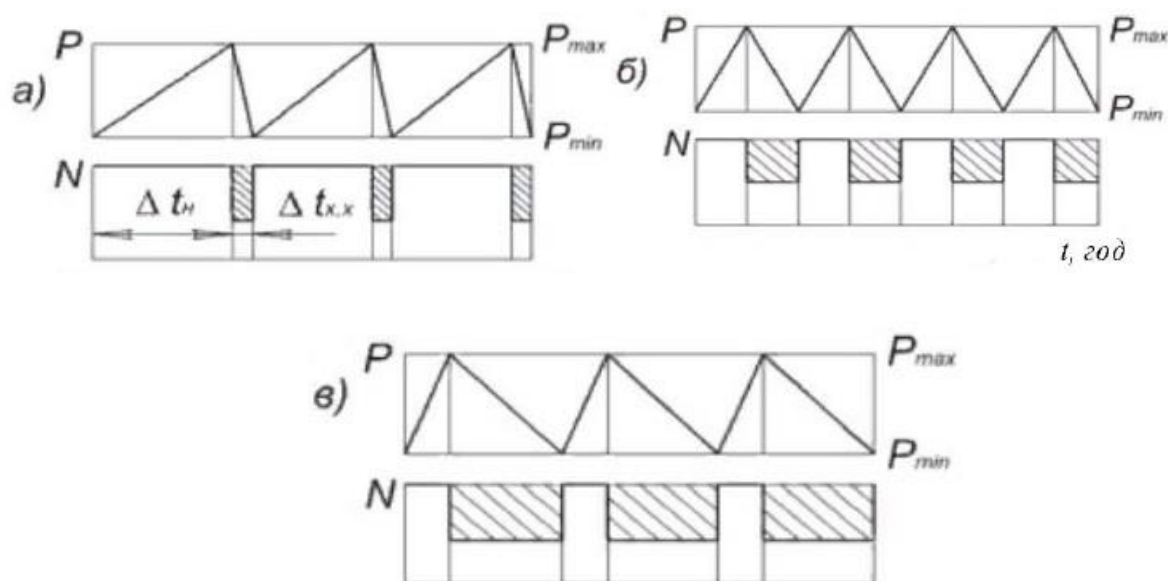


Рисунок 3.1 – Графіки роботи гвинтового компресора, регульованого переведенням на холостий хід за різних рівнів споживання стисненого повітря: режим, близький до номінального (а); режим середнього споживання (б); режим малого споживання (в).

Через проміжок часу Δt_n настане момент, коли тиск нагнітання досягне максимально допустимої величини p_{max} , і регулятор продуктивності подасть імпульс на закриття дросельної засувки – перехід на режим холостого ходу (процес 2–3), який триває впродовж часу $\Delta t_{x. x}$. Унаслідок розбирання повітря споживачами тиск знижується до p_{min} , і далі ці процеси повторюються. Таким чином, робота гвинтового компресора – це чергування процесів нагнітання і холостого ходу. Тривалість цих процесів та їх частота залежать від співвідношень продуктивності компресора і витрати споживачами, а також від характеристики мережі (місткість, інерційність).

Тривалість роботи установки на холостому ходу обмежується допустимим нагріванням компресора внаслідок малої витрати повітря. Зазвичай беруть $\Delta t_{x. x} < 15$ хв.

Якщо мережа складається з ресиверів, колекторів і численних повітропроводів, то місткість та інерційність її великі, і процеси накачування та скидання тиску відбуваються повільно. Якщо місткість мережі мала, то при такому самому співвідношенні вироблення і споживання стисненого повітря процеси чергуватимуться з більшою частотою. У разі якщо споживач з'єднаний безпосередньо з компресором, то частота циклів буде найбільшою.

Інженерна теорія такого регулювання, розроблена в ВНДІкомпресормаш професором Бондаренком, дозволяє визначити за формулами 3.1 ,3.2 для кожного режиму споживання q_v тривалість фаз холостого ходу (або зупинки) і нагнітання:

$$\Delta t_{x.x} = \frac{Q}{V_k} \cdot \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{q_v}, \text{ с}, \quad (3.1)$$

$$\Delta t_n = \frac{Q}{V_k} \cdot \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{1 - q_v}, \text{ с}, \quad (3.2)$$

а також частоту циклів за формулою 3.3:

$$Z = \frac{V_k}{Q} \cdot \frac{q_v(1 - q_v)}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}, \text{ 1/Год}, \quad (3.3)$$

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

і потужність за формулою 3.5, споживану за цикл (формула 3.4):

$$\Delta t_{\text{ц}} = \Delta t_{\text{н}} + \Delta t_{\text{х,х}}, \text{ с}, \quad (3.4)$$

$$N_{\text{ц}} = N_{\text{к}}[q_v + k(1 - q_v)], \text{ кВт}, \quad (3.5)$$

де Q – ємність пневмомережі, м^3 ;

$V_{\text{к}}$ – номінальна продуктивність компресора, $\text{м}^3/\text{хв.}$;

$\varepsilon_{\text{max}}, \varepsilon_{\text{min}}$ – максимальні і мінімальні ступені підвищення тиску;

$q_v = \frac{V_{\text{спож}}}{V_{\text{к}}}$ – відносний параметр споживання повітря,

$N_{\text{к}}$ – номінальна потужність компресора, кВт.

3.1 ЕОМ – програма

В відповідності з інженерною теорією була розроблена програма в Excel 2010 (рис. 3.2), яка розраховує за алгоритмом регульовальні характеристики компресорної станції, при різних можливих її варіантах роботи і будує графіки по відповідним значенням. Обладнання КС включає десять компресорів виробництва ВНДІкомпресормаш НВЭ 10/0,7 продуктивністю $V_{\text{к}} = 10 \text{ м}^3/\text{хв.}$, номінальною потужністю $N_{\text{к}} = 62,2 \text{ кВт}$, системою холостого ходу з діапазоном налаштування $\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_{\text{min}} = 1$ кожен, при місткості мережі $Q = 20 \text{ м}^3$. Також для спрощення розрахунку добовий графік навантаження і продуктивності КС (рис. 2.4) був зведений до лінійного.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

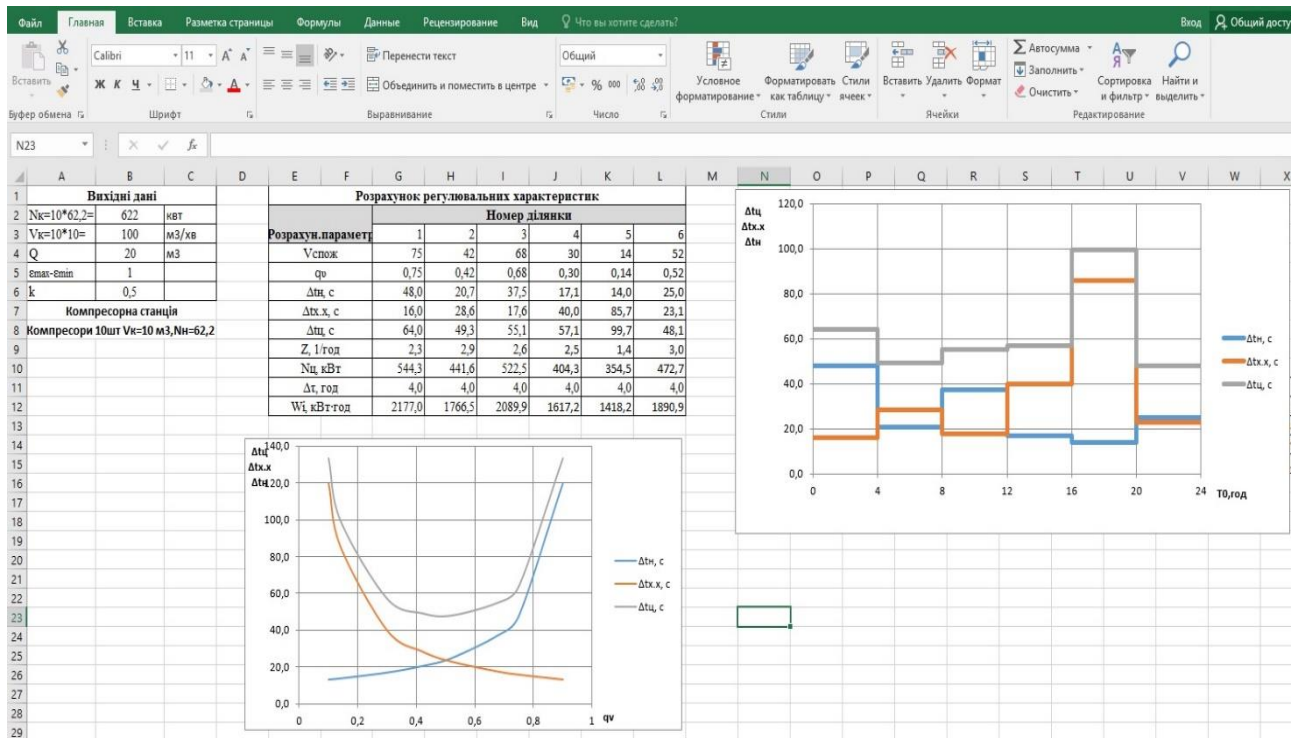


Рисунок 3.2 – Вікно програми MS Excel

3.1.1 Компресорна станція при роботі 10 компресорів

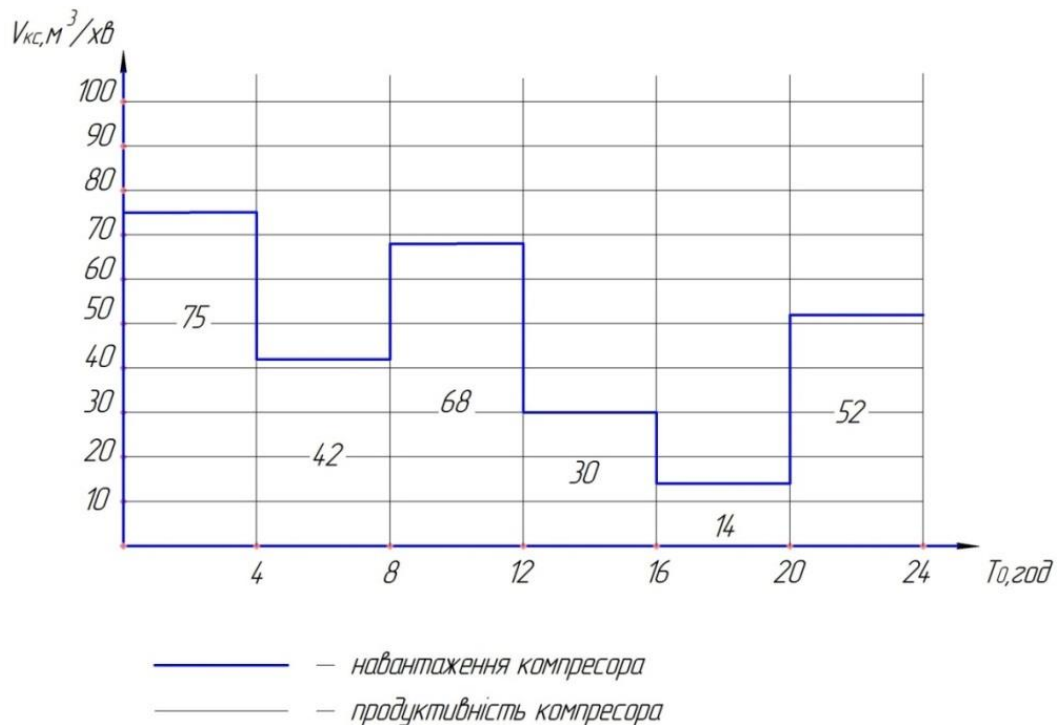


Рисунок 3.3 – Добовий графік навантаження і продуктивності КС

Таблиця 3.1 – Розрахунок регулювальних характеристик гвинтової компресорної станції

Розрахун.параметр	Номер ділянки					
	1	2	3	4	5	6
V_{Π}	75	42	68	30	14	52
qv	0,75	0,42	0,68	0,30	0,14	0,52
$\Delta t_{\text{н}}, \text{с}$	48,0	20,7	37,5	17,1	14,0	25,0
$\Delta t_{\text{х.х}}, \text{с}$	16,0	28,6	17,6	40,0	85,7	23,1
$\Delta t_{\text{ц}}, \text{с}$	64,0	49,3	55,1	57,1	99,7	48,1
$Z, 1/\text{год}$	2,3	2,9	2,6	2,5	1,4	3,0
$N_{\text{ц}}, \text{кВт}$	544,3	441,6	522,5	404,3	354,5	472,7
$\Delta \tau, \text{год}$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$W_i, \text{кВт}\cdot\text{год}$	2177,0	1766,5	2089,9	1617,2	1418,2	1890,9

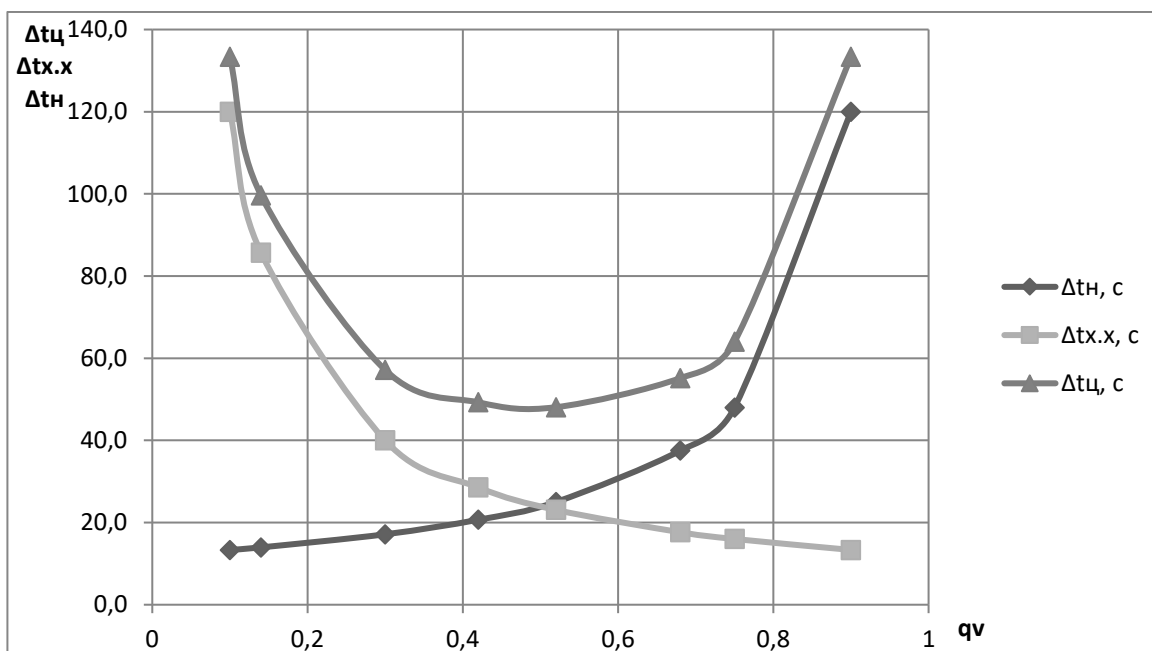


Рисунок 3.4 - Тривалості циклу, інтервалів нагнітання та холостого ходу, залежно від навантаження qv

