

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська дипломна робота на тему:

«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРОМ
ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМ-22мс
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Богдана ГРИНЯК
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри КЕМСК
Володимир БОГАЧУК
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«28» 05 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ
Олександр БАБЕНКО
(прізвище та ініціали)

«10» 06 2024 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри КЕМСК
«28» 05 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

“ 11 ” 03 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гриняку Богдану Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизована система керування компресором холодильної установки
Керівник роботи Богачук Володимир Васильович, к.т.н., доц. каф.КЕМСК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 11 ” 03 2024 року № 40
2. Термін подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи: Кількість ступенів компресора – 1, Номінальний діаметр циліндра, мм – 60, ККД, % - 80, Номінальний робочий об'єм, см³ – 214, Номінальна частота обертання вала, хв⁻¹ – 2000, Максимальна частота обертання вала, хв⁻¹ – 2500, призначення – холодильна установка.
4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Загальна характеристика та особливості технологічного процесу та агрегатів. 2 Розрахунок потужності приводного двигуна компресора холодильної установки. 3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. 4 Вибір електричного двигуна за потужністю і швидкістю обертання. 5 Розрахунок статичних характеристик електродвигуна. 6 Автоматизована система керування компресором холодильної установки. 7 Розрахунок динамічних режимів САЕП. 8 Розробка системи комплексної автоматизації холодильної установки. Висновки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1 Об'єкт, предмет, мета та завдання дослідження. Загальна характеристика та особливості технологічного процесу. Класифікація холодильних установок. Аналіз підходів до побудови холодильних установок. Розрахунок потужності приводного двигуна КУ. Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП. Вибір двигуна та його перевірка. Розробка схеми функціональної електричної керування компресором. Розрахунок та вибір засобів автоматизації ЕП компресора. Принципова схема САЕП компресорної установки. Алгоритм та програма керування ПЛК. Дослідження

динамічних характеристик СЕП КУ. Схема автоматизації холодильної устаткування підприємства. Вибір засобів автоматизації. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

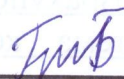
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Богачук В.В.	11.03.2024	28.05.2024
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	11.03.2024	28.05.2024

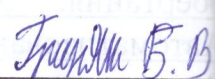
7. Дата видачі завдання 11.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

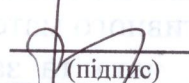
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.2024	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	21.05.2024	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	18.05.2024	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	28.05.2024	
5	Попередній захист БДР	28.05.2024	
6	Нормоконтроль БДР	28.05.2024	
7	Рецензування БДР	10.06.2024	
8	Захист БДР	13.06.2024	

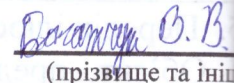
Студент


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)


(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 126 сторінок формату А4, на яких є 30 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел містить 2 найменування.

В роботі проведено аналіз основних принципів побудови холодильного обладнання, виконано попередній розрахунок величин для подальших розрахунків, а також розрахунки статичного моменту на валу двигуна, в результаті техніко-економічного обґрунтування найбільш доцільним вибором з точки зору економічних показників та режимів роботи є система електроприводу ПЧ–АД. Виконано вибір приводного двигуна компресора типу АИР 80 А2 потужністю 1,5 кВт. Проведені розрахунки показують, що даний двигун має достатній запас за нагрівом і перевантажувальною здатністю. Розроблено схему функціональну електричнукерування компресором та здійснено вибір перетворювача частоти типу Altivar ATV71HU15N4 фірми Schneider electric, засобів автоматизації системи керування компресором, а саме програмоване логічне реле LOGO! 12/24RC фірми Siemens; розроблено функціональну схему автоматизації холодильної установки, виконано опис систем автоматизації холодильної установки, та проведено моделювання поведінки системи електропривода, а також досліджено систему на стійкість.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, компресор, холодильна установка, моделювання, схема принципова, схема автоматизації, алгоритм, програма роботи.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 126 pages of A4 format, on which there are 30 figures, 16 tables, the list of used sources contains 20 names.

In the work, an analysis of the basic principles of the construction of refrigeration equipment was carried out, a preliminary calculation of the values for further calculations was performed, as well as calculations of the static moment on the motor shaft, as a result of the technical and economic justification, the most appropriate choice from the point of view of economic indicators and operating modes is the system of the electric drive of the IF-AD . The drive motor of the AIR 80 A2 type compressor with a capacity of 1.5 kW was selected. The calculations show that this engine has a sufficient reserve in terms of heating and overload capacity. A scheme of functional electrical control of the compressor was developed and a frequency converter of the Altivar ATV71HU15N4 type from Schneider electric was selected, as well as tools for automating the compressor control system, namely a programmable logic relay LOGO! 12/24RC by Siemens; the functional diagram of the automation of the refrigerating plant was developed, the description of the automation systems of the refrigerating plant was made, and the behavior of the electric drive system was modeled, as well as the stability of the system was investigated.

Key words: electrotechnical complex, compressor, refrigerating plant, modeling, schematic diagram, automation diagram, algorithm, work program.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА АГРЕГАТІВ	9
1.1 Основні принципи побудови холодильного обладнання	9
1.2 Класифікація холодильних установок, їх переваги та недоліки.....	11
1.3 Застосування компресорів в холодильній техніці та їх класифікація.....	23
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА КОМПРЕСОРА ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	27
2.1 Розрахунок та побудова навантажувальної діаграми і тахограми виконавчого органу виробничого механізму.....	27
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигун.....	33
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	34
4 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА ЗА ПОТУЖНІСТЮ І ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ.....	40
4.1 Вибір приводного двигуна.....	40
4.2 Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода.....	41
4.3 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.....	43
5 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	45
6 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРОМ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	49
6.1 Задачі управління компресорами холодильних установок.....	49
6.2 Плавне регулювання холодопродуктивності компресорів.....	52
6.3 Розробка схеми функціональної електричної керування компресором...	55
6.4 Вибір перетворювача частоти.....	56

6.5 Вибір засобів автоматизації системи керування компресором.....	58
6.6 Розробка схеми електричної принципової системи керування компресором.....	61
7 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ САЕП.....	69
8 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	73
8.1 Розробка функціональної схеми автоматизації холодильної установки.	73
8.2 Опис систем автоматизації холодильної установки.....	76
9 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	82
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96
ДОДАТКИ.....	99
ДОДАТОК А (обов'язковий) Технічне завдання.....	99
ДОДАТОК Б Графічна частина.....	105
ДОДАТОК В Протокол перевірки дипломної роботи на наявність текстових запозичень.....	126

ВСТУП

Холодильна техніка – це наукова дисципліна і галузь техніки, що охоплює методи отримання та використання низьких температур (холоду) для виробництва та зберігання харчових продуктів. Використання холодильної техніки дозволяє зберігати властивості харчових продуктів, а також одержувати харчові продукти з новими властивостями. Без холодильної техніки неможливо забезпечити зростаюче населення якісними харчовими продуктами. У процесі виробництва і збільшення обсягів реалізації харчових продуктів важлива роль холодильної техніки, яка дозволяє: створювати запаси швидкопсувних харчових продуктів у широкому асортименті; збільшувати тривалість зберігання заморожених харчових продуктів; продавати харчові продукти сезонного виробництва рівномірно протягом року; знижувати товарні втрати при зберіганні і транспортуванні продовольчих товарів; впроваджувати прогресивні методи надання послуг населенню підприємствами торгівлі і громадського харчування.

Холодильна машина - пристрій, що служить для відводу теплоти від охолоджуваного тіла при температурі нижчій, ніж температура навколишнього середовища. Процеси, що відбуваються в холодильних машинах, є окремим випадком термодинамічних процесів, тобто таких, в яких відбувається послідовна зміна параметрів стану робочого речовини: температури, тиску, питомої обсягу, ентальпії. Холодильні машини працюють за принципом теплового насоса - віднімають теплоту від охолоджуваного тіла і з витратою енергії (механічної, теплової і т. д.) передають її охолоджуючій середовищі (зазвичай воді або навколишньому повітрю), що має більш високу температуру, ніж охолоджуване тіло. Холодильні машини використовуються для отримання температур від 10°C до -150°C . Область нижчих температур відноситься до кріогенної техніки. Робота холодильної машини характеризується їх холодопродуктивністю. Основні види холодильних машин, це: компресійні холодильні машини, абсорбційні холодильні машини, пароежекторні холодильні машини, холодильні машини на вихрових охолоджувачах, термоелектричні холодильні машини.

Актуальність досліджень. З урахуванням вимог до холодильних установок можливо визначити основні напрями та тенденції розвитку холодильного обладнання суден:

- забезпечення екологічної безпеки (у зв'язку з жорсткими вимогами до робочих речовин по впливу на атмосферу);
- підвищення енергетичної ефективності з урахуванням непрямих вимог по зниженню емісії парникових газів в цілому;
- надання додаткових можливостей: режимів надшвидкої заморозки з використанням пристроїв регулювання продуктивності, наявність камер з різноманітними температурами зберігання, застосування теплообмінних апаратів підвищеної ефективності, зниження гучності виробів, наявність гігроскопічних температурних зон;
- підвищення надійності, доступність та простота сервісного обслуговування, зниження вартості для кінцевого споживача.

З урахуванням вимог та можливих напрямів розвитку холодильної техніки слід сформулювати загальні задачі удосконалення холодильних машин і установок:

- зниження питомого вживання електроенергії усіма можливими засобами, зокрема за рахунок використання більш ефективної теплоізоляції, підвищення якості процесів регулювання та іншими;
- підвищення надійності та холодопродуктивності холодильних компресорів, в тому числі, герметичних при одночасному зниженні їх температурного рівня;
- підвищення рівня питомої холодопродуктивності холодильних машин, в цілому;
- поліпшення масогабаритних показників;
- забезпечення функціонування холодильної машини при живленні від малопотужної електричної мережі.

В даній бакалаврській роботі буде проведено розрахунок і вибір елементів електропривода автоматизованої системи керування компресором холодильної установки, який є невід'ємним механізмом холодильного устаткування.

Об'єктом дослідження в роботі є процеси перетворення енергії, які протікають в електротехнічній системі електропривода компресора холодильної установки.

Предметом дослідження є структури та математичні моделі, які дозволяють підвищити експлуатаційну функціональну ефективність електропривода компресора холодильної установки.

Метою бакалаврської дипломної роботи є підвищення надійності та ефективності функціонування компресора холодильної установки за рахунок вдосконалення електричної схеми шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації. Пропонована автоматизація забезпечує мінімальне втручання людини в процес виробництва, що призводить до зниження собівартості виробленої продукції за рахунок підвищення ефективності виробництва.

В процесі виконання поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- привести коротку характеристику та режими роботи виробничого механізму та процесу автоматизації холодильної установки в цілому;
- виконати розрахунок та вибір потужності електродвигуна компресора холодильної установки;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода компресора холодильної установки;
- здійснити розрахунок, вибір та побудову електричної принципової та функціональної схем системи електропривода із застосуванням сучасних засобів автоматизації технологічного процесу;
- розробити додаткові заходи щодо автоматизації технологічного процесу холодильної установки;
- для вибраної системи електроприводу та процесу автоматизації в цілому виконати математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик.

Методи дослідження базуються на використанні теорії електричних кіл, основ теорії електричних машин та силової перетворювальної техніки, методу статичної оцінки точності результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Застосовувалася графічне середовище імітаційного моделювання ППП

MatLab Simulink для побудови енергетичних систем, а також програми інженерного розрахунку для складання таблиць, діаграм і обчислення функцій ППП MathCad та Microsoft Excel.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)».