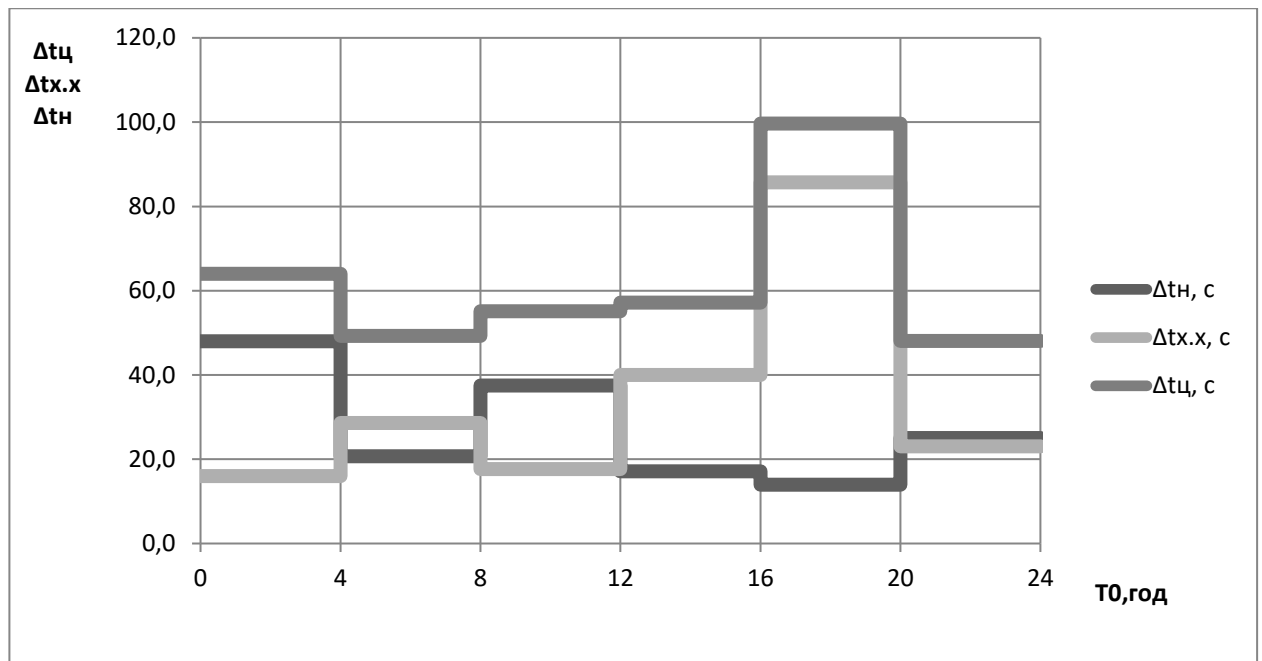


Рисунок 3.5 – Графік залежності регулювальних характеристик Δt_n , $\Delta t_{x.x}$, Δt_c , від часу T_0

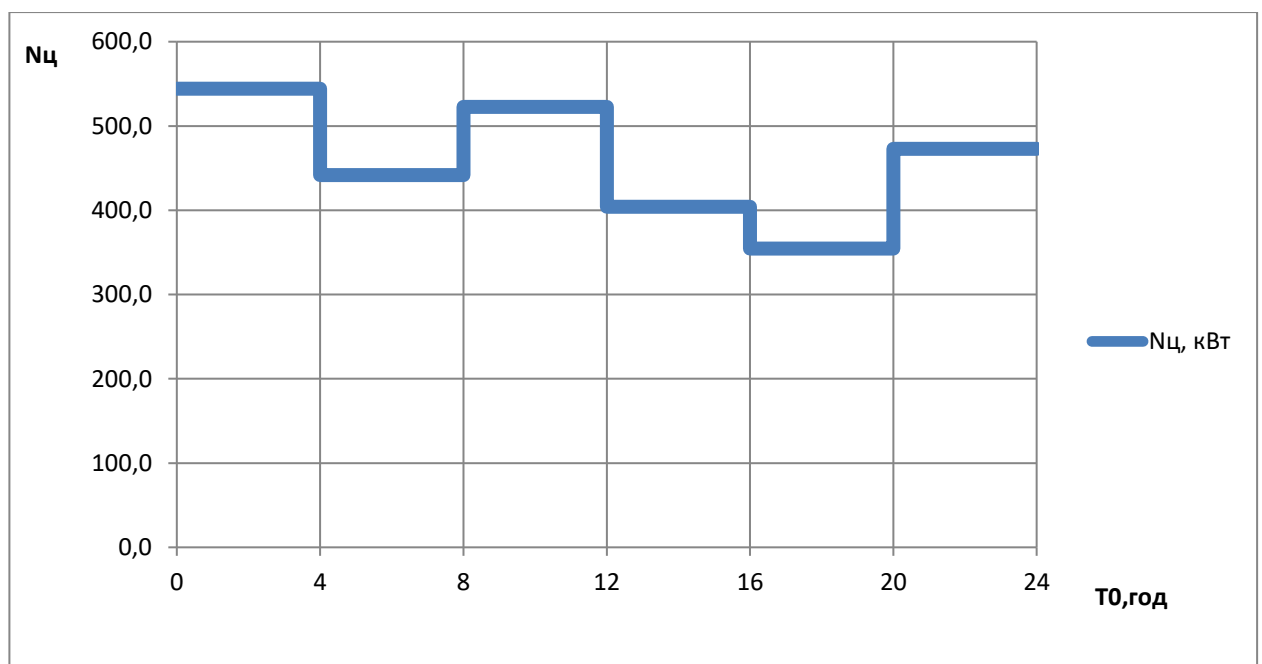


Рисунок 3.6 – Графік залежності потужності N_c від часу T_0 .

3.1.2 Компресорна станція при роботі 8 компресорів (2 в резерві)

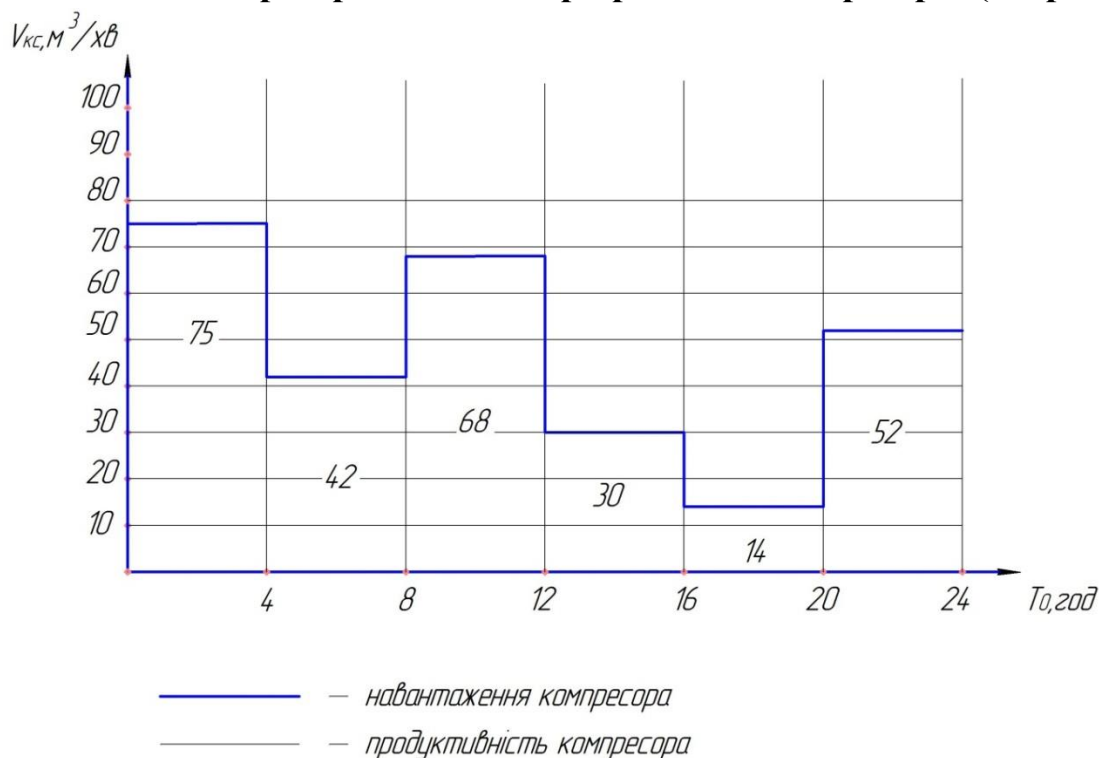


Рисунок 3.7 – Добовий графік навантаження і продуктивності КС

Таблиця 3.2 – Розрахунок регулювальних характеристик гвинтової компресорної станції

Розрахун.параметр	Номер ділянки					
	1	2	3	4	5	6
V_{Π}	75	42	68	30	14	52
q_v	0,94	0,53	0,85	0,38	0,18	0,65
$\Delta t_{\text{н}}, \text{с}$	240,0	31,6	100,0	24,0	18,2	42,9
$\Delta t_{\text{х.х}}, \text{с}$	16,0	28,6	17,6	40,0	85,7	23,1
$\Delta t_{\text{ц}}, \text{с}$	256,0	60,2	117,6	64,0	103,9	65,9
$Z, 1/\text{год}$	0,9	3,7	1,9	3,5	2,2	3,4
$N_{\text{ц}}, \text{кВт}$	482,1	379,4	460,3	342,1	292,3	410,5
$\Delta \tau, \text{год}$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$W_i, \text{кВт}\cdot\text{год}$	1928,2	1517,7	1841,1	1368,4	1169,4	1642,1

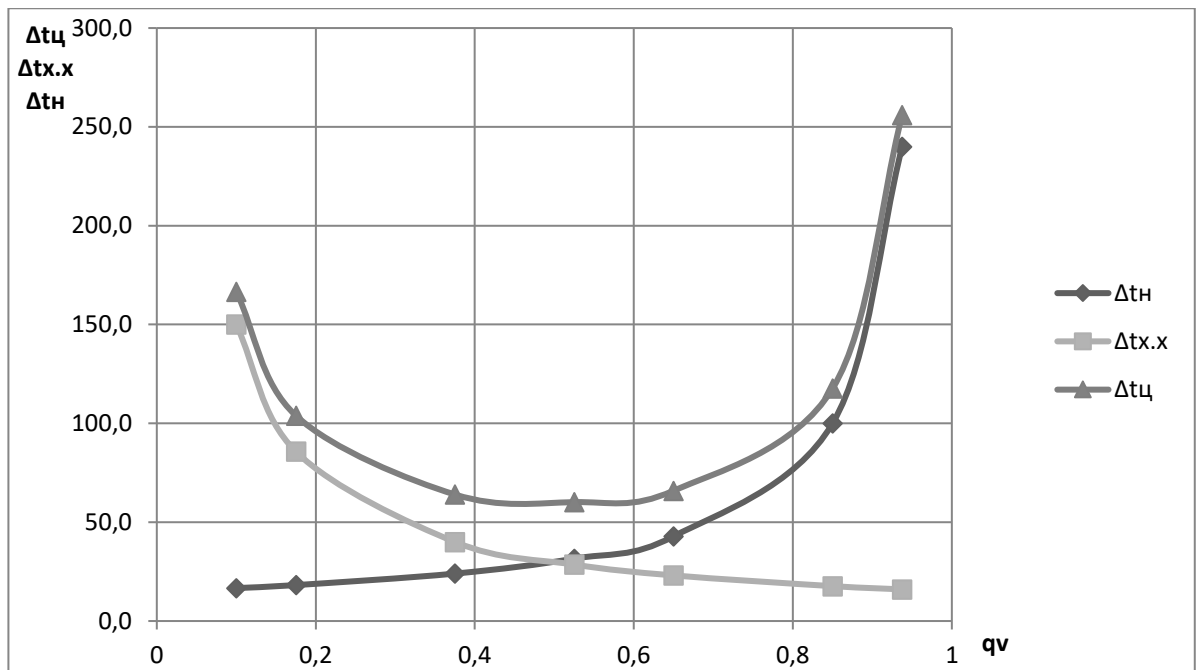


Рисунок 3.8 - Тривалості циклу, інтервалів нагнітання та холостого ходу, залежно від навантаження qv

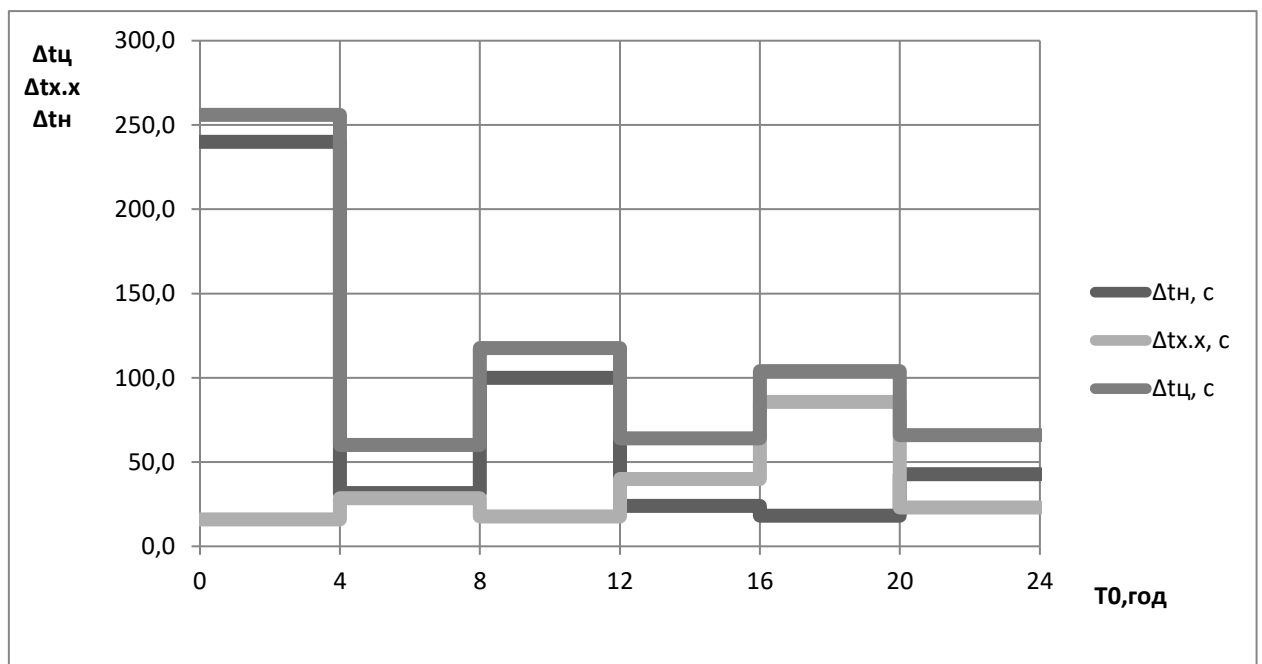


Рисунок 3.9 – Графік залежності регульовальних характеристик Δt_n , $\Delta t_{x.x}$, $\Delta t_{\text{ц}}$, від часу T_0

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

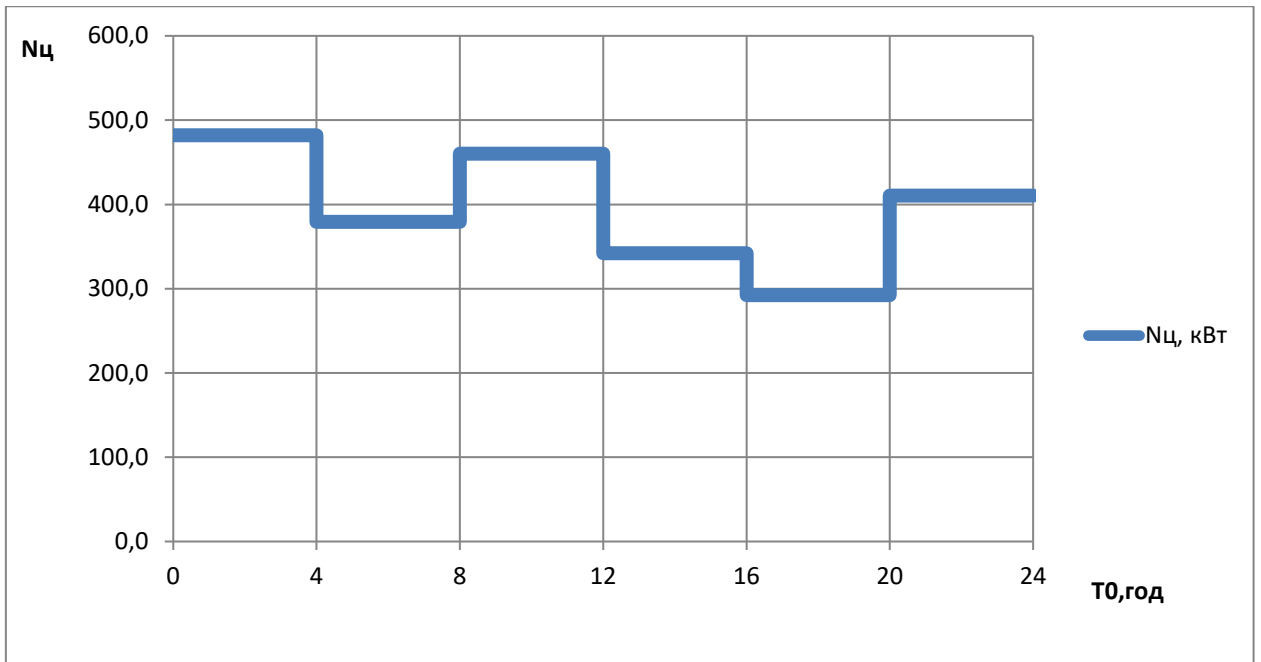


Рисунок 3.10 – Графік залежності потужності $N_{ц}$ від часу T_0

3.1.3 Компресорна станція при роботі від 2 до 8 компресорів

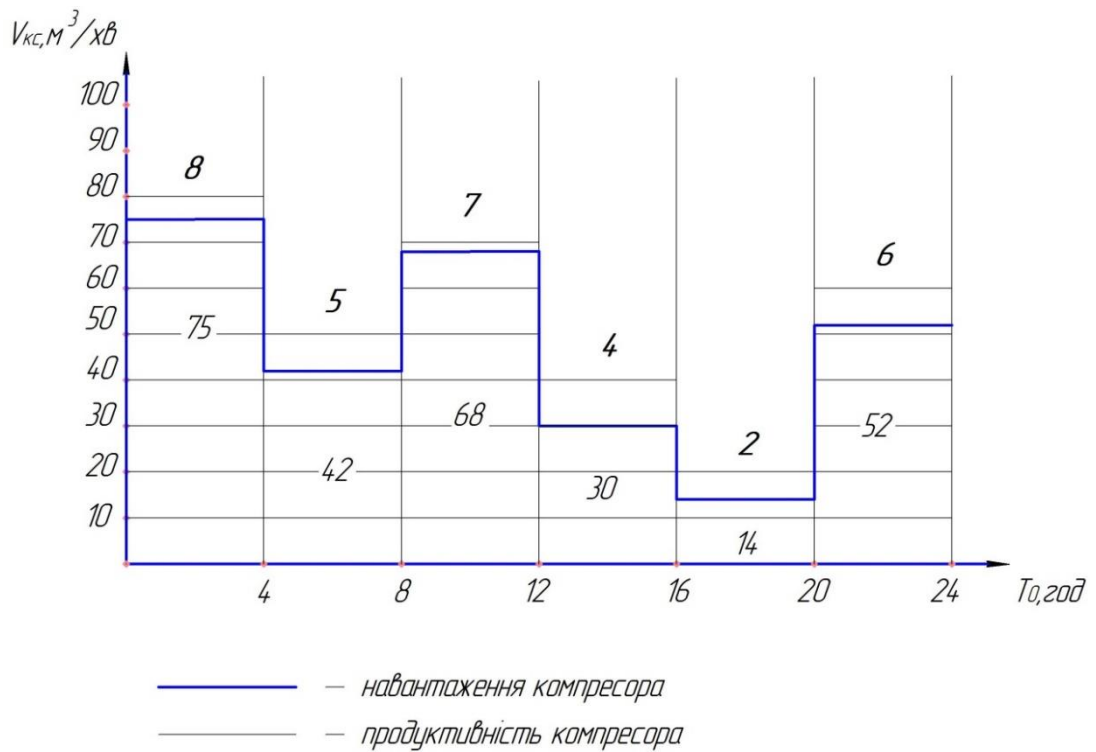


Рисунок 3.11 – Добовий графік навантаження і продуктивності КС

Таблиця 3.3 – Розрахунок регулювальних характеристик гвинтової компресорної станції

Розрахун.параметр	Номер режиму					
	1	2	3	4	5	6
V_{II}	75	42	68	30	14	52
qv	0,94	0,84	0,97	0,75	0,70	0,87
$\Delta t_n, c$	240,0	150,0	600,0	120,0	200,0	150,0
$\Delta t_{x.x}, c$	16,0	28,6	17,6	40,0	85,7	23,1
$\Delta t_{ц}, c$	256,0	178,6	617,6	160,0	285,7	173,1
$Z, 1/год$	0,9	3,2	0,5	5,6	12,6	2,3
$N_{ц}, кВт$	482,1	286,1	429,2	217,7	105,7	348,3
$\Delta \tau, год$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$W_i, кВт \cdot год$	1928,2	1144,5	1716,7	870,8	423,0	1393,3

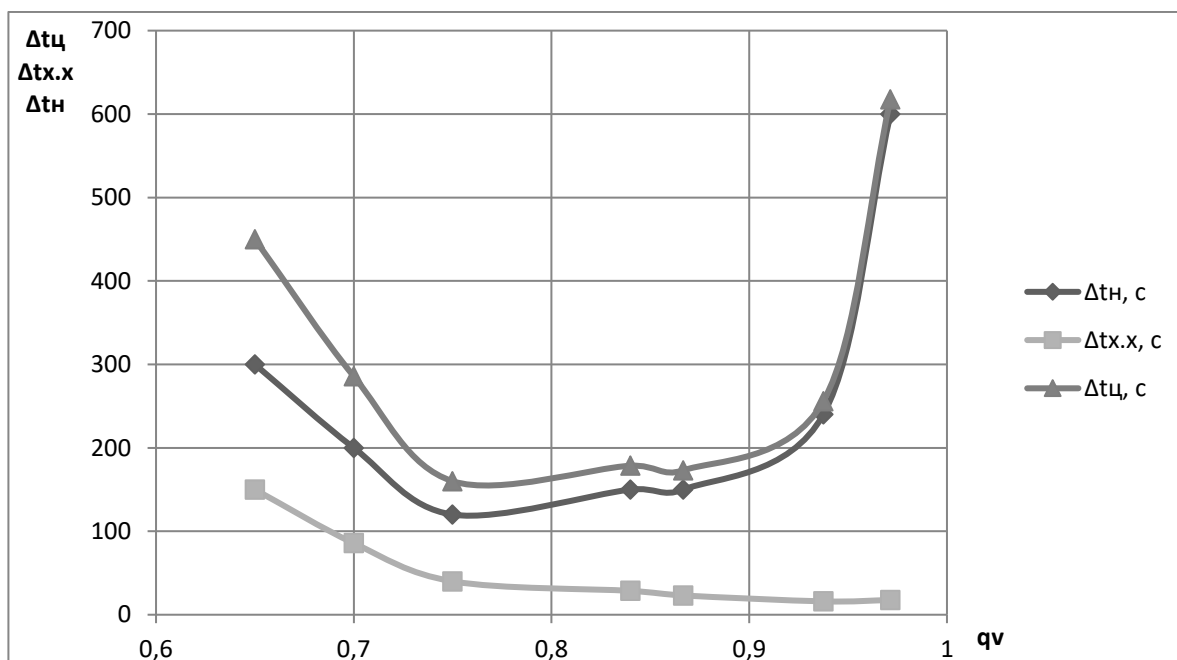


Рисунок 3.12 - Тривалості циклу, інтервалів нагнітання та холостого ходу, залежно від навантаження qv

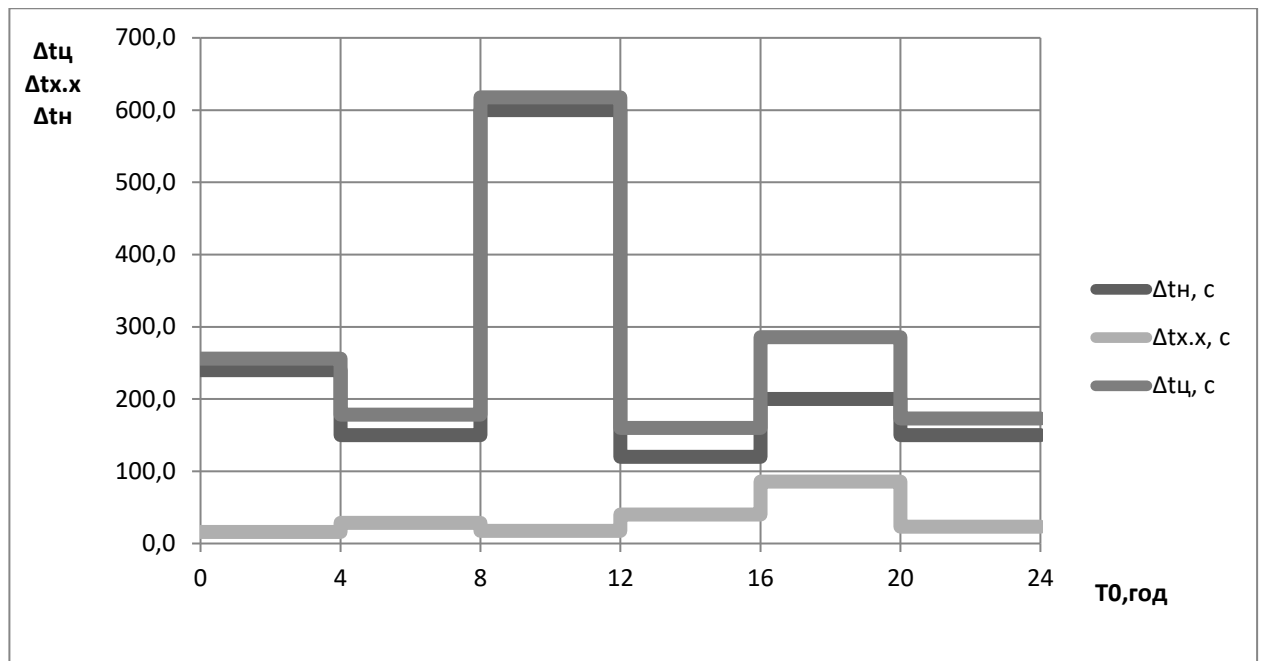


Рисунок 3.13 – Графік залежності регулювальних характеристик Δt_n , $\Delta t_{x.x}$, Δt_c , від часу T_0

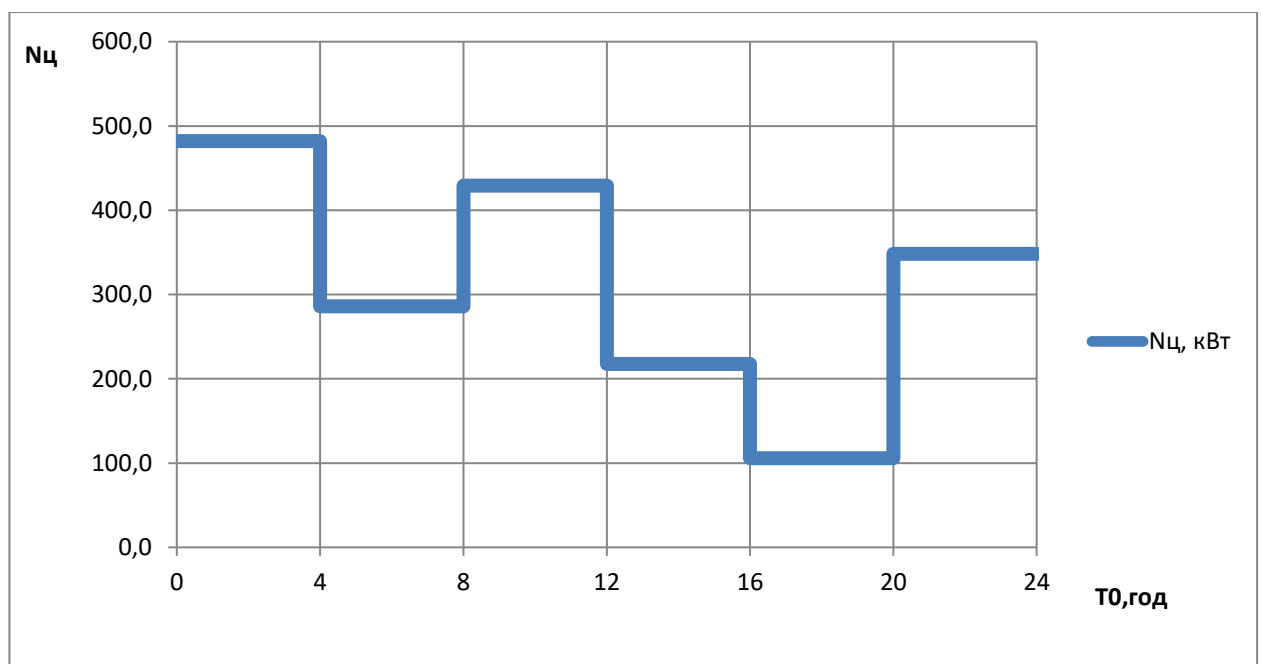


Рисунок 3.14 – Графік залежності потужності N_c від часу T_0 .

3.2 Порівняння результатів

Добові витрати енергії визначаються за формулою 3.6 підсумовуванням за ділянками добутків $N_{ц,i} \cdot \Delta \tau_i$:

$$W = \sum_{i=1}^6 (N_{ц,i} \cdot \Delta\tau_i), \text{кВт}\cdot\text{год.}, \quad (3.6)$$

де $\Delta\tau_i$ – тривалість ділянки, год. [1, с. 154].

Загальна кількість циклів за одну добу визначається за формулою 3.7:

$$K = \sum_{i=1}^6 (\Delta\tau_i \cdot Z_i) \quad (3.7)$$

При порівнянні результатів роботи 10, 8 та від 2 до 8 компресорів був побудований графік і таблиця, на яких видно, що найменші затрати енергії були при роботі від 2 до 8 компресорів, при цьому буде найбільша кількість циклів.