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій:

Мікропроцесорна реалізація керування електроприводом компресора холодильної установки / Б.В. Гриняк, В.В. Богачук – Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024. [Електронний ресурс]. URL:. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 3 с.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА АГРЕГАТІВ

1.1 Основні принципи побудови холодильного обладнання

Охолодження в холодильній машині організовується за принципом всмоктування теплової енергії при кипінні рідини. Температура, під час якої речовина починає кипіти, залежить від властивостей і тиску зовнішнього середовища. Чим більший тиск, тим більше температура закипання рідини. При рівних атмосферних обставин різні рідинні речовини мають різною температурою кипіння. Принцип роботи холодильної машини приведений на рисунку 1.1.

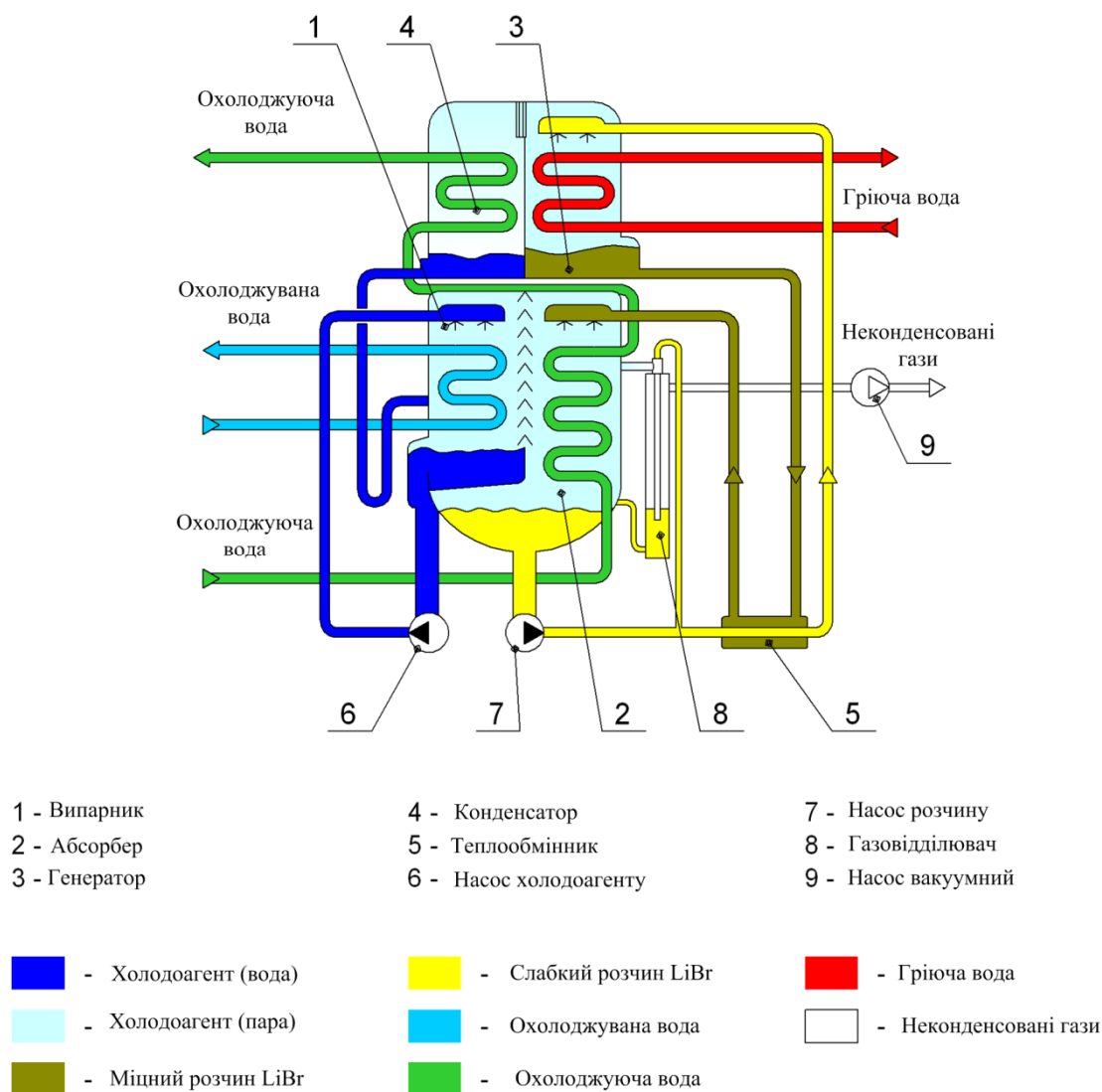


Рисунок 1.1 – Принцип роботи холодильної машини

Речовина під назвою фреон в сучасному світі є найбільш затребуваним в якості холодоагентом холодильних машин. Якщо ця речовина залишити в незакритих баку при звичайному атмосферному тиску миттєво закипає. Киплячий фреон харчується величезною кількістю тепла, яке бере з оточення.

Здійснюється процес конденсації. Температура конденсації речовини знаходиться в прямій залежності від атмосферного тиску. Процес конденсації фреону супроводжує випусканням теплової енергії у великих обсягах в навколишнє середовище, або в даному випадку переміщення його в теплообмінник. Для безперервності процесу потрібно додавати в випарну камеру фреон, а в конденсатор – пари фреону.

Основне обладнання холодильної установки в сукупності складає холодильну машину (ХМ), призначену для неперервного отримання холоду при допомозі замкненого кола процесу випарювання і конденсації постійної кількості холодоагенту (ХА). Рідкий ХА кипить в кожухотрубному випарювачі, відбираючи тепло в оточуючого його проміжного холодоносія. Пари ХА відсмоктуються і стискаються компресором, а потім охолоджуються в конденсаторі, де холодоагент переходить в рідкий стан в результаті охолодження його водою. Із конденсатора рідкий ХА через ресивер і дроселюючі пристрої подається назад у випарник. В якості ХА використовується аміак. Проміжним теплоносієм є розсіл – розчин повареної солі або хлористого кальцію. Охолоджений у випарнику розсіл перекачуються центробіжним насосом до холодильних камер і інших споживачів холоду.

Ефективність роботи холодильної установки визначається її холодопродуктивністю (ХП) і точністю підтримання температури охолоджувального середовища. Ці параметри залежать від багатьох факторів, до яких відносяться опір трубопроводів подачі рідкого аміаку в конденсатор, потужність компресора, витрати і температура води, що охолоджує пари аміаку, теплове навантаження споживачів холоду.

Для забезпечення найкращих умов роботи холодильної установки необхідно підтримувати відповідність між тепловим навантаженням споживачів і ХП

холодильної машини. При тривалому перевищенні ХП теплового навантаження пожується нижче допустимого рівня допустимого значення T охолоджувального середовища і може відбутись замерзання проміжного холодоносія, а в деяких випадках і ХА. При недостатній ХП із-за підвищеного теплового навантаження підвищується вище допустимого значення T охолоджувального середовища, можуть виникати гідравлічні удари в системі циркуляції ХА. Точність підтримання T охолоджувального середовища залежить від збурюючих впливів. Стабілізація основного з них – T проміжного холодоносія – дозволяє підвищити точність підтримання вихідного параметру і покращити умови роботи ХМ.

При роботі холодильної установки в різних її елементах можуть виникнути небезпечні явища, наприклад: витікання холодоагенту, гідравлічні удари, перевантаження компресора. Виникнення небезпечних режимів роботи може бути викликане як внутрішніми збуреннями так і зовнішніми впливами.

1.2 Класифікація холодильних установок, їх переваги та недоліки

Для отримання і використання холоду на підприємствах харчової промисловості використовують холодильні установки різних типів. Всі типи холодильних установок можна класифікувати по ряду подібних ознак. Кожен з них відображає лише одну характерну особливість установки, тому у визначенні холодильної установки може бути дві і більше ознаки. За призначенням: стаціонарні та пересувні з централізованим і децентралізованим охолодженням для холодопостачання, теплопостачання, змішаного тепло- і холодопостачання, для акумулювання теплової енергії та її транспорту і утилізаційні енергоустановки. На рисунку 1.2 зображена класифікація холодильних установок.



Рисунок 1.2 – Класифікація холодильних установок

Найпростіша холодильна установка зображена на рисунку 1.3 складається з наступних основних елементів:

- компресор (1);
- конденсатор (2);
- випарник (3).

Для того, щоб установка могла підтримувати задану температуру повітря в холодильнику, її необхідно оснастити налаштованим регулюючими вентилями (4) і (5), які здатні враховувати зміну теплового навантаження на випарник і конденсатор.

Наприклад, за допомогою вентилів з фіксованим настроюванням установка не в змозі підтримувати постійну температуру в холодильнику в зимових і літніх умовах при безперервно працюючому компресорі. Це видно з графіку, що зображено на рисунку 1.4.

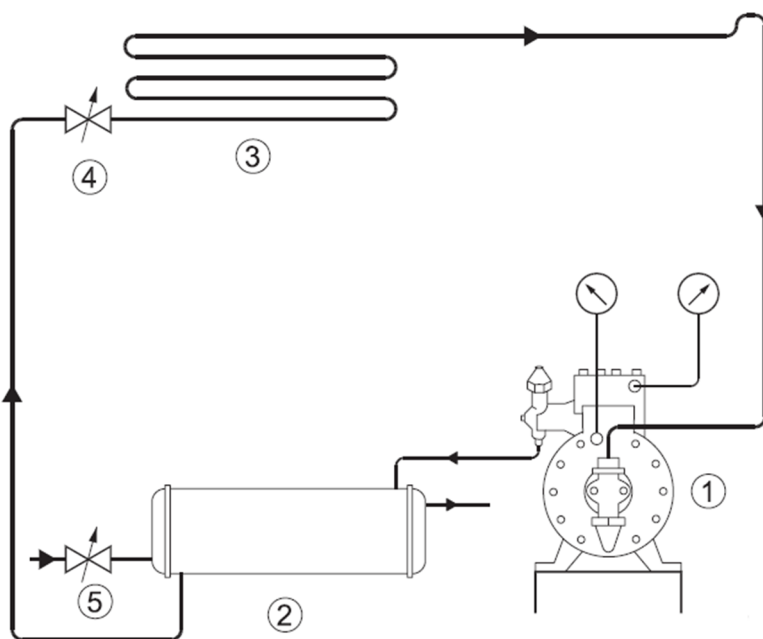


Рисунок 1.3 – Найпростіша схема холодильної установки

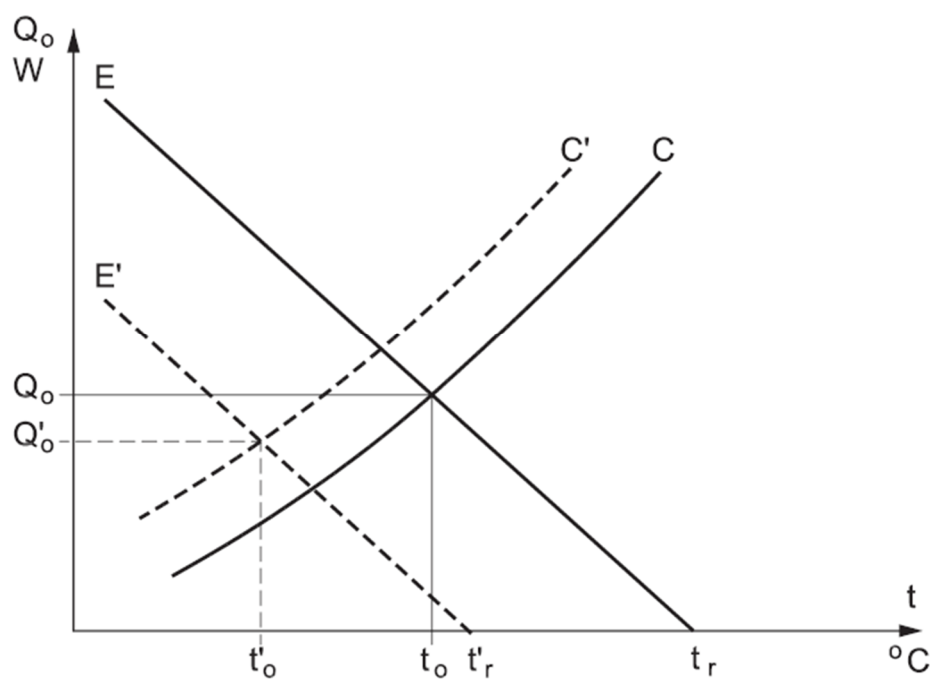


Рисунок 1.4 – Графік продуктивності холодильної установки при зміні пори року

Суцільною лінією показана продуктивність установки в літній період часу, а пунктирною – в зимовий (наприклад, взимку при температурі конденсації + 25 °C, а влітку при температурі конденсації + 35 °C). Криві (C) представляють собою

продуктивність компресора, яка зростає із збільшенням температури кипіння (t_0). Криві (Е) представляють собою продуктивність випарника, яка зростає із збільшенням різниці ($t_r - t_0$) температури в холодильнику (t_r) і температури кипіння експлуатації), продуктивності компресора, конденсатора і випарника рівні. Як видно з рисунку 1.3, коли потреба в охолодженні падає від (Q_0) влітку до (Q'_0) взимку, температура повітря в холодильнику знижується від (t_r) до (t'_0). Для підтримки заданої температури в будь-яких умовах експлуатації продуктивність компресора, конденсатора і випарника повинна регулюватися, наприклад, зміною часу роботи компресора, зміною витрати охолоджуючої води через конденсатор або зміною витрати холодоагенту через випарник.

Холодильна установка з теплорегулюючим вентилем і конденсатором з повітряним охолодженням зображено на рисунку 1.5.

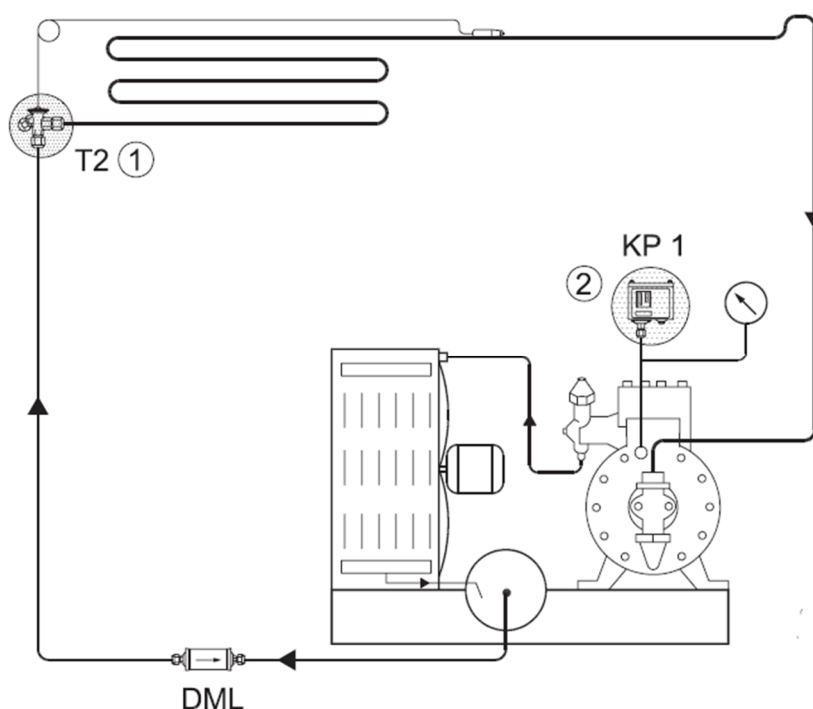


Рисунок 1.5 – Холодильна установка з теплорегулюючим вентилем і конденсатором з повітряним охолодженням

В даній установці конденсатор, що охолоджується водою, замінений конденсатором з повітряним охолодженням. Конденсатори з повітряним

охолодженням зазвичай використовуються там, де відсутня система охолодження, вода або де використання охолоджувальної води заборонено.

Заміна вентиля з ручним керуванням перед випарником на терморегулюючий вентиль (1) дає можливість подавати в випарник таку кількість холодоагенту, яка необхідна для компенсації теплового навантаження на випарник і забезпечення постійного перегріву холодоагенту на виході випарника. При цьому, природно, передбачається, що розмір обраного терморегулюючого вентиля відповідає продуктивності випарника. Вирішальним фактором тут є те, що в умовах максимального теплового навантаження на випарник терморегулювальний вентиль повинен точно подати кількість холодоагенту, яке може випарувати випарник. Крім того, настройка перегріву на терморегулюючому вентилі повинна відповідати продуктивності випарника. Перегрів тут розуміється як різниця температури холодоагенту у випарнику і температури кипіння холодоагенту при заданому тиску і повністю випареному холодоагенті.

Холодильна установка з ребро-випарним теплообмінником зображено на рисунку 1.6.

Реле температури КР 61 (1) включає і відключає вентилятори (2) випарника в залежності від температури повітря в холодильнику. Терморегулюючий вентиль типу ТЕ (3) із зовнішнім вирівнюванням регулює подачу рідкого холодоагенту у випарник в залежності від його перегріву і незалежно від перепаду тиску на випарнику.

Розподільник рідини типу RD (4) рівномірно розподіляє рідкий холодоагент по секціях випарного теплообмінника. Компресор вмикається та вимикається за низького тиску від двохблокового реле високого і низького тиску типу КР 15 (5) в залежності від тиску всмоктування. Блок високого тиску цього реле захищає компресор від занадто високого тиску конденсації, відключаючи компресор, коли Реле температури КР 61 (1) включає і відключає вентилятори (2) випарника в залежності від температури повітря в холодильнику. Терморегулюючий вентиль типу ТЕ (3) із зовнішнім вирівнюванням регулює подачу рідкого холодоагенту у

випарник в залежності від його перегріву і незалежно від перепаду тиску на випарнику.

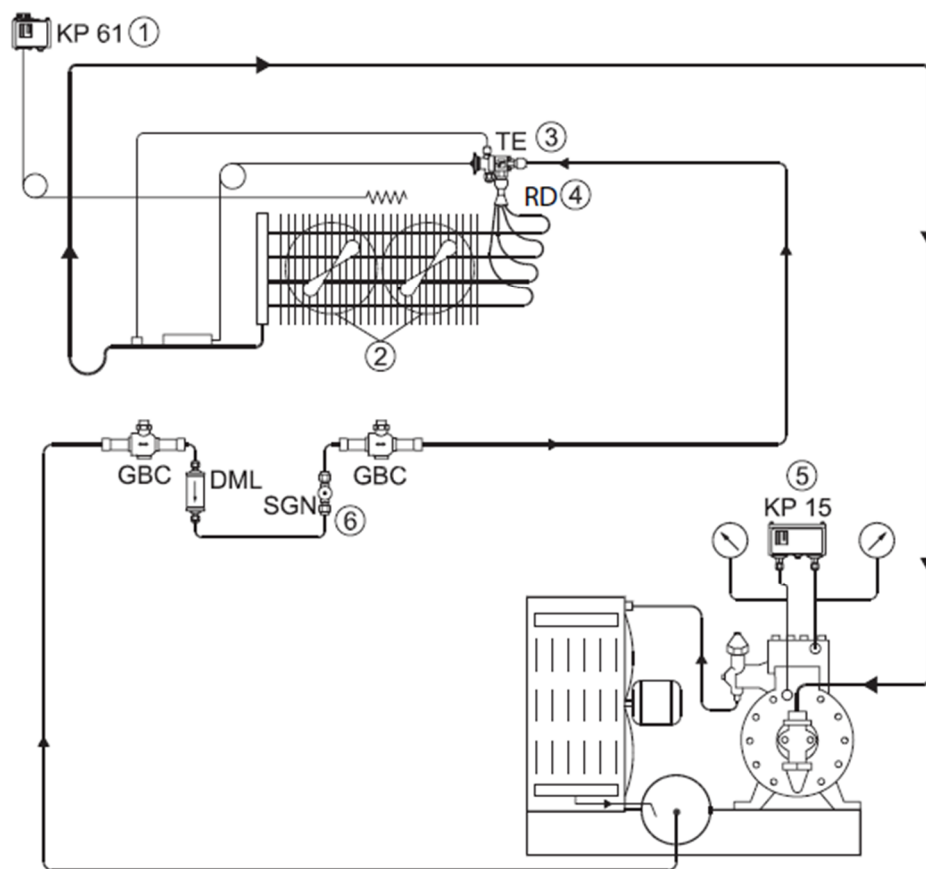


Рисунок 1.6 – Холодильна установка з ребро-випарним теплообмінником

Розподільник рідини типу RD (4) рівномірно розподіляє рідкий холодоагент по секціях випарного теплообмінника. Компресор вмикається та вимикається за низького тиску від двохблокові реле високого і низького тиску типу КР 15 (5) в залежності від тиску всмоктування. Блок високого тиску цього реле захищає компресор від занадто високого тиску конденсації, відключаючи компресор, коли це необхідно ((наприклад, коли несправний вентилятор або заблокований потік охолоджувального повітря (при брудному конденсаторі)).

Оглядове скло типу SGN (6) показує вміст вологи в холодоагенті і рівень холодоагенту в системі. Індикатор оглядового скла змінює свій колір при занадто високому вмісті вологи в холодоагенті. Бульбашки пара в оглядовому склі означають недостатню заправку холодоагенту, недостатнє переохолодження або

часткове забруднення фільтра, це необхідно (наприклад, коли несправний вентилятор або заблокований потік охолоджувального повітря (при брудному конденсаторі)).

Оглядове скло типу SGN (6) показує вміст вологи в холодоагенті і рівень холодоагенту в системі. Індикатор оглядового скла змінює свій колір при занадто високому вмісті вологи в холодоагенті. Бульбашки пара в оглядовому склі означають недостатню заправку холодоагенту, недостатнє переохолодження або часткове забруднення фільтра.

Реле температури типу КР 61 зображений на рисунку 1.7 з однополюсним перемикачем (12) замикає ланцюг між контактами 2 і 3 при підвищенні температури термобаллона, або температури повітря в холодильній камері. При повороті гвинта налаштування температури (1) за годинниковою стрілкою ланцюг замикається і розмикається при більш високій температурі. При повороті гвинта налаштування диференціала (2) за годинниковою стрілкою ланцюг замикається і розмикається при більш низькому диференціалі.