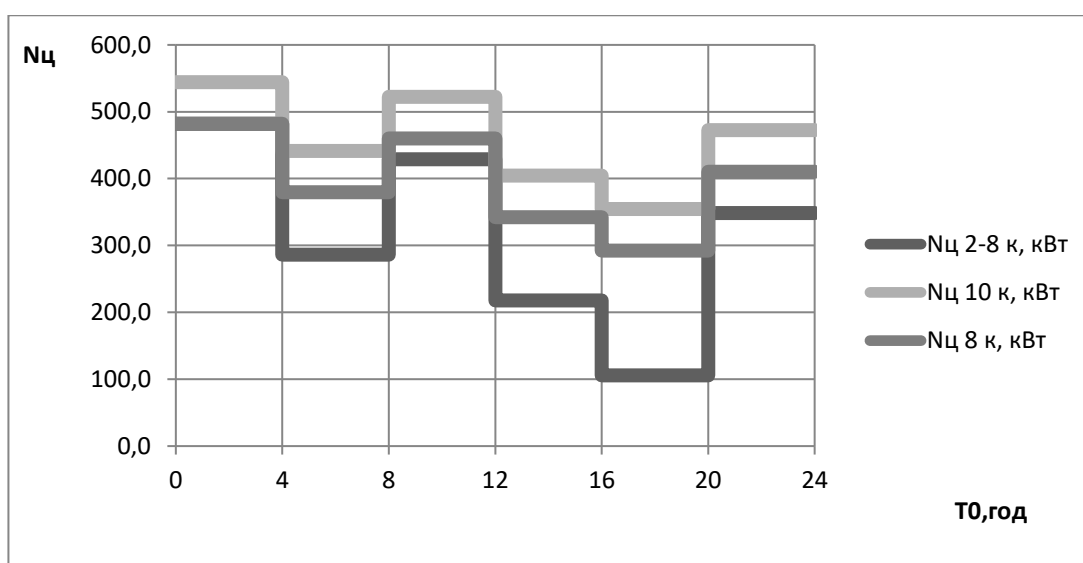


Рисунок 3.15 – Графік порівняння потужностей $N_{ц}$ залежно від часу T_0 при роботі від 2 до 8, 8, 10 компресорів

Таблиця 3.4 – Порівняння добових витрат і циклів при роботі 2-8, 8, 10 компресорів

Варіант	10 к	8 к	2-8 к
W, кВт·год	10959,7	9466,9	7476,5
K, 1/год	58,8	62,4	100,4

4. Регулювання способом «пуск-зупинка»

Досвід показує, що для гвинтових установок малої потужності (до 100 кВт) при незначному розбиранні повітря економічно доцільніше робити періодичні вимкнення компресора. [1, с. 151]

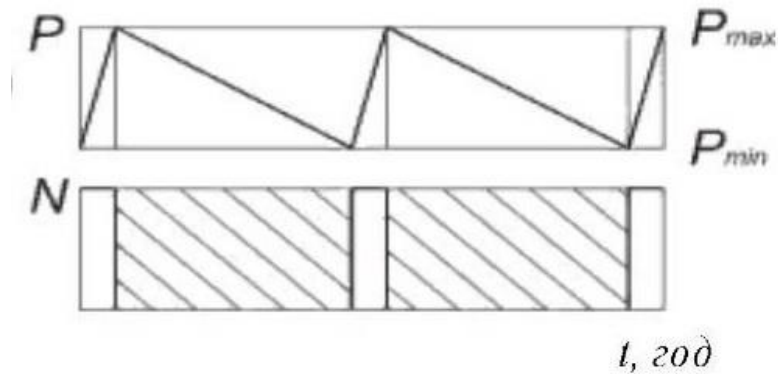


Рисунок 4.1 – Регулювання вимкненням компресора

Переривчасте регулювання компресорів шляхом чергування пусків і зупинок може бути застосоване лише до мобільних компресорів невеликої потужності. Це обмеження викликано двома основними вимогами до компресорів: швидкість процедур пуску і зупинки і допустимість електричного навантаження.

Спосіб визначення характеристик регулювання шляхом «пуск-зупинка» в основному аналогічний регулюванню, шляхом переведення на холостий хід, розглянутому вище. Відмінність полягає лише в тому, що замість фази холостого ходу Δt_{xx} вводиться тривалість відключення двигуна $\Delta t_{ост}$. Відповідно замість потужності холостого ходу слід приймати нульову потужність. Регулювальні характеристики як розмірні, так і безрозмірні, мають вигляд, аналогічний формулам вище, в п.3, необхідно лише замінити Δt_{xx} на $\Delta t_{ост}$, тож значення регулювальних характеристик, крім потужності, залишаються такими ж.

Потужність, споживана електроприводом за один цикл «пуск – зупинка»:

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$N_{ц} = N_{к} \cdot q_v, \text{ кВт}, \quad (4.1)$$

де $q_v = \frac{V_{\text{спож}}}{V_{к}}$ – відносний параметр споживання повітря.

У цьому випадку має місце значна економія потужності в порівнянні з регулюванням переходом на холостий хід при однакових значеннях тривалості фази нагнітання Δt_n . [1, с. 160-161]

4.1 Розрахунок в ЕОМ – програмі

Для заданого в п.3 обладнання КС, графіку навантаження, розрахованих регулювальних характеристик, було розраховано потужність, споживану за один цикл, та побудовано графік по відповідним значенням, а також порівняно з потужністю в аналогічному режимі, при переведенні компресора на холостий хід.

Таблиця 4.1 – Розрахунок регулювальних характеристик гвинтової компресорної станції, при регулюванні способом «пуск-зупинка»

Розрахун.параметр	Номер режиму					
	1	2	3	4	5	6
$V_{\text{спож}}$	75	42	68	30	14	52
q_v	0,94	0,84	0,97	0,75	0,70	0,87
$\Delta t_n, \text{ с}$	240,0	150,0	600,0	120,0	200,0	150,0
$\Delta t_{\text{ост}}, \text{ с}$	16,0	28,6	17,6	40,0	85,7	23,1
$\Delta t_{ц}, \text{ с}$	256,0	178,6	617,6	160,0	285,7	173,1
$Z, \text{ 1/год}$	0,9	3,2	0,5	5,6	12,6	2,3
$N_{ц}, \text{ кВт}$	466,5	261,2	423,0	186,6	87,1	323,4
$\Delta \tau, \text{ год}$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$W_i, \text{ кВт}\cdot\text{год}$	1866,0	1045,0	1691,8	746,4	348,3	1293,8

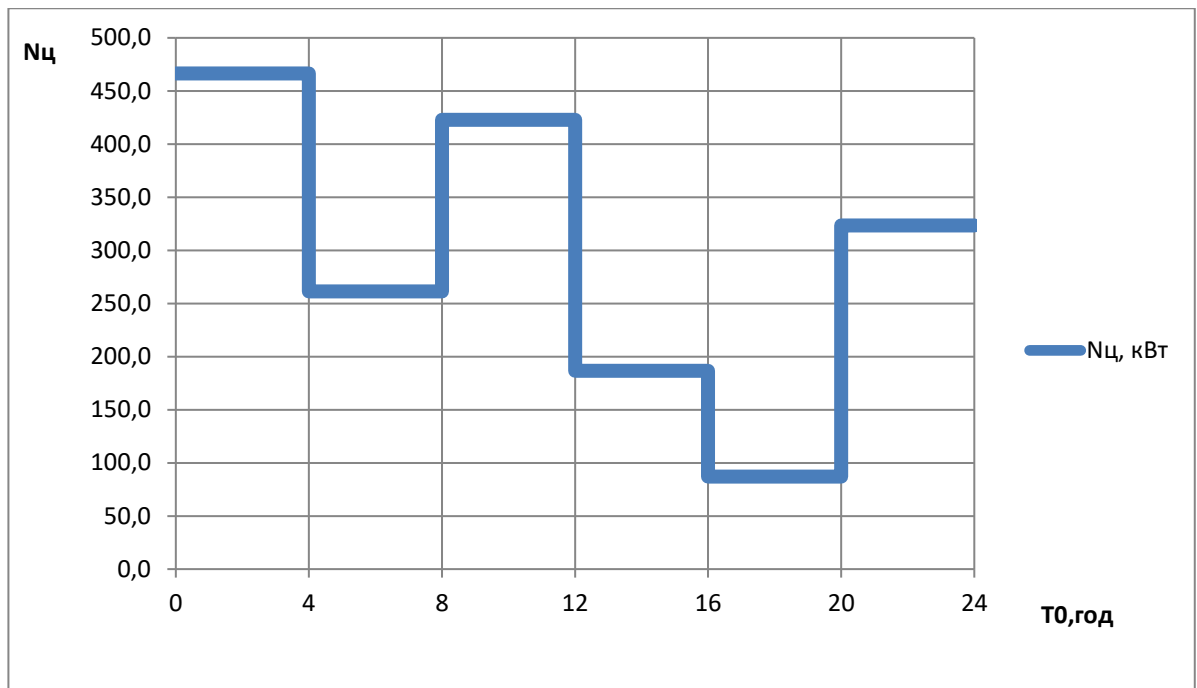


Рисунок 4.2 – Графік залежності потужності $N_{ц}$ від часу T_0 , при регулюванні способом «пуск-зупинка»

Таблиця 4.2 – Порівняння потужностей при регулюванні способом «пуск-зупинка» та регулюванні переведенням на холостий хід

$N_{ц}$ пуск-ост., кВт	466,5	261,2	423,0	186,6	87,1	323,4
$N_{ц}$ хол.ход, кВт	482,1	286,1	429,2	217,7	105,7	348,3

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КМ 04.00.00.00 ПЗ

Лист

33

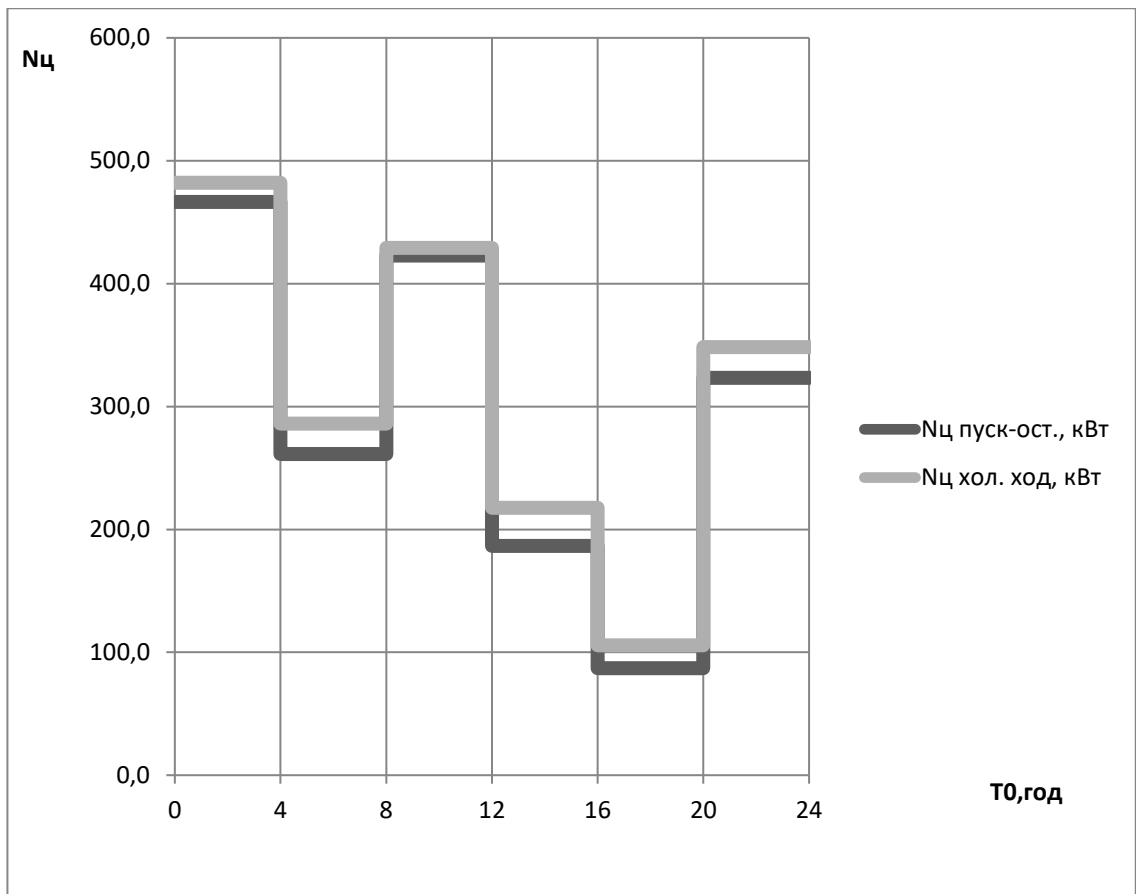


Рисунок 4.3 – Графік порівняння потужностей $N_{ц}$ залежно від часу T_0 при регулюванні способом «пуск-зупинка» та регулюванні переведенням на холостий хід

5. Комбінований спосіб регулювання

Хоча більш вигідним було би повне виключення привода на період рівний $\Delta t_{x,x}$, слід мати на увазі, що в якості приводів компресорів зазвичай використовуються асинхронні електродвигуни. При пуску таких двигунів споживаний з мережі струм зростає в кілька разів у порівнянні зі споживанням на робочому режимі. Збільшуються навантаження на пускові пристрої, кабелі, електропідстанцію. Необхідно забезпечувати запас для всього електрообладнання. Зростають капітальні витрати. Крім того, кожен черговий пуск двигуна можливий тільки після охолодження його обмоток, яке відбувається протягом тривалого часу. [1, с.161] При цьому кількість циклів «пуск – зупинення» лімітується ресурсом установки (табл. 5.1). Звичайно кількість циклів обмежують до 4–8 за 1 годину. Чим більша потужність приводного двигуна, тим менша допускається частота вмикань. [1, с.151]

Таблиця 5.1 – Допустима кількість вмикань асинхронних електродвигунів за 1 год.

Потужність,кВт	285	180	162	80	60	36
i , зуп./год	4	6	6	8	10	20
$\Delta t_{ост}$, хв	15	10	10	7,5	6	3

Отже, найбільш економічний спосіб регулювання режиму роботи компресора є комбінованим, тобто складається з поєднання повторно-короткочасного режиму «вмикання – вимикання» та умовно-безперервного режиму з переведенням на холостий хід і назад. Очевидно, що необхідно уникати як надмірно довгих фаз холостого ходу, так і занадто коротких зупинень. Зупинити компресор чи перевести на холостий хід – залежить від тривалості цих фаз. [1, с. 163]

						Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	КМ 04.00.00.00 ПЗ	

5.1 Розрахунок в ЕОМ – програмі

Для заданого в п.3 обладнання КС, графіку навантаження, розрахованих регулювальних характеристик, було розраховано потужність для комбінованого способу регулювання, споживану за один цикл, та побудовано графік по відповідним значенням, а також порівняно з потужністю в аналогічному режимі, при переведенні компресора на холостий хід, регулюванням способом «пуск-зупинка» та потужністю без регулювання компресорів.

Таблиця 5.2 – Розрахунок регулювальних характеристик гвинтової компресорної станції, при комбінованому способі регулювання

Розрахун.параметр	Номер режиму					
	1	2	3	4	5	6
Vспож	75	42	68	30	14	52
qv	0,94	0,84	0,97	0,75	0,70	0,87
Δt_n , с	240,0	150,0	600,0	120,0	200,0	150,0
$\Delta t_{x.х;ост}$, с	16,0	28,6	17,6	40,0	85,7	23,1
$\Delta t_{ц}$, с	256,0	178,6	617,6	160,0	285,7	173,1
Z, 1/год	0,9	3,2	0,5	5,6	12,6	2,3
Нц, кВт	466,5	261,2	423,0	217,7	105,7	323,4
$\Delta \tau$, год	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
W _i , кВт·год	1866,0	1045,0	1691,8	870,8	423,0	1293,8

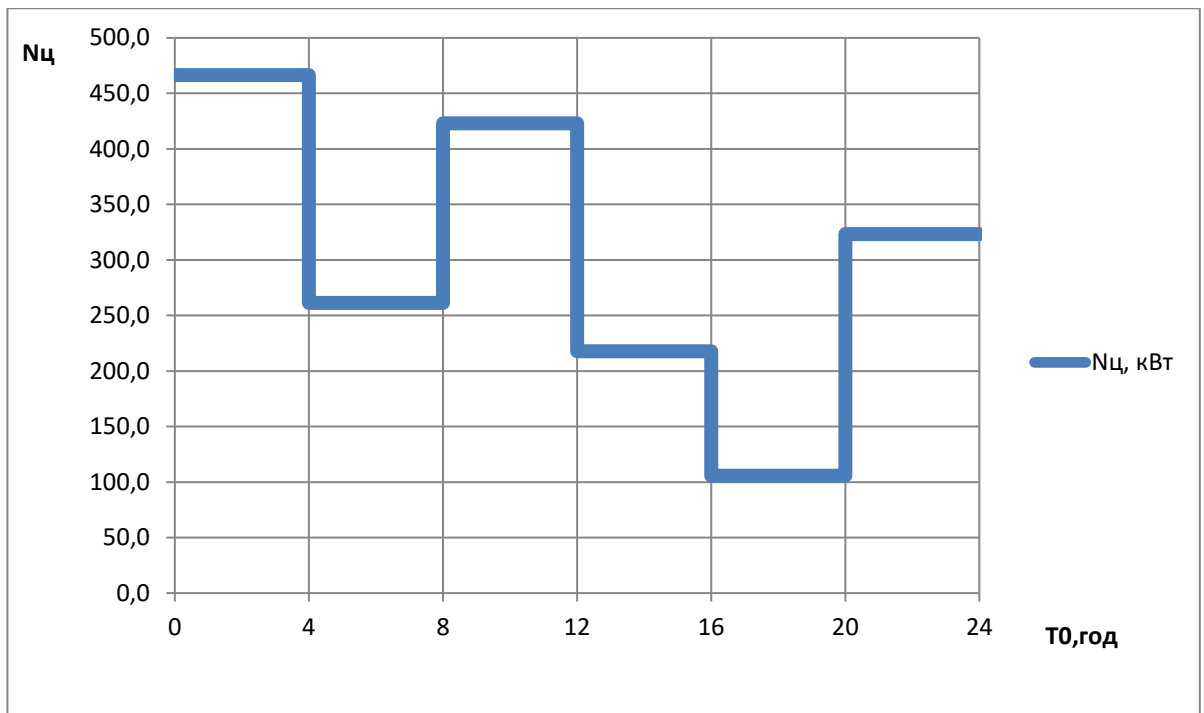


Рисунок 5.1 – Графік залежності потужності $N_{ц}$ від часу T_0 , при комбінованому регулюванні