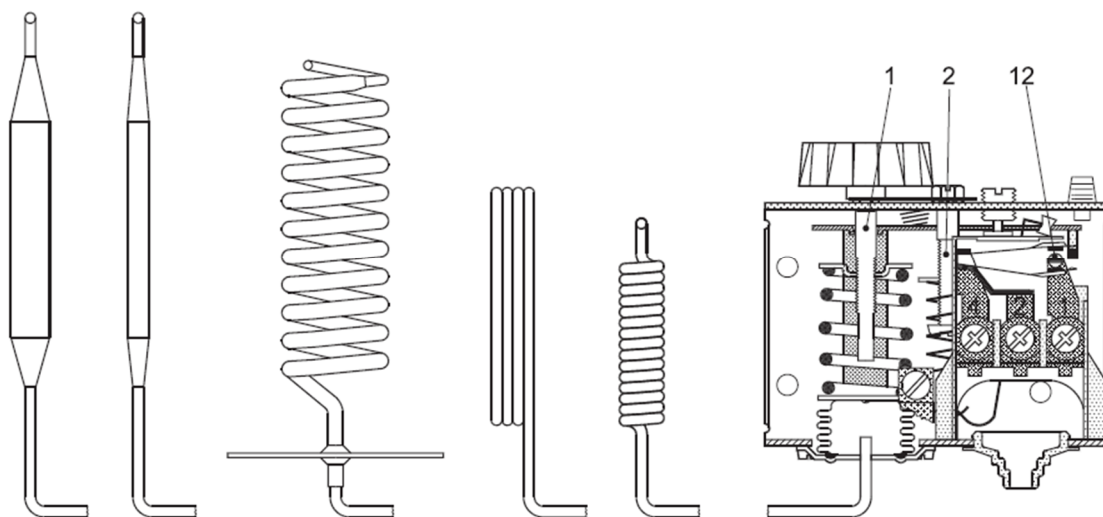


Рисунок 1.7 – Реле температури типу КР 61

Розподільник рідини типу RD забезпечує рівномірний розподіл рідкого холодоагенту по паралельним секціям випарного теплообмінника. Розподільник встановлюється або безпосередньо на теплорегулюючому вентилі, як показано на малюнку, або на лінії, що йде від ТРВ.

Холодильна установка з масловідділювачем і теплообмінником зображено на рисунку 1.8

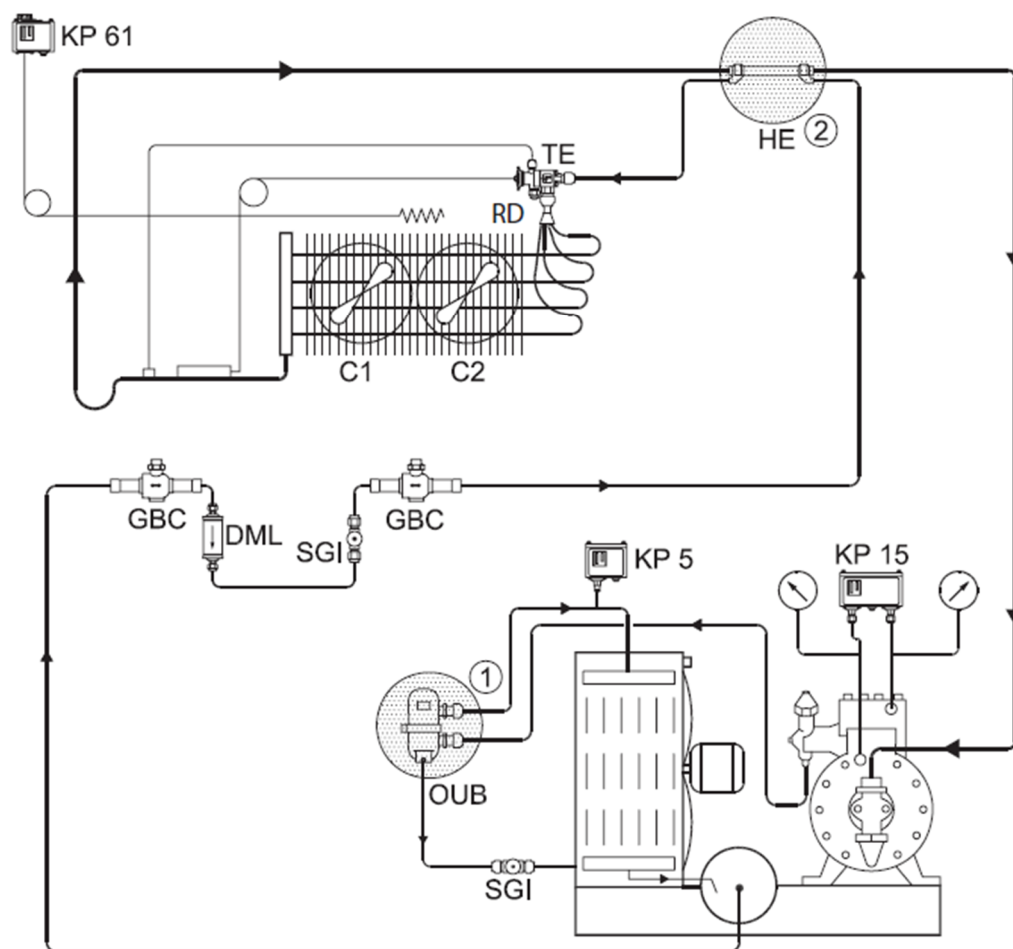


Рисунок 1.8 – Холодильна установка з масловідділювачем і теплообмінником

В принципі, в холодильній установці масло повинно завжди залишатися в компресорі. Потрапляючи в систему, масло приносить більше шкоди, ніж користі, оскільки знижує продуктивність випарника і конденсатора. Крім того, якщо рівень масла в картері компресора стає занадто низьким, з'являється небезпека недостатнього змащення компресора. Найкращим захистом від цієї неприємності є установка ефективного масловіддільника, наприклад, масловіддільника OUB (1). А установка теплообмінника типу HE (2) дає наступні переваги:

- Перегрів газу на лінії всмоктування забезпечує найкращий захист від гідравлічного удару в компресорі і запобігає утворенню конденсату або інею на поверхні неізованих трубопроводів лінії всмоктування.

- Переохолодження рідкого холодоагенту виключає випаровування рідини перед TRV, яке зменшує продуктивність терморегулюючого вентиля.
- Зменшуються виробничі витрати на експлуатацію установки, оскільки повністю або частково виключаються втрати, пов'язані з не випаруванням, краплями рідини на лінії всмоктування і недостатнім переохолодженням рідкого холодоагенту.

Холодильну установку для великих холодильників зображено на рисунку 1.9

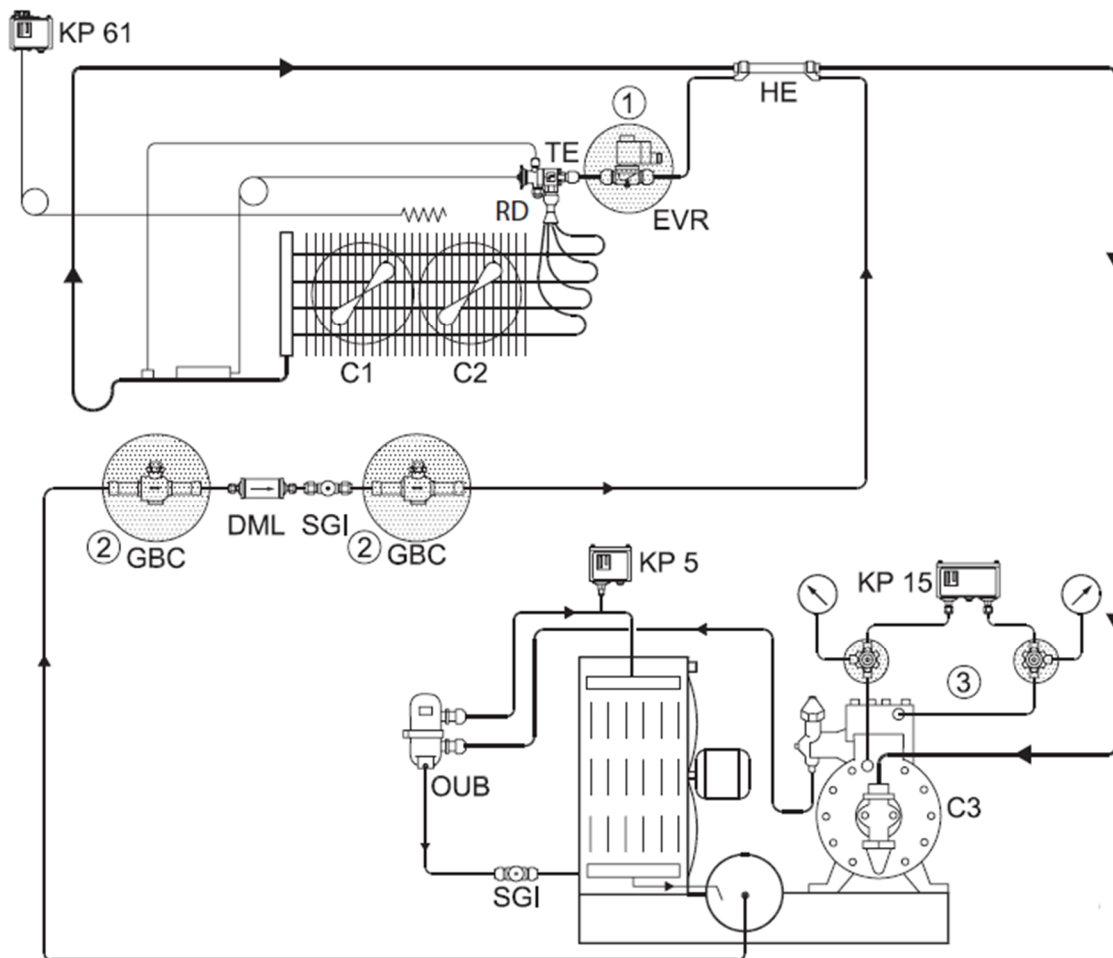


Рисунок 1.9 – Холодильна установка для великих холодильників

Оскільки температура термобаллона може піднятися швидше, ніж температура кипіння холодоагенту і послужити причиною відкриття TRV, для ефективного перекриття лінії рідини при відключенні компресора перед терморегулюючі вентилем встановлюється соленоїдний вентиль EVR (1). Захист від переповнення випарника при відключенні компресора забезпечується закриттям соленоїдного вентиля одночасно з відключенням компресора. Для швидкої заміни фільтра-осушувача лінія рідини холодильної установки оснащена ручними

запірними вентилями типу GBC (2) або BML. Тиск на сторонах високого і низького тиску компресора визначається за манометрами.

На рисунку 1.10 зображена схема однієї з найбільш поширених холодильних установок з проміжним холодоносієм і одноступінчастим компресором.

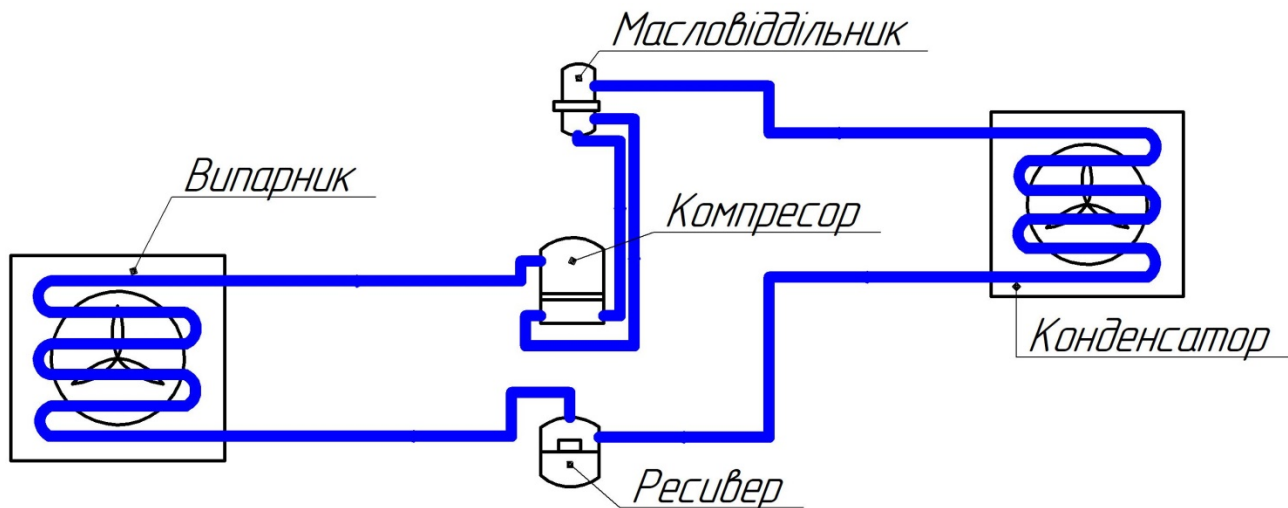


Рисунок 1.10 – Загальна структура холодильної установки

Машина являє собою комплект апаратів і приладів, об'єднаних в замкнуту систему, в якій здійснюється процес отримання штучного холоду за схемою машини одноступінчастого стиснення.

Машина складається з компресора, конденсатора водяного охолодження, випарника з внутрішньотрубним кипінням холодильного агента, осушувача-фільтра, системи трубопроводів, приладів автоматики, арматури і щита управління.

Компресор призначений для відсмоктування парів холодильного агента з випарника, стиснення їх до тиску конденсації і нагнітання в конденсатор. Система мастила в компресорі комбінована: примусова - шатунних шийок і розбризкуванням – дзеркала циліндрів, поршнів, поршневих пальців і підшипників кочення. У систему мащення входить масляний насос, помилковий підшипник і перепускний клапан. Масляний насос шестерний, реверсивний. Робота масляного насоса полягає в тому, що профільтовану в масляному фільтрі масло потрапляє у всмоктувальну порожнину насоса, звідти захоплюється шестернями і виштовхується в нагнітальну порожнину.

Конденсатор призначений для конденсації парів холодильного агента за рахунок теплообміну з охолоджувальною водою. Складається обичайки, на кінцях якої приварені трубні решітки, пучка ребристих накатних мідних труб, кінці яких развальцовани в трубних решітках. Торцеві сторони конденсатора закриті кришками. У правій кришці є отвори для входу і виходу води, причому, що охолоджує вода підводиться знизу, а відходить зверху. Конденсатор забезпечений плавкою пробкою для збору холодильного агента при аварійному підвищенні температури.

Випарник складається з корпусу і двох кришок. Пучок мідноалюмінієвих труб закріплюється в трубних решітках способом развальцовування. Для більш інтенсивного теплообміну всередині мідних труб є алюмінієві сердечники в формі зірки, які поділяють внутрішній обсяг трубок на десять - секторів - каналів. До трубним грат кріпляться кришки ліва і права. У кришці лівої є два фланця і внутрішня розділяє перегородка.

Осушувач-фільтр являє собою металевий корпус, в якому знаходиться гільза, наповнена силікагелем, що володіє властивістю поглинати вологу, і сітчастий фільтр. У разі засмічення фільтра, сітчастий фільтр і гільза виймаються з корпусу, сітчастий фільтр промивається, селикагель регенерується при температурі не менше 250°C протягом двох годин і знову встановлюється в корпус, при цьому температура Селикагель повинна бути не менше 100°C, сітчастий фільтр повинен бути осушений.

Реле тиску призначене для підтримки заданого тиску у всмоктувальній і нагнітальній лініях холодильної машини шляхом замикання або розмикання контактів ланцюга живлення електродвигуна компресора холодильної машини. Прилад має сенсор низького тиску (СНТ) та сенсор високого тиску (СВТ), що впливають на одне загальне комутаційне контактний пристрій.

Сенсор низького тиску служить для підтримки тиску в випарнику і забезпечує розмикання контактів при зниженні тиску в лінії всмоктування компресора нижче 0,03 МПа (0,3 кгс / см²) і повернення в початкове положення при підвищенні тиску в цій лінії понад 0,4 Мпа (4 кгс / см²).

СВТ підтримує тиск в компресорі і забезпечує розмикання контактів при підвищенні тиску в лінії нагнітання компресора вище 1,9 МПа і повернення в початкове положення при зниженні тиску в цій лінії нижче 0,70 МПа.

Холодильний агент (холодоагент) – це робоча речовина, за допомогою якого в холодильній машині відбувається круговий процес, або цикл. У парокомпресорній холодильній машині холодоагент кипить при низькій температурі в випарнику, поглинає теплоту з охолоджуваного середовища і віддає її в конденсаторі навколишньому середовищу, перетворюючись з пароподібного стану в рідке.

Холодильним агентом для машин є R22 ГОСТ 8502-73, важкі, безбарвний газ з дуже слабким запахом, концентрація якого понад 20% в повітрі викликає задуху через нестачу кисню, що витісняється з повітря важкими парами холодильного агента.

Питома вага рідкого холодильного агента при 0°C - 1,285 кг / л. Холодильний агент розчиняє мастило. Суміш холодильного агента з маслом розчиняє звичайну гуму. Тому в машинах рекомендуються прокладки з пароніту або спеціальної гуми. Розчинність води в рідкому холодильному агенті мала, не більше 0,0025% за вагою при температурі 0°C. нерозчиненою водою викликає корозію металевих частин машини, замерзаючи, може перекрити прохідний отвір в теплорегулюючому вентилі. При відсутності вологи холодильний агент не викликає корозію металу.

Холодильний агент добре змиває з металу різні сторонні частинки, тому при ремонті машин – ремонті компресора, повинні застосовуватися особливі заходи, які захищають машину від забруднення. Холодильний агент дуже текучий. Він володіє здібностями проникати крізь дрібні пори металу і найменші нещільності в з'єднаннях і стінках судин. В умовах атмосферного тиску (760 мм. Рт. Ст.) Холодильний агент переходить з рідкого в газоподібний стан (кипить) при температурі мінус 40,8°C. Температура замерзання дорівнює мінус 160°C.

1.3 Застосування компресорів в холодильній техніці та їх класифікація

В установках помірного і глибокого холоду, а також в газотурбінних установках компресори є органічною частиною, що в значній мірі визначає економічність агрегатів.

Залежно від конструкції блоки підрозділяються на: поршневі, гвинтові, лопатеві тощо. Блок в поєднанні з двигуном може стискати газ, але така система не в змозі самостійно підтримувати тиск газу в заданих межах.

Найтиповіші області застосування компресорів:

1. Генерація пневматичної енергії;
2. Транспортування газу по магістральних газопроводах;
3. Компресія повітря для отримання кисню методом розділення;
4. Подача стислого повітря в технологічних цілях на підприємствах;
5. Холодильна техніка.

За принципом дії компресори розділяють на об'ємні та динамічні.

До динамічних відносяться відцентрові та осьові компресори. У них тиск підвищується при безперервному русі газу через проточну частину машини за рахунок енергії, яку надають частинкам газу лопатки ротора, що обертається. При цьому кінетична енергія перетворюється в роботу сил тиску.

У об'ємних компресорах тиск газу підвищується внаслідок зменшення простору, в якому знаходиться газ, в ідеальному випадку цей простір є абсолютно герметичним і ніяких витоків в процесі підвищення тиску не відбувається. До об'ємних компресорам відносяться поршневі, мембранні і роторні.

Всі компресори незалежно від принципу дії підрозділяються по основних експлуатаційних параметрах – тиску і подачі. Компресори, що стискають газ до тиску 0,2 - 1,0 МПа, називають компресорами низького тиску, до тиску 1,0 - 10,0 МПа – середнього і до тиску 10 - 100 МПа – компресорами високого тиску.

До компресорів висуваються, в основному, такі ж вимоги, як і до всіх інших виробів машинобудування. Компресор має бути надійним і економічним в експлуатації, простий в монтажі і обслуговуванні, технологічний у виготовленні. Показники, що характеризують його металоємність і енергоспоживання, мають

бути мінімально можливими. Очевидно, що забезпечити в рівній мірі виконання всіх цих вимог в одній конструкції практично неможливо. Тому кожен тип компресора має свої достоїнства і недоліки в порівнянні з іншими і вибір типу і конструкції залежить від конкретних умов.

У поршневих компресорів проблеми досягнення високого тиску не існує. Але для підвищення подачі необхідно збільшувати розміри циліндра і всіх інших вузлів компресора. При цьому збільшується маса вузлів, що здійснюють зворотно-поступальний рух і відповідно сили інерції, що діють на них. Тому при збільшенні габаритів поршневих компресорів доводиться знижувати швидкість руху поршня.

На рисунку 1.11 привеедна схема поршневого компресора простої дії.

На рисунку 1.11 приведені такі позначення: 1 – циліндр; 2 – поршень; 3 – рубашка для охолодження циліндра; 4 – шатун; 5 – кривошип колінчатого валу; 6 – станина - картер; 7 – всмоктуючий клапан; 8 – всмоктуючий патрубок; 9 – нагнітальний патрубок; 10 – нагнітальний клапан; 11 – рубашка для охолодження кришки; 12 – кришка циліндра.

У циліндрі 1 розташований поршень 2, який під дією кривошипно-шатунного механізму здійснює зворотно-поступальний рух. На поверхні циліндра розташовані всмоктуючий 7 і нагнітальний 10 клапани. Всмоктуючий клапан 7 відкривається у бік поршня 2, а нагнітальний 10 у бік нагнітального трубопроводу. Обидва клапани складають механізм розподілу, який регулює надходження газу в циліндр і подачу його з циліндра в нагнітальний трубопровід.

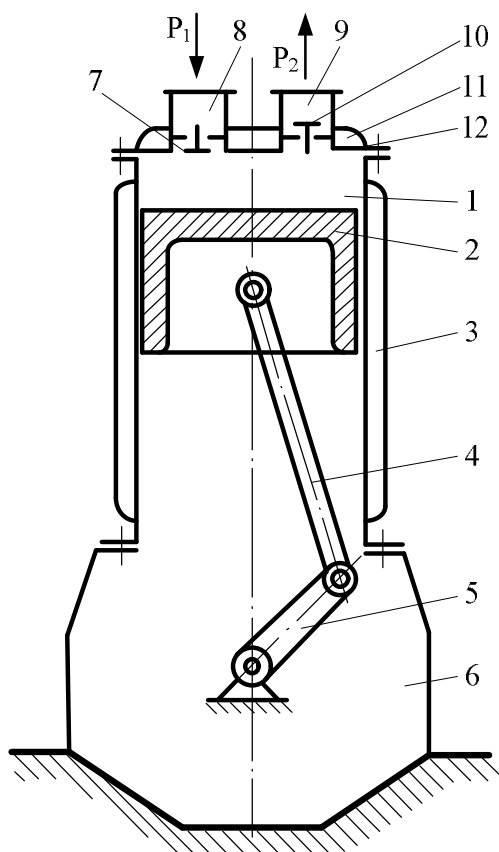


Рисунок 1.11 – Схема вертикального одноступінчатого компресора простої (односторонньої) дії

При русі поршня вниз тиск в просторі між циліндром і поршнем стає менше, ніж у всмоктуючому патрубку, всмоктуючий клапан відкривається і газ потрапляє в циліндр. Коли поршень досягає крайнього нижнього положення, тиск в циліндрі і всмоктуючому трубопроводі практично вирівнюється і клапан під дією пружини притискається до сідла і перекриває отвір, що сполучає порожнину циліндра із всмоктуючим трубопроводом. Протягом всього періоду всмоктування отвір нагнітального клапана закритий.

На рисунку 1.12 приведена класифікація компресорів.



Рисунок 1.12 – Класифікація компресорів

В кожного з типів компресорних машин є свої переваги та недоліки, які повинні враховуватись при виборі установки в кожному конкретному випадку.

В сучасній промисловості найчастіше використовуються та експлуатуються поршневі компресори, це пов'язано з їх простотою у обслуговуванні та надійністю в експлуатації.

Висновок: Проведено аналіз основних принципів побудови холодильного обладнання, приведена класифікація холодильних установок, проаналізовано їх переваги та недоліки, розглянуто роль та застосування компресорів в холодильній техніці та їх класифікацію.