Таблиця 5.3 – Порівняння добових потужностей при регулюванні способом «пуск-зупинка», регулюванні переведенням на холостий хід та комбінованим методом

$N_{ц}$ пуск-ост., кВт	466,5	261,2	423,0	186,6	87,1	323,4
$N_{ц}$ хол.ход , кВт	482,1	286,1	429,2	217,7	105,7	348,3
$N_{ц}$ комб., кВт	466,5	261,2	423,0	217,7	105,7	323,4

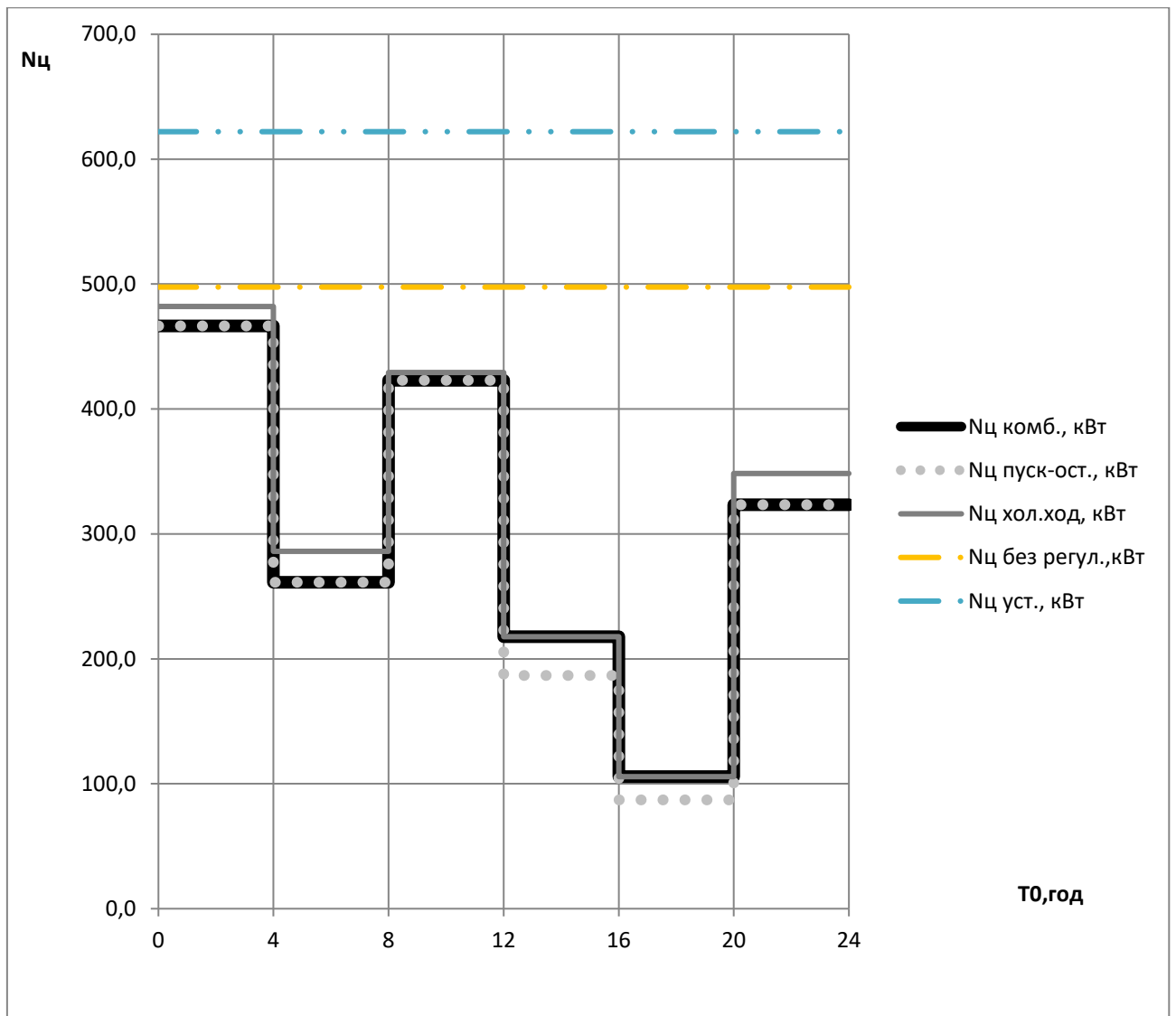


Рисунок 5.2 – Графік порівняння потужностей $N_{ц}$ залежно від часу T_0 при регулюванні способом «пуск-зупинка», регулюванні переведенням на холостий хід, комбінованому регулюванні та за відсутності регулювання

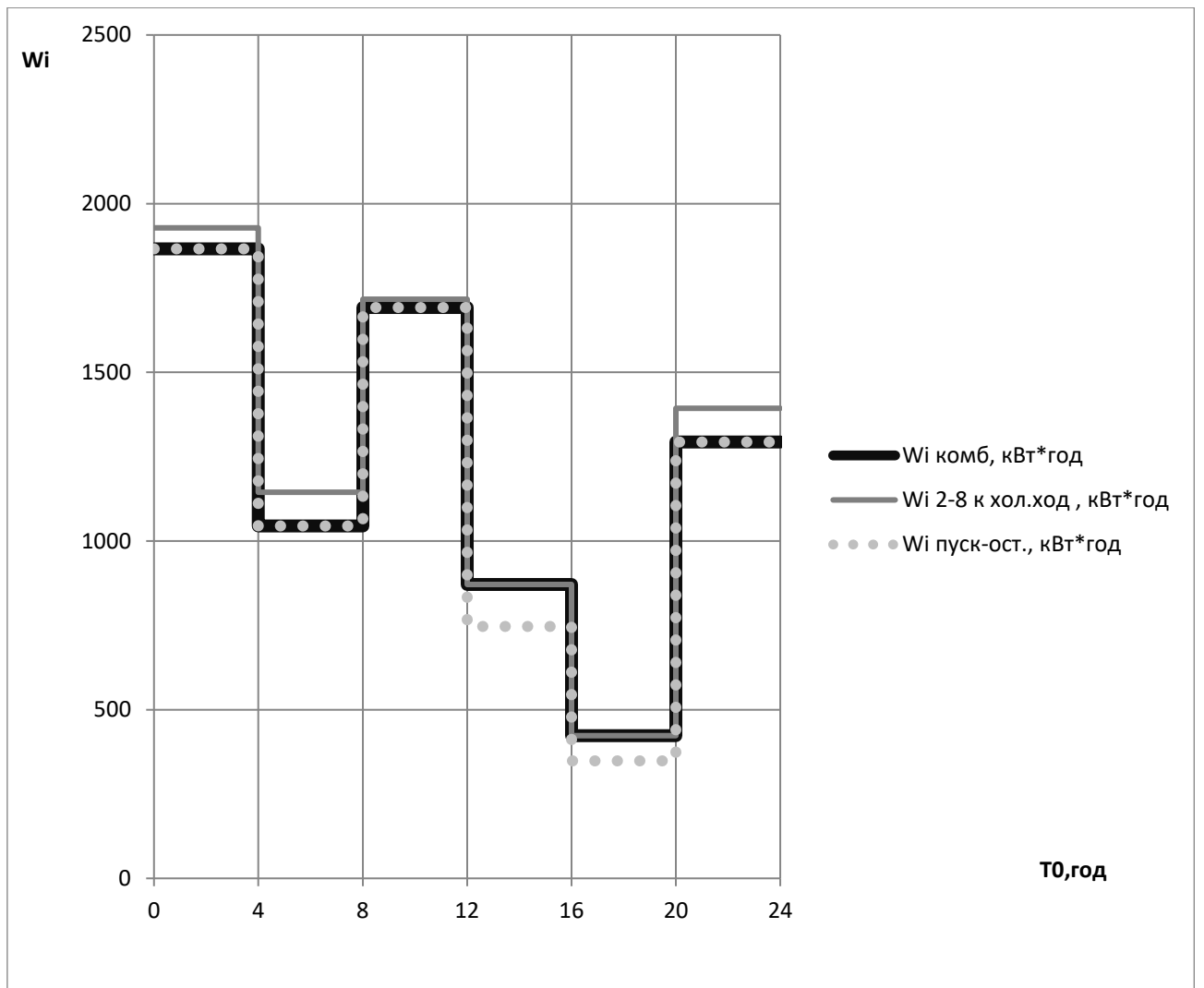


Рисунок 5.3 – Графік порівняння добових потужностей W_i залежно від часу T_0 при регулюванні способом «пуск-зупинка», регулюванні переведенням на холостий хід та комбінованим методом

Таблиця 5.4 – Розрахунок вартості затрат на електроенергію в залежності від способу регулювання

Спосіб регулювання	Добова потужність W_i , кВт*год	Ціна на електроенергію $C_{э/э}$, грн/(кВт*год)	Вартість затрат на електроенергію, грн*доба $C_{э/э} = c_{э/э} \cdot W_i$	Річна вартість затрат на електроенергію, грн*рік
Без регулювання	11 942,4	1,8	21 496,32	7 846 156,8
Холостий хід	7 476,4		13 457,52	4 911 994,8
Пуск-зупинка	6 991,2		12 584,16	4 593 218,4
Комбінований	7 190		12 942	4 723 830

6. Порівняння основних показників ефективності компресорної станції з різними способами регулювання

Таблиця 6.1 – Порівняння місячних затрат потужності і циклів при різному регулюванні компресорів

Спосіб регулювання		$W_i, \text{кВт} \cdot \text{міс}$	$Z, 1/\text{міс}$
Холостий хід	10 компресорів	328791	1764
	8 компресорів	284007	1872
	2-8 компресорів	224295	3012
Пуск - зупинка		209736	3012
Комбінований метод		215700	3012

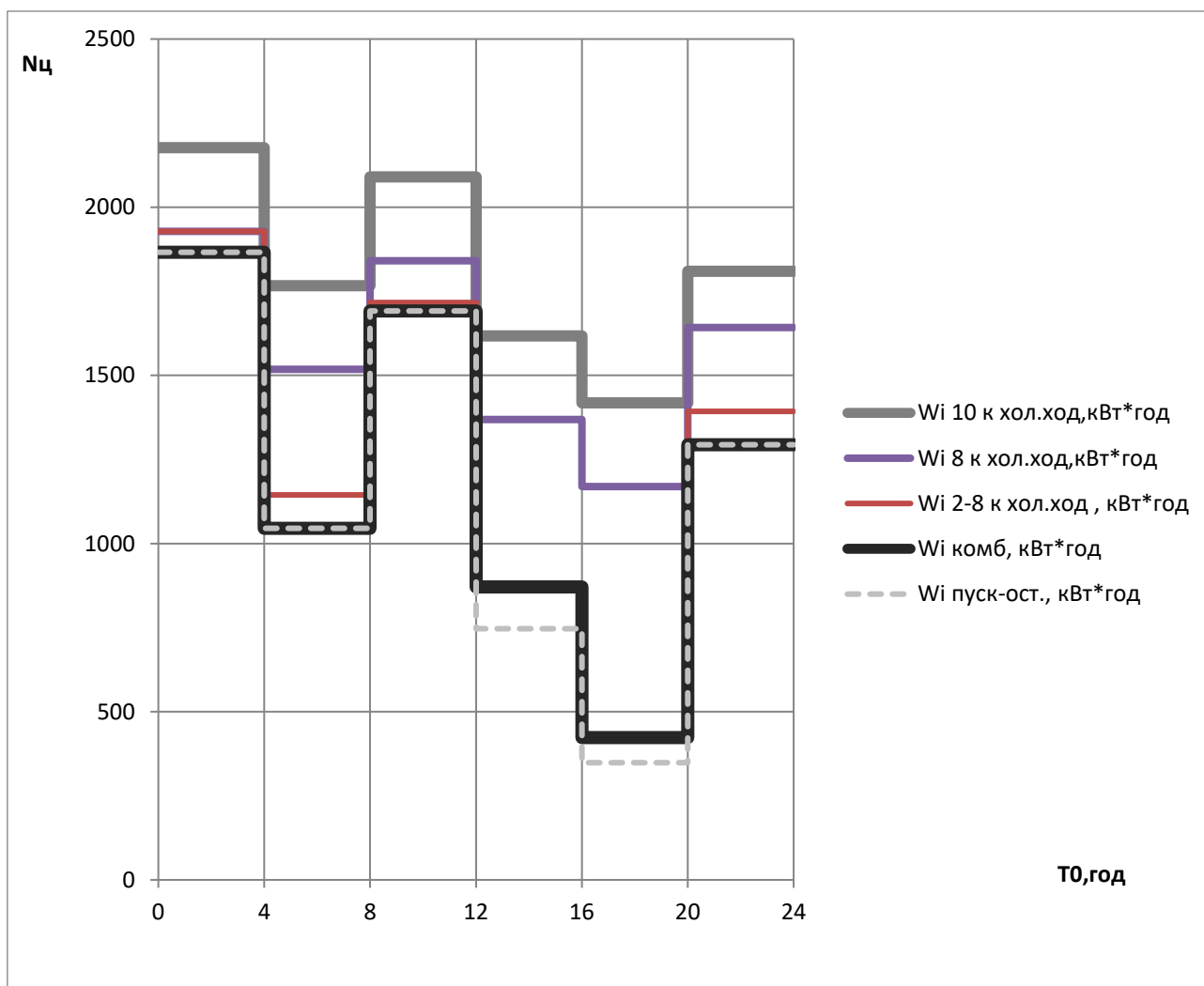


Рисунок 5.3 – Графік порівняння добових потужностей W_i залежно від часу T_0 при різних способах регулювання компресорів

7. Регулювання повітряної КС з компресорами різних типорозмірів

Обладнання КС включає вісім компресорів : два компресори ВВ 32/8 продуктивністю $V_k = 32 \text{ м}^3/\text{хв.}$, номінальною потужністю $N_k = 180 \text{ кВт}$; три компресори НВЭ 15/0,7 продуктивністю $V_k = 15 \text{ м}^3/\text{хв.}$, номінальною потужністю $N_k = 100 \text{ кВт}$; три компресори НВЭ 10/0,7 продуктивністю $V_k = 10 \text{ м}^3/\text{хв.}$, номінальною потужністю $N_k = 62,2 \text{ кВт}$. «Базовий» компресор ВВ 32/8 , компресори ВВ 32/8, НВЭ 15/0,7, НВЭ 10/0,7 знаходяться в резерві. Компресори оснащені системою холостого ходу з діапазоном налаштування $\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min} = 1$ кожен, місткість мережі $Q = 20 \text{ м}^3$. Для заданого графіку навантаження (рис.7.2) розрахувати регульовальні характеристики компресорної станції в розробленій програмі в Excel 2010, при регулюванні переведенням на холостий хід, періодичним «пуском-зупинкою» компресорів та комбінованим методом і побудувати графіки по відповідним значенням та порівняти способи регулювання.