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА КОМПРЕСОРА ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Розрахунок та побудова навантажувальної діаграми і тахограми виконавчого органу виробничого механізму

Визначимо робочий об'єм компресора для одного циліндра [3]:

$$V_p = \frac{Q}{\lambda_0 \cdot \lambda_m \cdot \lambda_r \cdot \frac{n}{60}}, \quad (2.1)$$

де Q – подача компресора;

λ_0 – об'ємний ККД;

λ_r – коефіцієнт герметичності ($\lambda_r=0,96$);

n – кількість подвійних ходів поршня за хвилину (2000 об/хв).

$$\lambda_0 = 1 - a \cdot \left(\varepsilon^{\frac{1}{n_p}} - 1 \right), \quad (2.2)$$

де a – об'єм мертвого простору ($a=0,035$);

ε – ступінь підвищення тиску компресора;

n_p – показник політропи розширення ($n_p=1,25$).

$$\varepsilon = \sqrt[z]{\frac{\varepsilon_k}{\lambda_\varepsilon^{z-1}}}, \quad (2.3)$$

де z – кількість ступенів ($z=1$);

λ_ε – коефіцієнт, що враховує втрати тиску в проміжних охолоджувачах.

Оскільки $z=1$, то $\lambda_\varepsilon^{z-1} = 1$. Тому що будь-яке число в нульовому степені рівне одиниці.

$$\varepsilon_k = \frac{p_2}{p_1}, \quad (2.4)$$

де p_1 – величина нижнього тиску;

p_2 – величина верхнього тиску.

$$\varepsilon_k = \frac{800000}{101000} = 7,921,$$

$$\varepsilon = \sqrt[1]{\frac{7,921}{0,93^{1-1}}} = 7,921,$$

$$\varepsilon = \sqrt[1]{\frac{7,921}{0,93^{1-1}}} = 7,921,$$

$$\lambda_0 = 1 - 0,035 \cdot \left(7,921^{\frac{1}{1,25}} - 1 \right) = 0,852$$

Розрахуємо подачу компресора для одного циліндра:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot \frac{n}{60}, \quad (2.5)$$

де D – діаметр циліндра ($D=0,06$ м);

S – хід поршня ($S=0,038$ м).

$$Q = \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} \cdot 0,038 \cdot \frac{2000}{60} = 3,581 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{/с)},$$

$$V_p = \frac{3,581 \cdot 10^{-3}}{0,852 \cdot 0,92 \cdot 0,96 \cdot \frac{2000}{60}} = 1,428 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^3\text{)}.$$

Визначимо робочий об'єм компресора для двох циліндрів:

$$V_p = \frac{Q}{\lambda_0 \cdot \lambda_m \cdot \lambda_r \cdot \frac{n}{60}} \cdot 2, \quad (2.6)$$

$$V_p = \frac{3,581 \cdot 10^{-3}}{0,852 \cdot 0,92 \cdot 0,96 \cdot \frac{2000}{60}} \cdot 2 = 2,857 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^3\text{)}.$$

При побудові навантажувальної діаграми механізму знаходять ряд наступних значень.

Потужність компресора [3]:

$$N_k = \frac{\frac{n_p}{n_p - 1} \cdot p_1 \cdot Q \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n_p}{n_p - 1}} - 1 \right]}{1000 \cdot \eta_{\text{мех}}}, \quad (2.7)$$

де Q – продуктивність компресора ($Q=3,581 \cdot 10^{-3}$);

p_1 – початковий тиск повітря ($p_1=0,101$ МПа);

p_2 – кінцевий тиск повітря ($p_2=0,8$ МПа).

$$N_k = \frac{\frac{1,25}{1,25 - 1} \cdot 101000 \cdot 3,581 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\left(\frac{800000}{101000} \right)^{\frac{1,25}{1,25 - 1}} - 1 \right]}{1000 \cdot 0,8} = 1,159 \quad (\text{кВт}).$$

Момент опору на валу компресора рівний:

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{ст,м}} \cdot \sin \omega t, \quad (2.8)$$

де ω – кутова швидкість вала компресора;

$$M_{\text{ст,м}} \quad M_{\text{ст,м}} = p \cdot S_{\text{п}} \cdot R_{\text{п}}, \quad (2.9)$$

амплітудне значення моменту опору, де $R_{\text{п}}$ – радіус кривошипа (19 мм);

p – вихідний тиск компресора;

$S_{\text{п}}$ – площа поршня ($S_{\text{п}}=(\pi \cdot D^2)/4$).

Підставимо (2.9) у (2.8) і побудуємо графік моменту опору:

$$M_{\text{ст}} = \left| 800000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,06^2}{4} \cdot 0,019 \cdot \sin(\omega t) \right|$$

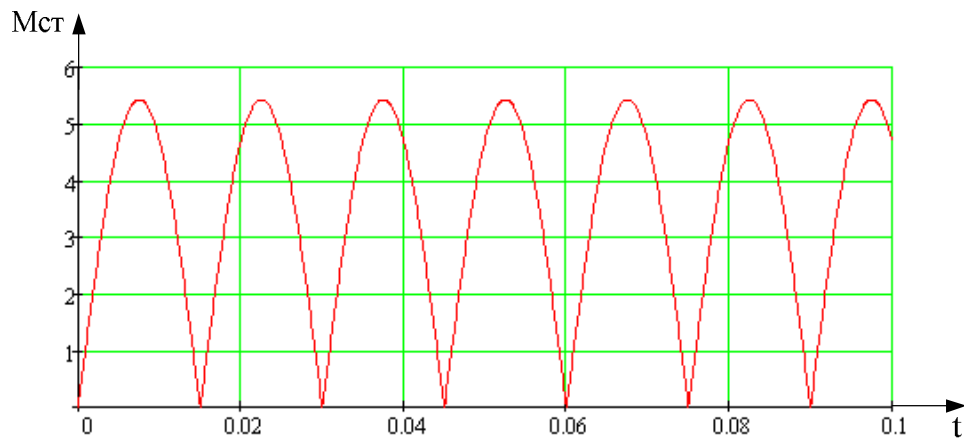


Рисунок 2.1 – Графік моменту опору на валу компресора

Момент опору на валу компресора ще можна визначити за потужністю:

$$M_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{ст}}}{\omega}, \quad (2.10)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}, \quad (2.11)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2000}{60} = 209,44 \text{ (с}^{-1}\text{)},$$

$$M_{\text{ст}} = \frac{1159}{209,44} = 5,534 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Приведений момент:

$$M_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{ст}}}{i_{\text{pn}}}, \quad (2.12)$$

де
е
 i_{pn}

$$M_{\text{пр}} = \frac{5,534}{1,5} = 3,69 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Тоді тривалість роботи електропривода компресора:

$$t_p = \frac{V_p}{Q - Q_p}, \quad (2.13)$$

—

де V_p – об'єм ресивера ($V_p=0,025 \text{ м}^3$);

п
е
р

Q_p – витрати повітря в системі ($Q_p=5 \text{ м}^3/\text{год}$).

$$t_p = \frac{0,025}{12,6 - 5} \cdot 3600 = 11,4 \quad (\text{с}).$$

Час пуску:

$$t_{\pi} = \frac{\omega}{\varepsilon}, \quad (2.14)$$

$$t_{\pi} = \frac{209,44}{70} = 2,992 \quad (\text{с}).$$

Приймаємо, що час пуску для двигуна рівний часу гальмування:

$$t_{\pi} = t_r$$

Тривалість паузи в роботі агрегату:

$$t_0 = \frac{V_p}{Q_p}, \quad (2.15)$$

$$t_0 = \frac{0,025}{5} \cdot 3600 = 18 \quad (\text{с}).$$

Тривалість одного циклу:

$$t_{\pi} = t_0 + t_p, \quad (2.16)$$

$$t_{\pi} = 18 + 11,4 = 29,4 \quad (\text{с}),$$

Відносна тривалість ввімкнення:

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_{\pi}}, \quad (2.17)$$

$$\varepsilon = \frac{11,4}{29,4} = 0,388$$

Тахограма робочого механізму представлена на рисунку 2.2.

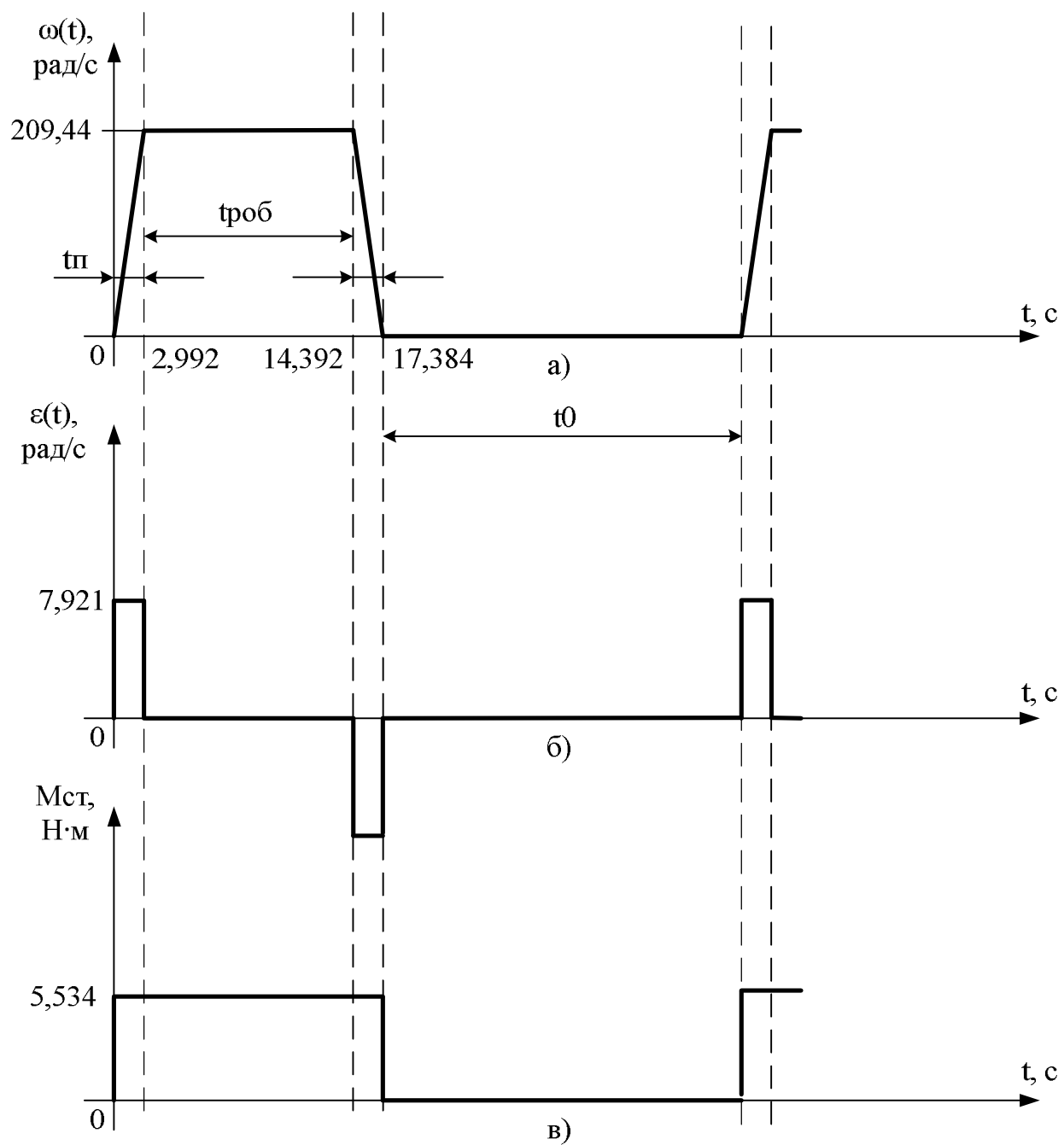


Рисунок 2.2 – Тахограма робочого механізму

Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Потужність необхідна для привода компресора [3], визначається за формулою:

$$N_k = k \cdot \frac{\frac{n_p}{n_p - 1} \cdot p_1 \cdot Q \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n_p}{n_p - 1}} - 1 \right]}{1000 \cdot \eta_{\text{мех}}}, \quad (2.18)$$

де k – коефіцієнт запасу ($k=1,1 \dots 1,2$);

Q – продуктивність (або подача) механізму ($Q=3,581 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$);

$\eta_{\text{мех}}$ – ККД компресора ($\eta_{\text{мех}}=0,8$).

$$N_k = (1,1 \dots 1,2) \cdot \frac{5 \cdot 101000 \cdot 3,581 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\left(\frac{800000}{101000} \right)^5 - 1 \right]}{1000 \cdot 0,8} = (1,275 \dots 1,391)$$

Висновок: Виконано попередній розрахунок величин для подальших розрахунків, а також розрахунки статичного моменту на валу двигуна, час роботи та побудували тахограми механізму компресора. Розраховано потужність за якою в подальшому будемо вибирати електродвигун компресора. Найближча в ряді до розрахованої потужність 1,5 кВт. На неї і будемо орієнтуватися в подальшому при виборі двигун.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода

В якості електропривода компресора холодильної установки простішим із найменшими капітальними вкладеннями є застосування асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором. Цей вид приводу застосовується для турбомеханізмів від найменших потужностей до декількох МВт [2-4].

Оскільки пуск асинхронного двигуна відбувається в тяжких умовах, то доцільно використовувати регульований електропривод. Виходячи з того, що для даної насосної установки основним завданням є регулювання, то доцільною схемою регулювання є система ПЧ-АД.

Основні недоліки таких систем – складність і висока вартість перетворювача частоти, вибраного на повну потужність механізму. Привід з двигунами змінного струму значно дорожче за приводи постійного струму, проте він володіє перевагами, визначеними конструктивними особливостями асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором. Регулювання швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живлячої напруги є найбільш економічним і ефективним. При частотному регулюванні ковзання машини незалежно від діапазону регулювання підтримується порівняно невеликим, і втрати в двигуні невеликі. В цьому випадку асинхронний електропривод не поступається електроприводу постійного струму ні по статичних, ні по динамічних властивостях. Якщо при цьому врахувати, що асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором в 1,5-2 рази легше і в 3 рази дешевше, ніж аналогічний двигун постійного струму, то стає очевидною перспективність використання асинхронних електроприводів з частотним регулюванням [7].

Таким чином електропривод компресора характеризується:

1. Тривалим режимом роботи.
2. Широким діапазоном використовуваних потужностей.

В якості електроприводів компресорів застосовуються електродвигуни потужністю від декількох кВт до десятків-сотень кіловат.

3. Доцільністю регулювання швидкості по технологічних і енергетичних міркуваннях.

Системи електропривода, які можуть бути використані для даного випадку мають деякі переваги та недоліки. Система ТРН-АД має порівняно невеликий діапазон регулювання швидкості і являється неекономічною. В системи ПЧ-АД досить широкий діапазон регулювання і плавність зміни швидкості. Система ТП-Д має хороші показники, щодо жорсткості характеристик і широкий діапазон регулювання швидкості. Система ДПС з реостатним регулюванням має хороші показники, щодо жорсткості, але погані показники, щодо економії електроенергії. Для поліпшення динамічних та енергетичних характеристик електропривода змінного струму було здійснено перехід до системи з асинхронновентильним каскадом (АВК) [3]. Окрім складної структури такої системи є необхідність використання додаткового обладнання: випрямляча, дроселя, інвертора, трансформатора.

3.2 Економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Для порівняння техніко-економічних показників систем електроприводу розглядатимемо такі системи:

- широтно-імпульсний перетворювач з двигуном постійного струму (ШП-ДПС);
- АД з ФР (АВК);
- перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД).

Наведемо приклад розрахунку для одного із запропонованих варіантів системи керування (ПЧ- АД), при умові, що потужність привідного двигуна складає 1,5 кВт.

Розглянемо ці варіанти з економічної точки зору. Результати розрахунків будуть зведені в таблицю 3.1.

Визначаємо споживану потужність системи електроприводу:

$$P_1 = P_H / \eta_H, \quad (3.1)$$

$$P_1 = 1,5 / 0,84 = 1,74 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності:

$$\Delta p = P_1 - P_H, \quad (3.2)$$

$$\Delta p = 1,74 - 1,5 = 0,24 \text{ (кВт)}.$$

Приймаємо тривалість роботи системи електроприводу рівною двом робочим змінам, тобто $t_{\text{год}} = 8$ год. Кількість робочих днів в 2024 році складатиме $t_{\text{д}} = 250$ днів.

Тоді тривалість роботи обладнання на рік:

$$t_p = t_{\text{год}} \cdot t_{\text{д}}, \quad (3.3)$$

$$t_p = 8 \cdot 250 = 2000 \text{ (год/рік)}.$$

Розрахуємо річну вартість втрат електроенергії в системі електроприводу, виходячи з тривалості роботи обладнання, величини втрат потужності та діючого тарифу на електроенергію.

$$\Delta w = \Delta p \cdot t_p \cdot T, \quad (3.4)$$

де T – тариф на електроенергію. Ціна на універсальні послуги для малих непобутових споживачів, електроустановки яких приєднані до електричних мереж згідно з класом напруги з ПДВ складає приблизно 8 грн/кВт·год.

$$\Delta w = 0,24 \cdot 2000 \cdot 8 = 1920 \text{ (грн/рік)}.$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу

Система електроприводу	ШП-ДПС	АД з ФР (АВК)	ПЧ-АД
Потужність двигуна, кВт	1,5	1,5	1,5
ККД двигуна та системи	0,86	0,82	0,84
Спожита потужність двигуна, кВт	1,76	1,8	1,74
Тривалість роботи, год/добу	24	24	24
Тривалість роботи, днів/рік	250	250	250
Тривалість роботи, год/рік	6000	6000	6000
Втрати потужності, кВт	0,26	0,3	0,24
Тариф електроенергії, грн/кВт год	8	8	8
Вартість втрат електроенергії, грн/рік	12480,0	14400,0	11520,0
Вартість двигуна Д, грн	10951,2	5475,6	4212,0
Вартість системи С, грн	12570,0	10120,0	7980,0
Нормовані затрати на амортизацію 15%(С+Д)	3528,2	2339,3	1828,8
Експлуатаційні затрати (ремонт + тех. обслуг)	541,0	358,7	280,4
Вартість експлуатації електроприводу, грн	16549,2	17098,0	13629,2
Зведені витрати $Z = E_n \cdot K + C$, грн.	20077,3	19437,4	15458,0

Визначаємо нормовані затрати на амортизацію (оновлення основних засобів виробництва) в сумі 15 від вартості системи електроприводу.

$$A = 0,15 \cdot (C + D), \quad (3.5)$$

де С – вартість системи керування, С = 4212 (грн),

Д – вартість електродвигуна, Д = 7980 (грн);

$$A = 0,15 \cdot (7980 + 4212) = 1828,8 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на обслуговування і ремонт:

$$E = 0,02 \cdot (C + D + A) = 0,02 \cdot (7980 + 4212 + 1828,8) = 280,4 \text{ (грн.)}$$

Собівартість експлуатації системи електроприводу із врахування обслуговування та витрат електроенергії:

$$C = A + E + \Delta w, \quad (3.6)$$

де E – експлуатаційні затрати, $E = 6468,4$ грн/рік;

$$C = 1828,8 + 280,4 + 11520 = 13629,2 \text{ (грн.)}$$

Зведені витрати:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (3.7)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_n=0,15$);

K – капіталовкладення, в які входять вартість двигуна D та системи керування СК;

C – собівартість.

$$Z = 0,15 \cdot (7980 + 4212) + 13629,2 = 15458,0 \text{ (грн.)}$$

Аналогічним чином розраховуються економічні показники і для інших систем.

Для остаточного порівняння щодо вибору системи електропривода [6] здійснимо порівняння розглянутих систем з позиції технічної ефективності. В поставленій задачі немає великої необхідності регулювати швидкість обертання двигуна, але потрібно постійно підтримувати її сталою. Тому варто застосовувати систему типу перетворювач частоти – асинхронний двигун. Не виключене також застосування двигуна постійного струму. З точки зору сучасних технологій та можливості програмування найбільш прийнятним є схема перетворювач частоти – асинхронний двигун. В даному випадку можна обирати асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Система вибирається з таких міркувань: 1) річні затрати на спорудження електроприводу; 2) надійність електроприводу; 3) відповідність умовам регулювання.

З точки зору надійності електропривод на основі АД є більш надійним. Асинхронні двигуни надійніші за двигуни постійного струму і електропривод на їх основі містить менше елементів, що підвищує його надійність у порівнянні з електроприводом на основі ДПС. З економічної точки зору АД також є вигіднішим.

Отже, найбільш вигідною є система ПЧ – АД. Ця система найбільш краща для автоматизації і значно спрощує схему керування.

Висновок: в результаті техніко-економічного обґрунтування найбільш доцільним вибором з точки зору економічних показників та режимів роботи є система електроприводу ПЧ–АД. На сьогоднішній день застосування частотного регулювання швидкості обертання електродвигунів змінного струму стає промисловим стандартом. Це обумовлено досягненням в області розробки і виготовлення сучасних перетворювачів частоти, застосування яких реалізувати найбільш економічні алгоритми управління двигуном для кожного конкретного технологічного процесу. Застосування частотно - регульованих електроприводів дозволяє зекономити від 20 до 50% електроенергії у порівнянні з іншими електроприводами, не оснащеними перетворювачами частоти. Включення високовольтних перетворювачів частоти в склад електропривода насосу дозволяє виконувати плавний частотний пуск і регулювання частоти обертання приводного двигуна.

4 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА ЗА ПОТУЖНІСТЮ І ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ

4.1 Вибір приводного двигуна

Швидкість двигуна можна визначити за формулою:

$$n_d = n_k \cdot i_{pn} ,$$

де n_k – швидкість компресора ($n_k = 2000$ (об / хв));

i_{pn} – передаточне число пасової передачі ($i_{pn} = 1,5$).

$$n_d = 2000 \cdot 1,5 = 3000 \text{ (об/хв)} .$$

Виходячи з визначеної потужності та швидкості обертання, враховуючи економічні показники вибираємо асинхронний двигун з КЗ ротором серії АИР, паспортні дані якого представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	АИР 80 А2
Номінальна потужність P_n , кВт	1,5
Номінальна частота обертання n_n , об / хв	3000 (2850)
Номінальний струм статора I_n , А	3,46
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі $\cos\varphi$	0,84
ККД η , %	78,5
Частота мережі f , Гц	50
Кратність пускового струму $\lambda_{I, \text{пуск}}$	7,0
Момент інерції двигуна $J_{дв}$, кг·м ²	$11 \cdot 10^{-4}$
Кратність пускового моменту m_n	2,2
Кратність максимального моменту m_{max}	2,3
Номінальна напруга (Δ/Y) $U_{ном}$, В	220/380
Маса, кг	18

4.2 Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода

Динамічний момент визначається за формулою:

$$M_{\text{д}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{t_{\text{р}}} , \quad (4.1)$$

де J_{Σ} - приведений момент інерції механізму;

$t_{\text{р}}$ – час розгону ($t_{\text{р}}=2,992$ с);

$\omega_{\text{н}}$ – встановлена кутова швидкість після розгону (номінальна).