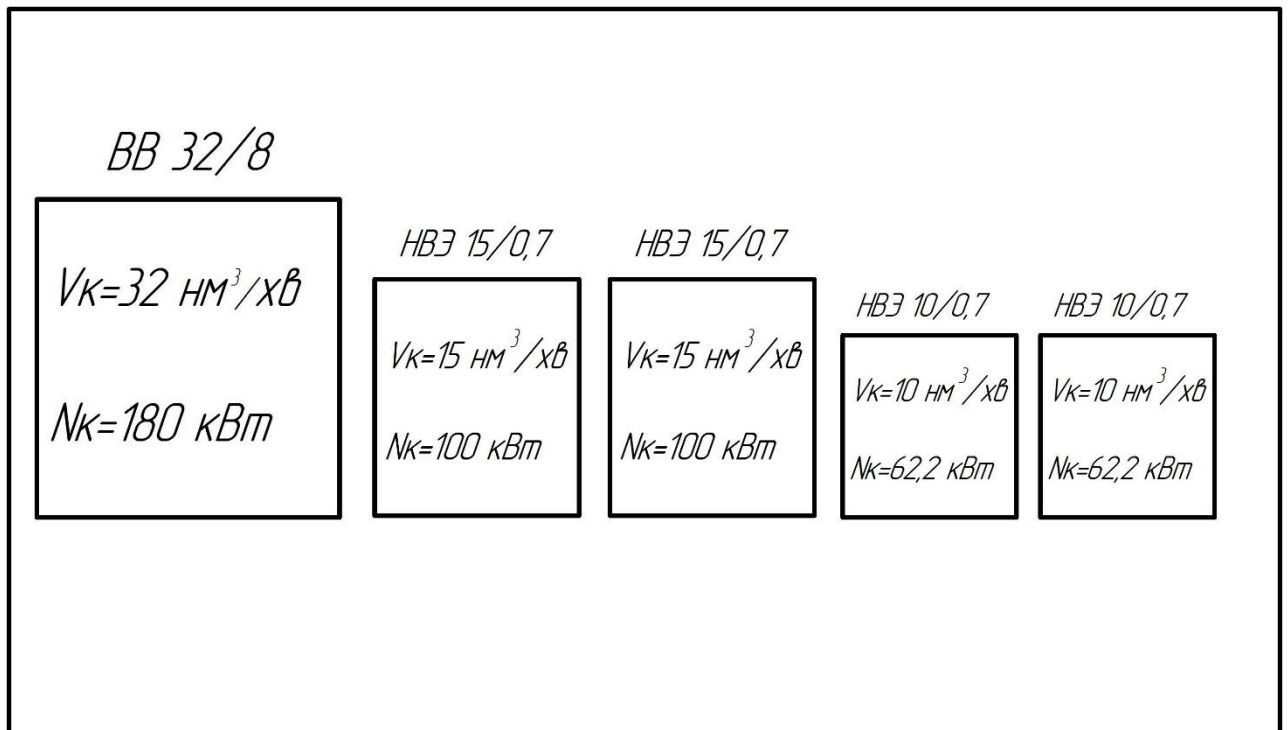


Рисунок 7.1 – Основні компресори компресорної станції

7.1 Регулювання переведенням на холостий хід

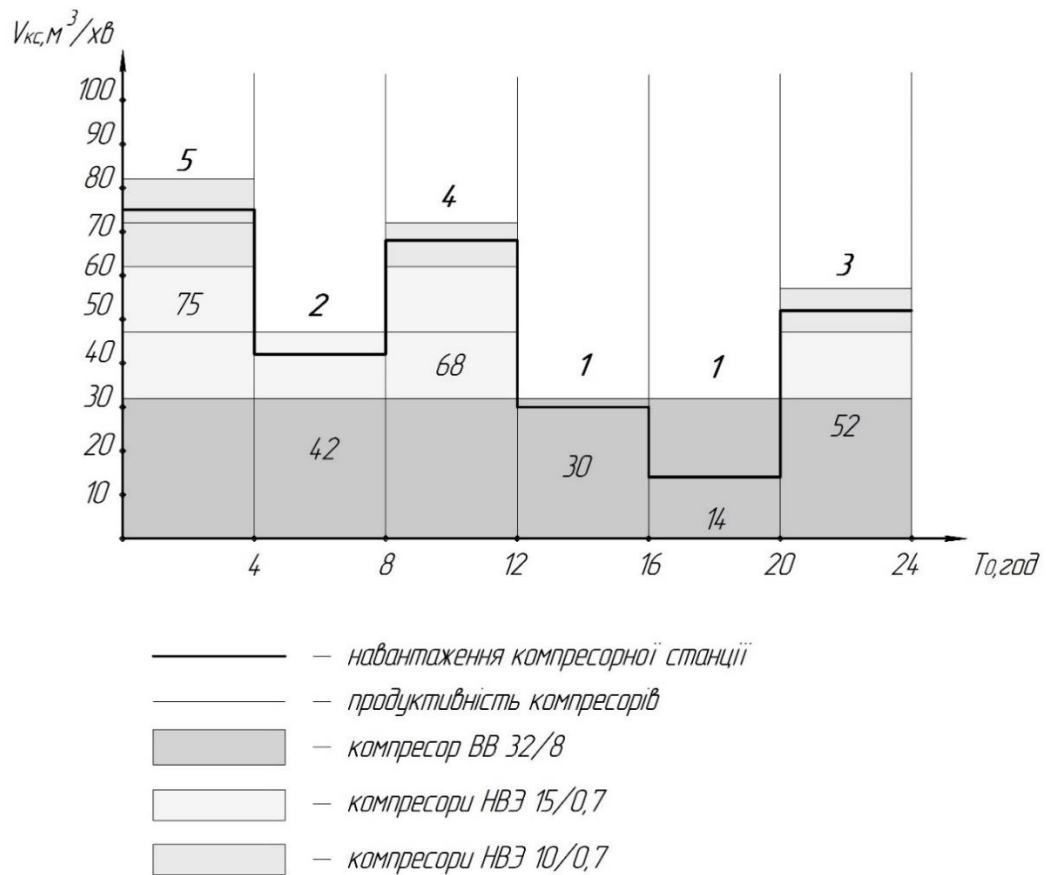


Рисунок 7.2 – Добовий графік навантаження і продуктивності КС

Таблиця 7.1 – Розрахунок регулювальних характеристик гвинтової компресорної станції при переведенні компресорів на холостий хід

Розрахун.параметр	Номер режиму					
	1	2	3	4	5	6
$V_{\text{спож}}$	75	42	68	30	14	52
q_v	0,915	0,894	0,944	0,938	0,438	0,912
$\Delta t_n, \text{с}$	171,4	240,0	300,0	600,0	66,7	240,0
$\Delta t_{x.x}, \text{с}$	16,0	28,6	17,6	40,0	85,7	23,1
$\Delta t_{\text{ц}}, \text{с}$	187,4	268,6	317,6	640,0	152,4	263,1
$Z, 1/\text{год}$	1,1	2,4	0,9	2,2	9,2	1,7
$N_{\text{ц}}, \text{кВт}$	482,9	265,1	429,9	174,4	129,4	327,2
$\Delta \tau, \text{год}$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$W_i, \text{кВт}\cdot\text{год}$	1931,5	1060,4	1719,7	697,5	517,5	1308,8

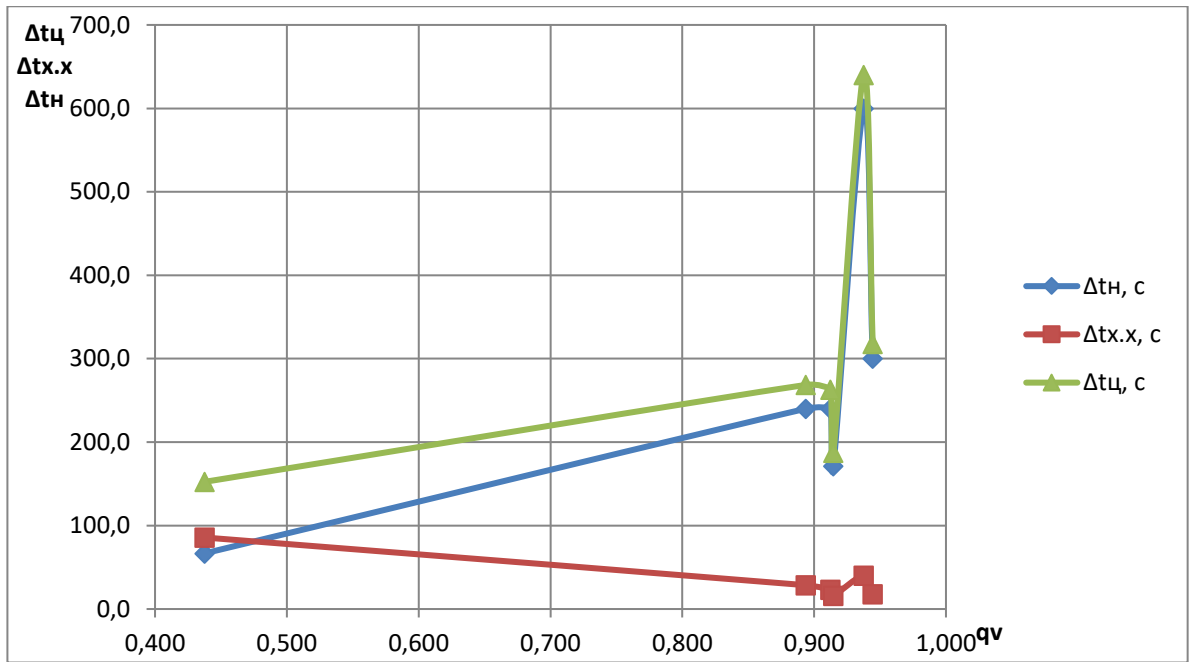


Рисунок 7.3 - Тривалості циклу, інтервалів нагнітання та холостого ходу, залежно від навантаження qv

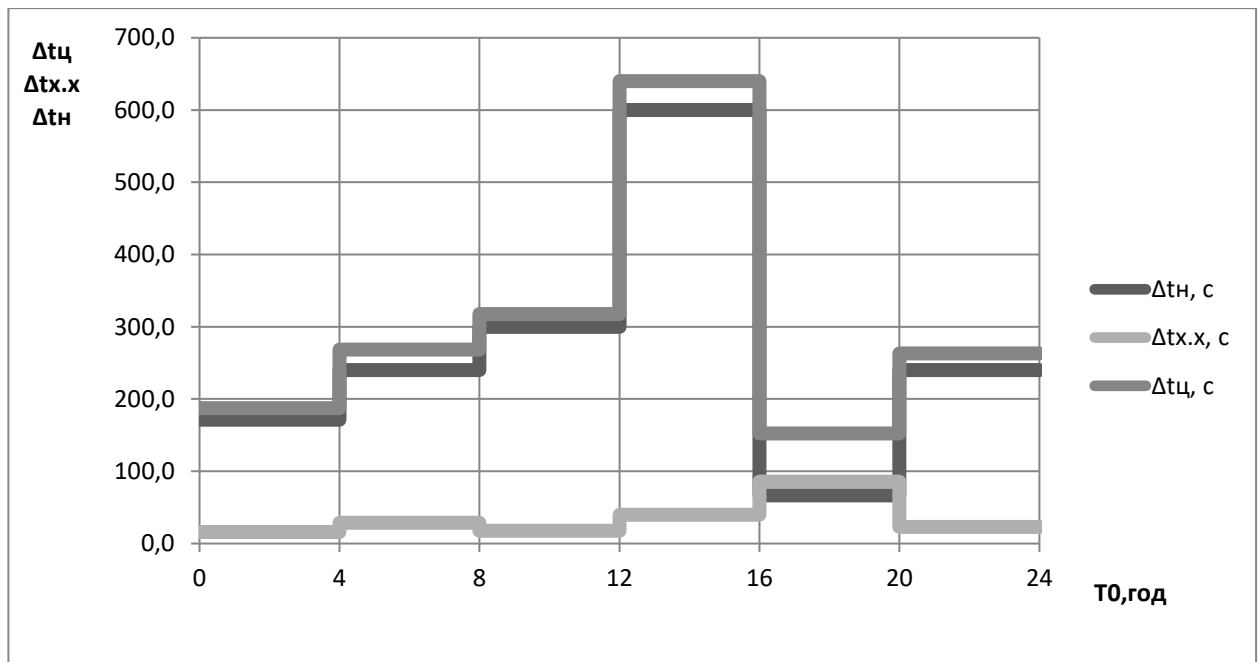


Рисунок 7.4 – Графік залежності регульовальних характеристик Δt_n , $\Delta t_{x.x}$, Δt_c , від часу T_0

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

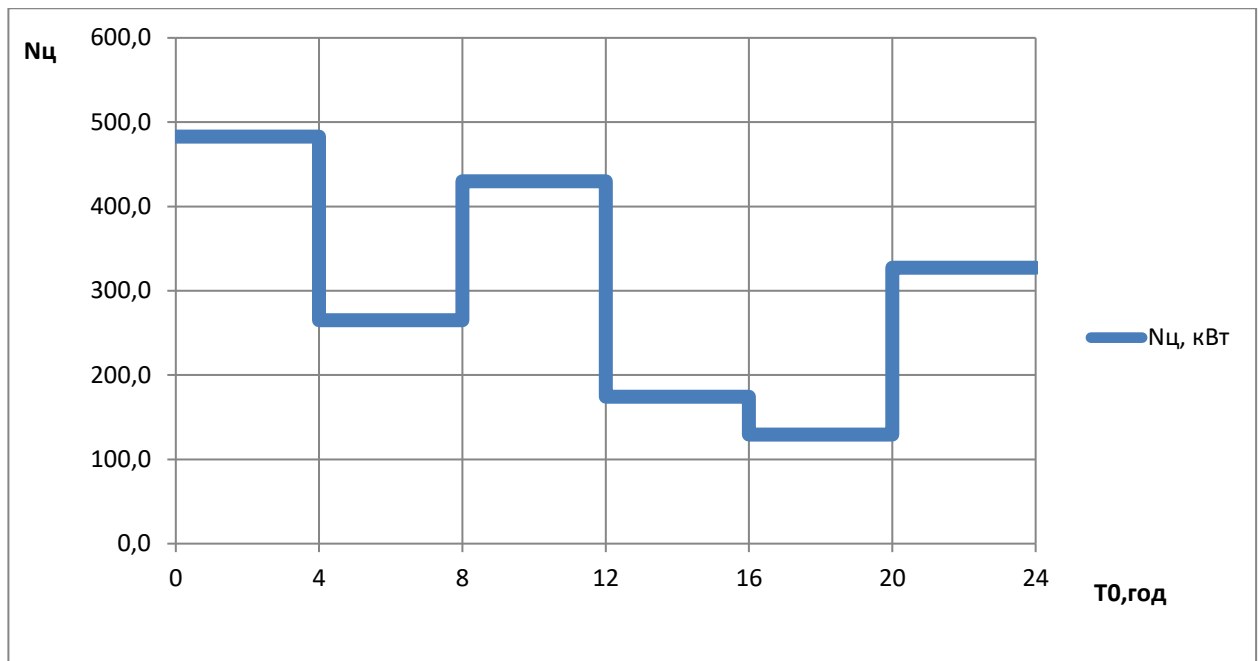


Рисунок 7.5 – Графік залежності потужності $N_{ц}$ від часу T_0 при переведенні компресорів на холостий хід

7.2 Регулювання способом «пуск-зупинка»

Регулювальні характеристики як розмірні, так і безрозмірні, мають вигляд, аналогічний в 7.1, необхідно лише замінити Δt_{xx} на $\Delta t_{ост}$, тож значення регулювальних характеристик залишаються такими ж, відрізняється лише потужність $N_{ц}$, яка розраховується за формулою 4.1.

Тож для заданого в п.7-7.1 обладнання КС, графіку навантаження, розрахованих регулювальних характеристик, було розраховано потужність, споживану за один цикл, та побудовано графік по відповідним значенням.

Таблиця 7.2 – Розрахунок регулювальних характеристик гвинтової компресорної станції при регулюванні способом «пуск-зупинка»

Розрахун.параметр	Номер режиму					
	1	2	3	4	5	6
$V_{\text{спож}}$	75	42	68	30	14	52
q_v	0,91	0,89	0,94	0,94	0,44	0,91
$\Delta t_n, \text{с}$	171,4	240,0	300,0	600,0	66,7	240,0
$\Delta t_{\text{ост}}, \text{с}$	16,0	28,6	17,6	40,0	85,7	23,1
$\Delta t_{\text{ц}}, \text{с}$	187,4	268,6	317,6	640,0	152,4	263,1
$Z, 1/\text{год}$	1,1	2,4	0,9	2,2	9,2	1,7
$N_{\text{ц}}, \text{кВт}$	461,3	250,2	417,6	168,8	78,8	312,2
$\Delta \tau, \text{год}$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$W_i, \text{кВт}\cdot\text{год}$	1845,4	1000,9	1670,5	675,0	315,0	1248,7

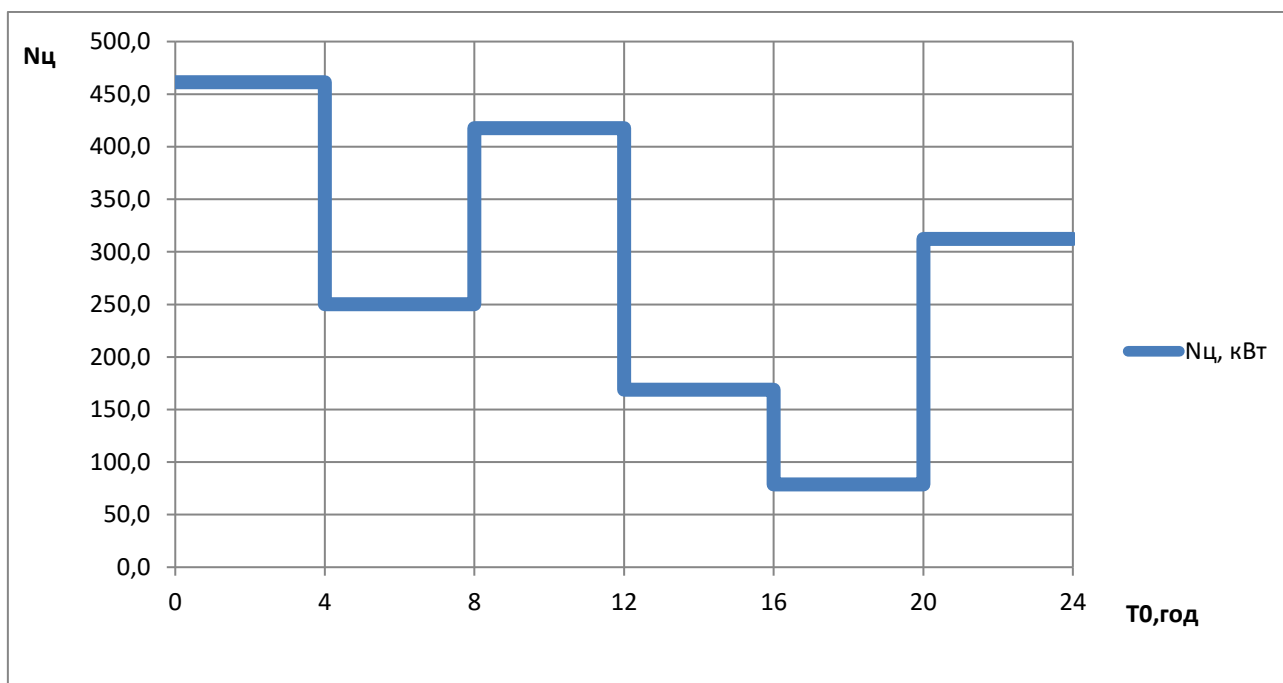


Рисунок 7.5 – Графік залежності потужності $N_{\text{ц}}$ від часу T_0 , при регулюванні способом «пуск-зупинка»

7.3 Комбінований спосіб регулювання

Для заданого в п.7 обладнання КС, графіку навантаження, розрахованих регулювальних характеристик, було розраховано потужність для комбінованого способу регулювання, споживану за один цикл, та побудовано графік по відповідним значенням, а також порівняно з добовою потужністю в аналогічному режимі, при переведенні компресора на холостий хід та регулюванням способом «пуск-зупинка».

Таблиця 7.3 – Розрахунок регулювальних характеристик гвинтової компресорної станції, при комбінованому способі регулювання

Розрахун.параметр	Номер режиму					
	1	2	3	4	5	6
$V_{\text{спож}}$	75	42	68	30	14	52
q_v	0,91	0,89	0,94	0,94	0,44	0,91
$\Delta t_n, \text{с}$	171,4	240,0	300,0	600,0	66,7	240,0
$\Delta t_{\text{ост}}, \text{с}$	16,0	28,6	17,6	40,0	85,7	23,1
$\Delta t_{\text{ц}}, \text{с}$	187,4	268,6	317,6	640,0	152,4	263,1
$Z, \text{1/год}$	1,1	2,4	0,9	2,2	9,2	1,7
$N_{\text{ц}}, \text{кВт}$	461,3	250,2	417,6	168,8	129,4	312,2
$\Delta t, \text{год}$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$W_i, \text{кВт}\cdot\text{год}$	1845,4	1000,9	1670,5	675,0	517,5	1248,7

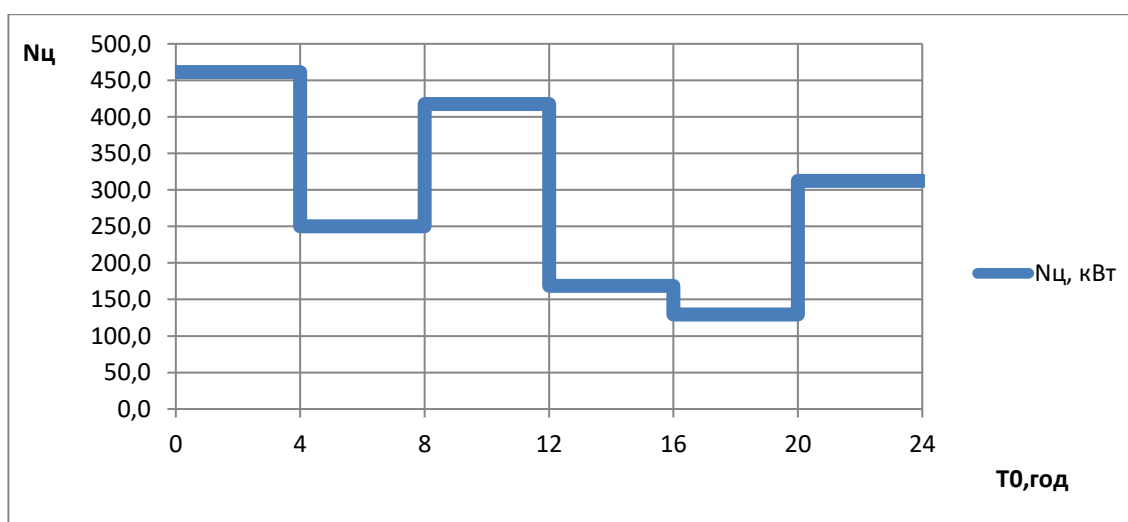


Рисунок 7.6 – Графік залежності потужності $N_{\text{ц}}$ від часу T_0 , при комбінованому регулюванні

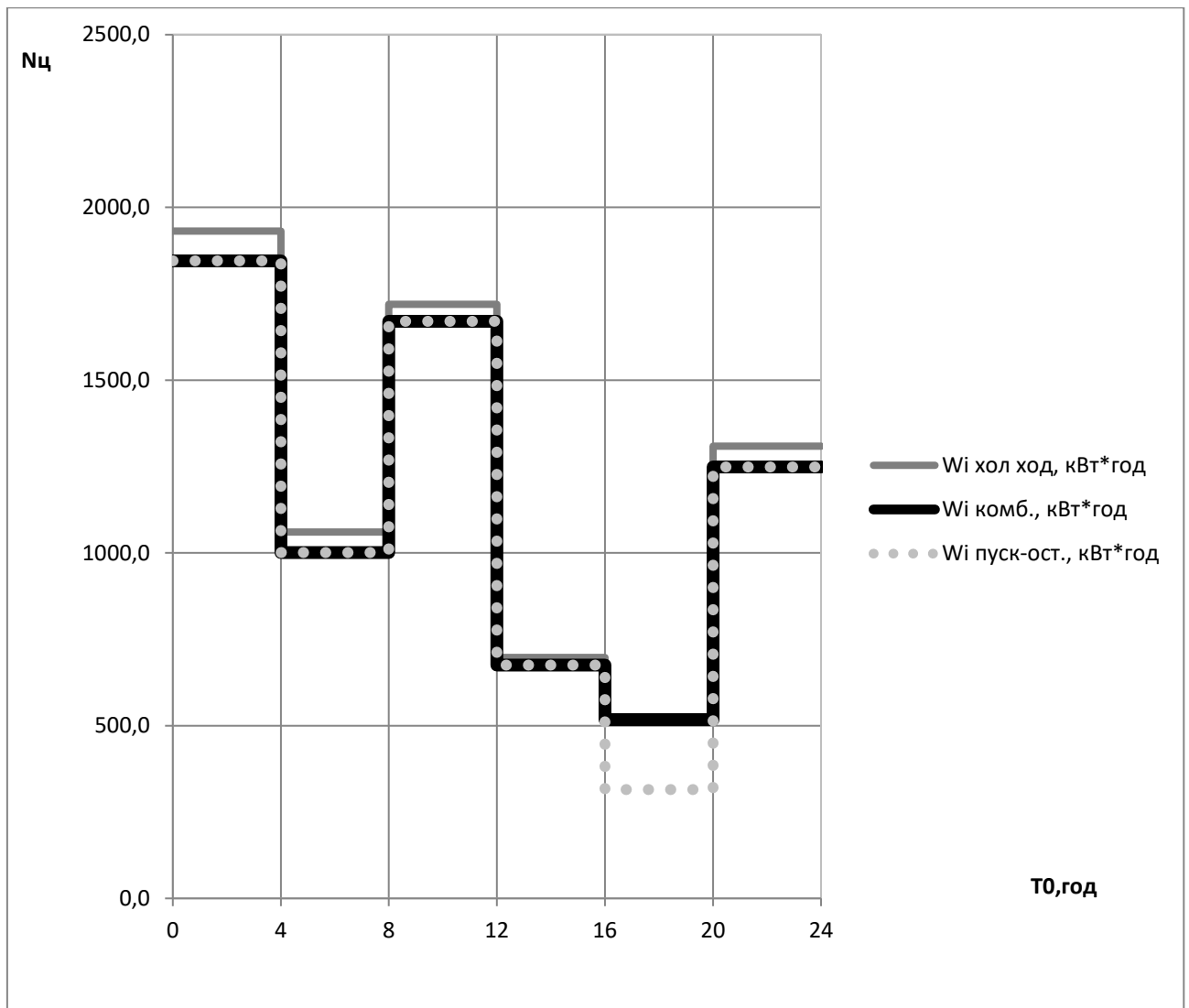


Рисунок 7.7 – Графік порівняння добових потужностей W_i залежно від часу T_0 при регулюванні способом «пуск-зупинка», регулюванні переведенням на холостий хід та комбінованим методом

Таблиця 7.4 – Розрахунок вартості затрат на електроенергію в залежності від способу регулювання

Спосіб регулювання	Добова потужність W_i , кВт*год	Ціна на електроенергію $C_{э/э}$, грн/(кВт*год)	Вартість затрат на електроенергію, грн*доба $C_{э/э} = c_{э/э} \cdot W_i$	Річна вартість затрат на електроенергію, грн*рік
Холостий хід	7234,9	1,8	13022,82	4 753 329,3
Пуск-зупинка	6755,5		12159,9	4 438 363,5
Комбінований	6958		12524	4 571 260

8. Охорона праці

Працівник повинен знати, що найбільш шкідливими і небезпечними чинниками, які можуть діяти на нього при експлуатації і обслуговуванні повітряних стаціонарно-гвинтових компресорів є:

- вибухо – пожежна безпека;
- ураження електричним струмом;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму.

Вибухо - пожежна безпека

При роботі гвинтової компресорної станції є небезпека виникнення пожежі або вибуху. Джерелами можуть бути неправильне зберігання та використання масла, замикання при пуску або зупинці компресорів, використання легкозаймистих матеріалів при роботі з компресорною станцією, розгерметизація компресора, ненадійна система повітряного та водяного охолодження.

Для запобігання вибуху та пожежі потрібно дотримуватися таких правил:

1. Приміщення компресорної станції за ступенем вибухо - пожежонебезпеки відноситься до категорії А.
2. Компресорні установки повинні розміщуватися в одноповерхових будівлях з вогнетривкого або важкогорючого матеріалу з легким перекриттям. Розміщення компресорних установок в підвальних і напівпідвальних приміщеннях не допускається.
3. Підлоги компресорних приміщень повинні бути виконані з вогнетривкого і маслостійкого матеріалу.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

4. Двері приміщень компресорних установок повинні відкриватися назовні.
5. Доступ стороннім особам в компресорні приміщення повинен бути заборонений.
6. У компресорному приміщенні повинні бути передбачені спеціальні місця для зберігання в закритому вигляді обтирального матеріалу, інструменту, прокладок і т.д.
7. Встановлення повітряних і аміачних компресорів в одному приміщенні не допускається.
8. Зберігання бензину, газу та інших легкозаймистих речовин в приміщенні компресорної станції заборонено.
9. Куріння в компресорній станції категорично заборонено.
10. Для змащення компресорів повинні застосовуватися спеціальні компресорні масла, що відповідають вимогам ГОСТ і інструкцій заводу-виготовлювача.
11. Кожна партія компресорного масла повинна мати заводський сертифікат із зазначенням фізико-хімічних властивостей масла. Перед застосуванням масло в кожній ємності повинно бути перевірено лабораторним аналізом на відповідність його ГОСТу і заводської інструкції.
12. Різниця між температурою спалаху масла і максимальною температурою стисненого повітря (аміаку) повинна бути не менше 750 °С.
13. Масло для змащення компресорів може бути застосоване лише при наявності письмового дозволу особи, відповідальної за безпечну роботу компресорної станції.
14. Перевезення і зберігання компресорного масла повинне відповідати вимогам ГОСТ 1510-70 і проводитися в спеціально призначених для цього металевих закритих ємностях, що мають відмінне забарвлення.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

15. У компресорних приміщеннях масло повинно доставлятися в спеціальних оцинкованих судинах (відрах бідонах з кришками), призначених тільки для компресорного цеху.

16. У компресорному приміщенні допускається зберігати масло в кількості, що не перевищує тижневої витрати. Відпрацьоване масло до повторного використання не допускається.

18. Спецодяг працюючих повинен своєчасно піддаватися чищенню і ремонту.

20. Компресорні установки повинні бути забезпечені надійною системою повітряного і водяного охолодження. Режим роботи системи охолодження повинен відповідати вимогам інструкції заводу-виготовлювача компресора по його експлуатації.

21. Для уникнення надмірного перегріву робочого середовища (аміаку), повітря) температура охолоджуючої води, що виходить з компресора і холодильників, не повинна перевищувати 400 °С.

22. Нагнітальні повітроводи і збірники повітря повинні систематично очищатися від відкладення масла і продуктів його розкладання. Терміни та порядок очищення повинні бути вказані в інструкції з експлуатації компресорної установки.

23. Забір повітря для повітряних компресорів повинен проводитися з зовні будівлі; причому повинна виключатися можливість підсосу горючих парів і газів. Для повітряних компресорів продуктивністю до 10 м³ / хв, що мають повітряні фільтри на машині, допускається забір повітря з приміщення компресорної станції .

24. Застосування бензину, газу та інших горючих речовин для очищення фільтра, встановлюваного на всмоктуючому трубопроводі, не допускається.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

25. Робота компресорних установок при температурі реагента (повітря) на стороні нагнітання вище допустимої величини повинна бути негайно припинена.

26. Забороняється проводити очищення проміжних і кінцевих холодильників, вологомастиловідділювача, а також повітропроводів від відкладення масла і продуктів його розкладання методом випалювання.

27. Розведення відкритого вогню в приміщенні компресорної станції заборонено.

Ураження електричним струмом

При технічній експлуатації електрообладнання промислових підприємств електротравми можуть виникати з таких причин:

- безпосередній дотик до струмоведучих частин електроустановок, які діють під напругою;
- дотик до металевих конструктивних частин електроустановок, які не повинні знаходитися під напругою, але на корпусах, кожухах та огорожуючих пристроях може з'явитися напруга;
- дотик інструментом і предметами, що мають малий опір, до ізоляції, до струмоведучих частин, а також до неметалічних частин електроустановок, які опинилися під напругою через заводські дефекти;
- дотик до стін, підлог, будівельних конструкцій, які опинилися під кроковою напругою.

Захисне заземлення або занулення повинно забезпечувати захист людей від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Захисна дія заземлювального пристрою заснована на зниженні до безпечної

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

величини струму, що проходить через людину в момент торкання нею пошкодженої електроустановки. При попаданні напруги на корпус електроустановки людина, торкнувшись її і маючи хороший контакт із землею, замикає собою електричну ланцюг.

Захисна дія занулення заснована на зниженні до безпечної величини струму, що проходить через людину в момент торкання їм пошкодженої електроустановки, та подальшому відключенні цієї установки від мережі. В початковий момент занулення працює аналогічно захисного заземлення, а в подальшому воно повністю припиняє дію струму на людину.

Недостатня освітленість робочої зони

Комфортна освітленість в приміщенні - дуже важливий показник з точки зору безпеки праці. Більшість нещасних випадків на підприємствах відбувається найчастіше через недотримання норм освітленості. Недостатня освітленість робочих місць може бути причиною зниження продуктивності і якості роботи, отримання виробничих травм. Тому якісне світло - запорука безпечної роботи. Воно підвищує працездатність і знижує ризик травматизму на робочому місці.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно - або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє - через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване - поєднання верхнього та бокового освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з урахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний в процесі роботи напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове.

Робоче освітлення призначене для забезпечення виробничого процесу, переміщення людей, руху транспорту і є обов'язковим для всіх виробничих приміщень.

Аварійне освітлення використовується для продовження роботи у випадках, коли раптове вимкнення робочого освітлення та пов'язане з ним порушення нормального обслуговування обладнання може викликати вибух, пожежу, отруєння людей, порушення технологічного процесу тощо. Мінімальна освітленість робочих поверхонь при аварійному освітленні повинна становити 5 % від нормованої освітленості робочого освітлення, але не менше 2 лк.

Евакуаційне освітлення призначене для забезпечення евакуації людей з приміщень при аварійному вимкненні робочого освітлення. Його необхідно влаштовувати: в місцях, небезпечних для проходу людей; в приміщеннях допоміжних будівель, де можуть одночасно знаходитись понад 100 осіб; у проходах; на сходових клітках; у виробничих приміщеннях, в яких працює понад 50 осіб. Мінімальна освітленість на підлозі основних проходів та на

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

сходах при евакуаційному освітленні повинна бути не менше 0,5 лк, а на відкритих майданчиках - не менше 0,2 лк.

Охоронне освітлення влаштовується вздовж меж території, яка охороняється в нічний час спеціальним персоналом. Найменша освітленість повинна бути 0,5 лк на рівні землі.

Чергове освітлення передбачається у неробочий час; при цьому, як правило, використовують частину світильників інших видів штучного освітлення.

Підвищений рівень шуму

Одним з основних джерел порушення комфортного стану персоналу, що знаходиться безпосередньо поряд з працюючим компресорним обладнанням є шум. Саме тому, дуже часто розрахунок шумових характеристик необхідний при розробці, виборі і розміщенні обладнання компресорних станцій. Причиною появи шумів є звукові хвилі, що виникають при стисненні і розширенні в повітрі та інших середовищах.

Шум від гвинтового компресора більш високочастотний, він дуже добре гаситься шумопоглинальним кожухом, яким обладнають такі компресори.

Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

1. При виникненні неполадків в компресорі його роботу слід зупинити. Якщо усунути несправності власними силами неможливо, то необхідно довести до відома особа, відповідальна за безпечну експлуатацію та особа, відповідальна за утримання компресора в справному стані - сервіс інженера.

Пуск компресора після аварійної зупинки допускається тільки з дозволу відповідального за утримання компресора в справному стані.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

2. Кожен працівник, який виявив порушення вимог цієї інструкції та правил з охорони праці або помітив несправність, що представляє небезпеку для людей, зобов'язаний повідомити про це безпосереднього керівника - сервіс інженеру.

3. У тих випадках, коли несправність становить небезпеку для людей або самого устаткування, працівник зобов'язаний вжити заходів щодо припинення дії обладнання, а потім сповістити сервіс інженера.

4. Якщо під час роботи стався нещасний випадок, необхідно негайно надати першу медичну допомогу, доповісти про те, що трапилося сервіс інженеру і вжити заходів для збереження обстановки нещасного випадку, якщо це не пов'язано з небезпекою для життя і здоров'я людей.

5. При ураженні електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від дії струму, дотримуючись вимог охорони праці.

6. При виникненні пожежі необхідно:

6.1) припинити роботу;

6.2) при необхідності знеструмити приміщення;

6.3) повідомити керівництво;

6.4) по можливості вжити заходів з гасіння пожежі, використовуючи наявні засоби протипожежного захисту;

6.5) викликати пожежну охорону.

Запобіжні клапани

1. Пропускнну здатність запобіжних клапанів і їх число слід вибирати так, щоб в посудині не міг утворитися тиск, який перевищує надмірний робочий тиск більш ніж на 0,05 МПа (0,5 кгс / см²) при надмірному робочому тиску в посудині до 0,3 МПа (3 кгс / см²) включно, на 15% - при надмірному робочому

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

тиску в посудині до 6,0 МПа (60 кгс / кв.см²) включно і на 10% - при надмірному робочому тиску в посудині понад 6,0Мпа (60кгс / см²) .

2. Розрахунок пропускної здатності клапана наведено нижче.

3. Конструкцію і матеріал елементів запобіжних клапанів і їх допоміжних пристроїв слід вибирати в залежності від властивостей і робочих параметрів середовища.

4. Конструкція клапана повинна забезпечувати вільне переміщення рухомих елементів клапана і виключати можливість їх викиду.

5. Конструкція клапанів і їх допоміжних пристроїв повинна виключати можливість довільної зміни їх регулювання.

6. Конструкція клапана повинна виключати можливість виникнення неприпустимих ударів при відкриванні та закриванні.

7. Клапани слід розміщувати в місцях, доступних для зручного і безпечного обслуговування та ремонту.

8. Клапани на вертикальних судинах слід встановлювати на верхньому днищі, а на горизонтальних посудинах - на верхній газовій (паровій) фазі.

9. Клапани слід встановлювати в місцях, що виключають утворення застійних зон.

10 Установка запірної арматури між посудиною і клапаном, а також за клапанів не допускається.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Розрахунок пропускної здатності

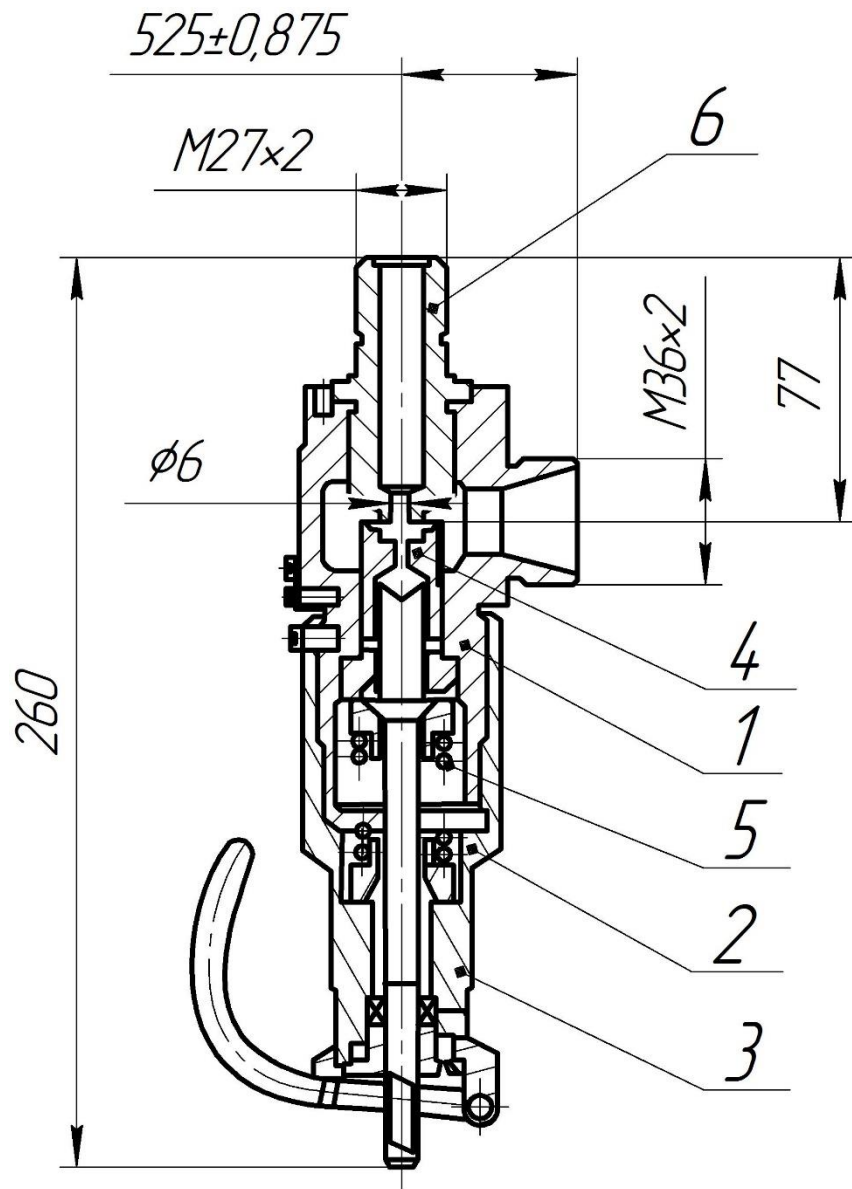


Рисунок 8.1 – Запобіжний клапан

1-корпус; 2-ковпак; 3-стержень; 4-золотник; 5-пружина; 6-сідло

Пропускна здатність розраховується за методикою по формулі 8.1, наведеною в ГОСТ 12.2.085-82 «Посудини, працюючі під тиском. Клапани запобіжні.»

$$G = 3,16 \cdot B_3 \cdot \alpha \cdot F \sqrt{(P_1 + 0,1)} \rho_1, \text{кг/год}, \quad (8.1)$$

						Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	КМ 04.00.00.00 ПЗ	

де B_3 – коефіцієнт, враховуючий фізико – хімічні властивості газу, при робочих параметрах. Розраховується по формулам, приведеним в вищеуказаному ГОСТі, в залежності від співвідношення, розрахованому за формулою 8.2:

$$\beta = \frac{P_2+0,1}{P_1+0,1} \text{ і } \beta_{кр}, \quad (8.2)$$

де $P_2 = 0,002$ МПа – максимальний надлишковий тиск за запобіжним клапаном;

$P_1 = 6,71$ МПа – максимальний надлишковий тиск перед запобіжним клапаном;

$\beta_{кр} = 0,527$ – вибрано з додатку.

Тоді за формулою 8.2:

$$\beta = \frac{0,002 + 0,1}{6,71 + 0,1} = 0,015$$

Так як $\beta = 0,015 < \beta_{кр} = 0,527$, розрахунок ведемо за формулою 8.3:

$$B_3 = 1,59 \sqrt{\frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}}, \quad (8.3)$$

де $k = 1,4$ – показник адіабати повітря.

Тоді за формулою 8.3:

$$B_3 = 1,59 \sqrt{\frac{1,4}{1,4 + 1} \left(\frac{2}{1,4 + 1}\right)^{\frac{1}{1,4-1}}} = 0,969$$

Найменша площа перерізу проточної частини клапана визначається за формулою 8.4:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 6^2}{4} = 28,26, \text{мм}^2, \quad (8.4)$$

де $d = 6$ мм – найменший діаметр проточної частини сідла;

$\alpha_1 = 0,76$ – коефіцієнт витрати повітря, відповідний F.

Щільність реального газу перед клапаном при робочих параметрах визначається за формулою 8.5:

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$$\rho = \frac{(P_1+0,1) \cdot 10^6}{B_4 \cdot R \cdot T_1}, \text{кг/м}^3, \quad (8.5)$$

де $R = 287$ Дж/кг*град – газова стала повітря;

$T_1 = 360$ К – температура газу перед клапаном при тиску P_1 ;

$B_4 = 1,041$ – коефіцієнт стиснення повітря.

Виходячи з формули 8.5:

$$\rho_1 = \frac{(6,71 + 0,1) \cdot 10^6}{1,041 \cdot 4120 \cdot 360} = 4,41 \text{ кг/м}^3$$

Тоді за формулою 8.1:

$$G = 3,16 \cdot 0,969 \cdot 0,76 \cdot 28,26 \sqrt{(6,76 + 0,1) \cdot 4,41} = 364,34 \text{ кг/год} = 0,1012 \text{ кг/с}$$

Аварійна масова витрата повітря $m_{ав} = 0,0614$ кг/с.

Так як $G > m_{ав}$, тоді умова застосування клапану виконана.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Основні висновки роботи

1. Вперше у вітчизняній практиці зроблена спроба створення моделі управління компресорними агрегатами компресорної станції промислового підприємства з істотно змінним режимом роботи другого ієрархічного рівня (на рівні КС).
2. Вперше розроблено моделі управління КС однорідної і неоднорідної структури (однакові або різні типорозміри компресорів).
3. Розроблена комп'ютерна програма моделі і реалізована в середовищі Microsoft Office Excel 2010.
4. На спрощених прикладах повітряних КС з заздалегідь відомим графіком навантаження виконана чисельний розрахунок моделі, одержані результати у вигляді електронних таблиць розрахунку регульовальних характеристик елементів (компресорів) для кожного режиму роботи КС.
5. Результати даної роботи можуть послужити першим етапом створення моделей управління компресорних станцій різного призначення і різної структури з подальшою інтеграцією їх в системи А СУП КС другого рівня.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Список використаної літератури

1. Компресорні станції: підручник / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. - Суми: Сумський державний університет, 2016. - 385 с.
2. Винтовые компрессоры в системах обеспечения сжатым воздухом / Г. А. Бондаренко, П. Е. Жарков. - Сумы: Сумский государственный университет, 2003. - 134 с.
3. Винтовые воздушные компрессорные станции: учебное пособие / Г. А. Бондаренко. - Сумы: Сумский государственный университет, 2005. - 255 с.
4. Звіт з наукової роботи «Моделювання управління компресорної станції на змінних режимах» / Лисенко І.В. - Суми: Сумський державний університет, 2016. - 30 с.
5. Инструкция по охране труда при эксплуатации и обслуживании воздушных стационарно-винтовых компрессоров.
6. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
7. Инструкция по пожарной безопасности для воздушной компрессорной станции.
8. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

					КМ 04.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61