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} , \quad (4.2)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2000}{60} = 209,44 \text{ (рад/с)} .$$

Важливою особливістю механізмів переміщення є велика механічна інерція, вплив якої тим більший, чим важча рухома частина і чим вища швидкість руху. Приведений до вала двигуна момент інерції рухомих мас механізму у декілька разів більший власного моменту інерції двигуна.

Моменти інерції всіх обертових елементів механізму компресора визначаємо з довідникових даних і приводимо їх до швидкості обертання вала двигуна, при цьому скористаємось формулами кінетичної енергії для обертового руху і умови рівності кінетичних енергій реальної та приведеної систем (без врахування втрат в механізмах); тоді приведений момент інерції всього механізму буде визначатись по виразу:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{д}} + J_{\text{рн}} \cdot \frac{1}{i_{\text{рн}}^2} , \quad (4.3)$$

де $J_{\text{д}}$ – момент інерції двигуна;

$J_{\text{рн}}$ – момент інерції пасової передачі ($J_{\text{рн}}=0,22$ кг·м²);

$i_{\text{рн}}$ – передаточне число пасової передачі ($i_{\text{рн}}=1,5$).

$$J_{\Sigma} = 0,00183 + 0,22 \cdot \frac{1}{1,5^2} = 0,0996 \text{ (кг·м}^2\text{)}.$$

Отже, динамічний момент:

$$M_d = 0,0996 \cdot \frac{209,44}{2,992} = 6,972 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

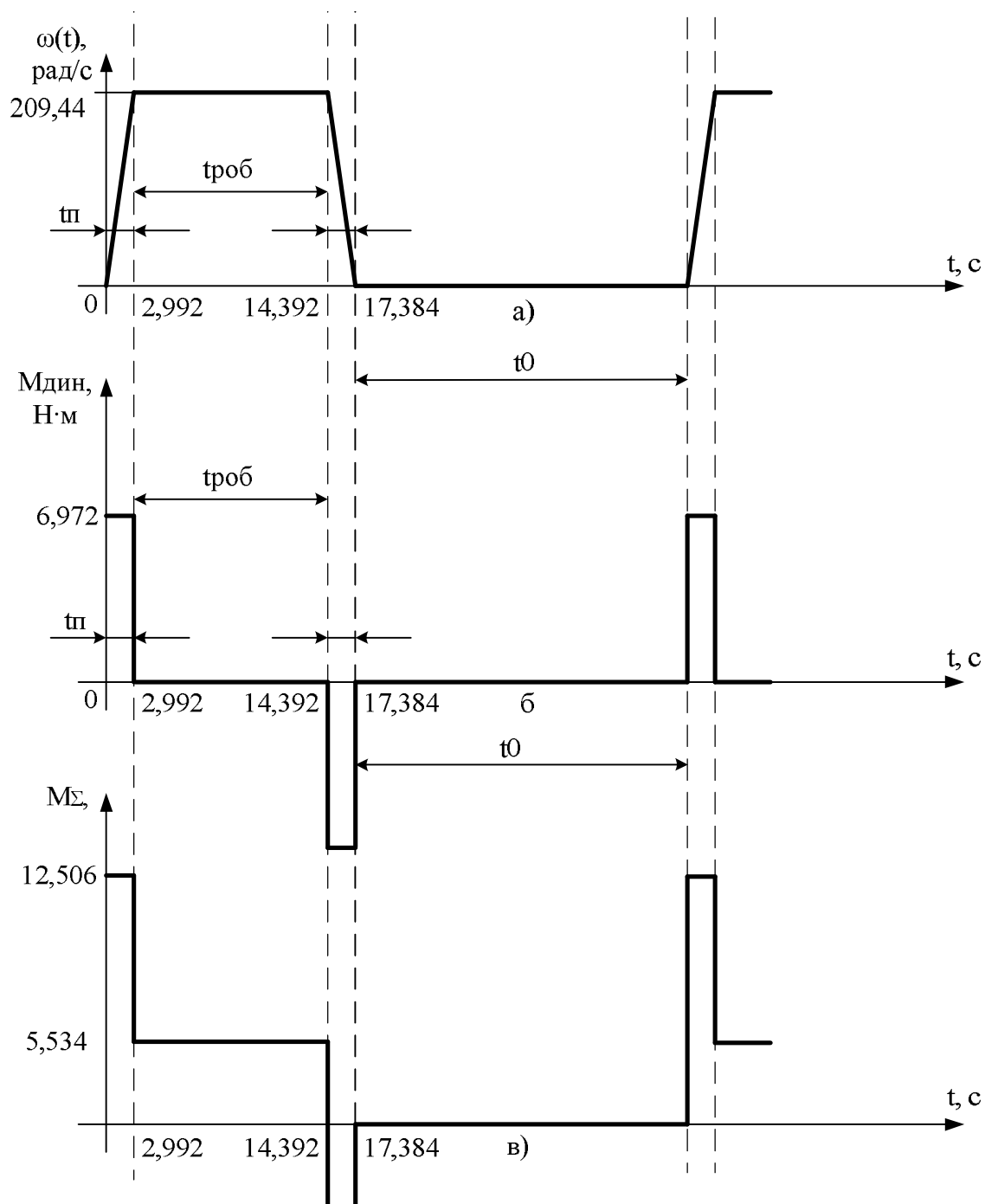


Рисунок 4.1 – Навантажувальна діаграма електропривода

4.3 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску

Перевірку приводного двигуна за нагрівом виконуємо за допомогою методу еквівалентного моменту ЕП [5], який полягає у порівнянні номінального моменту двигуна та деякого середнього значення моменту опору за один технологічний цикл:

$$M_{\text{екв1}} = \sqrt{\frac{M_{\Sigma 1}^2 \cdot t_p + M_n^2 \cdot t_{\text{роб}} + M_{\Sigma 2}^2 \cdot t_r}{t_p + t_{\text{роб}} + t_r + t_0}}, \quad (4.4)$$

$$M_{\text{екв1}} = \sqrt{\frac{12,506^2 \cdot 2,992 + 5,534^2 \cdot 11,4 + (-1,438)^2 \cdot 2,992}{2,992 + 11,4 + 2,992 + 18}} = 4,82(\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Визначимо номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{ном.д}} = 9550 \cdot \frac{P_n}{n_n}, \quad (4.5)$$

$$M_{\text{ном.д}} = 9550 \cdot \frac{1,5}{2850} = 5,026(\text{Н} \cdot \text{м})$$

Як видно $M_{\text{ном.д}} > M_{\text{екв1}}$, тому можна сказати, що двигун має запас по нагріванню і не нагріється до максимально допустимої температури за даних умов його роботи.

Для забезпечення надійного пуску двигуна слід зробити перевірку за умовою:

$$k_u^2 \cdot M_n \geq M_{\text{тп}}. \quad (4.6)$$

де k_u – коефіцієнт, що визначає кратність дійсної напруги при пуску по відношенню до номінальної ($k_u = 0,93$).

M_n – пусковий момент;

$M_{\text{тп}}$ – момент пуску робочого органу механізму, який приблизно можна розрахувати за виразом:

$$M_{\text{тп}} = \frac{P_c}{\omega_n}, \quad (4.7)$$

$$M_{\text{тп}} = \frac{1391}{298,395} = 4,66 \text{ (Н} \cdot \text{м)} ,$$

$$M_{\text{п}} = M_{\text{н}} \cdot m_{\text{п}} ,$$

$$M_{\text{п}} = 5,026 \cdot 2 = 10,052 \text{ (Н} \cdot \text{м)},$$

$$0,93^2 \cdot 10,052 \geq 4,66 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Найбільшого навантаження зазнає двигун при його пуску під навантаженням, цей момент складає $M_{\text{п.нав.}} = 8,69 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$. Даний момент є менший ніж момент допустимого короткочасного перевантаження який складає $M_{\text{доп}} = 11,0572 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$. Отже, можна зробити висновок, що даний двигун забезпечує достатній пусковий момент при виконанні даного циклу роботи.

Висновок: Виконано вибір приводного двигуна компресора типу АІР 80 А2 потужністю 1,5 кВт та розраховано динамічний момент двигуна, приведений момент інерції всього механізму та побудовано навантажувальну діаграму електропривода. Проведені розрахунки показують, що даний двигун має достатній запас за нагрівом і перевантажувальною здатністю.

5 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Проведемо розрахунок статичних характеристик електродвигуна.

Номінальна фазна напруга двигуна [5]:

$$U_{\phi} = \frac{U_H}{\sqrt{3}}, \quad (5.1)$$

$$U_{\phi} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393(\text{В}).$$

Номінальне ковзання:

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{n_1 - n_H}{n_1}, \quad (5.2)$$

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{3000 - 2850}{2850} = 0,053.$$

Критичне ковзання:

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{НОМ}} \cdot (m_{\text{max}} + \sqrt{m_{\text{max}}^2 - 1}), \quad (5.3)$$

де m_{max} – кратність максимального моменту ($m_{\text{max}} = 2,2$).

$$S_{\text{кр}} = 0,053 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,22.$$

Визначимо механічні втрати:

$$\Delta P_{\text{мех}} = (0,01 \div 0,05) \cdot P_H, \quad (5.4)$$

$$\Delta P_{\text{мех}} = 0,05 \cdot 1500 = 75(\text{Вт}).$$

Приведений активний опір ротора:

$$R_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_H + \Delta P_{\text{мех}}}{I_H^2 \cdot \frac{1 - S_{\text{НОМ}}}{S_{\text{НОМ}}}}, \quad (5.5)$$

$$R_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{1500 + 75}{3,3^2 \cdot \frac{1 - 0,053}{0,053}} = 1,306(\hat{\text{І}} \text{ і}).$$

Активний опір статора:

$$R_{ст} = \frac{U_{\phi} \cdot 0,69 \cdot (1 - \eta_H)}{I_H} - C^2 \cdot R_p - \frac{\Delta P_{мех}}{3 \cdot I_H^2}, \quad (5.6)$$

$$R_{\dot{H}\dot{O}} = \frac{219,393 \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,81)}{3,3} - 1,04^2 \cdot 1,306 - \frac{75}{3 \cdot 3,3^2} = 5,109 (\hat{I} \text{ i}).$$

Приведена індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L_{cp} = L_{pp} = \frac{U_{\phi}}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot (1 + C^2) \cdot \lambda_{I. \text{ пуск}} \cdot I_H}, \quad (5.7)$$

де k – кратність пускового струму ($\lambda_{I. \text{ пуск}} = 6,5$).

$$L_{\dot{H}\dot{O}} = L_{\dot{O}\dot{O}} = \frac{219,393}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (1 + 1,04^2) \cdot 6,5 \cdot 3,3} = 5,61 \cdot 10^{-3} (\tilde{A} \hat{I}).$$

Індуктивність статора:

$$L_{ст} = \frac{U_{\phi}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot I_H^2 \cdot \sqrt{1 - \cos \varphi^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot M_{max}}{p \cdot U_H} \cdot \frac{S_H}{S_{кр}}}, \quad (5.8)$$

$$L_{\dot{H}\dot{O}} = \frac{219,393}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,3^2 \cdot \sqrt{1 - 0,7225} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 11,0572}{1 \cdot 380} \cdot \frac{0,053}{0,22}} = 0,289 (\tilde{A} \hat{I});$$

Індуктивність кола намагнічування:

$$L_M = L_{ст} - L_{cp}, \quad (5.9)$$

$$L_M = 0,289 + 5,61 \cdot 10^{-3} = 0,284 (\Gamma \hat{H}).$$

Для побудови механічної характеристики існує два способи: за формулою Клоса і за формулою Чекунова [8].

Побудуємо механічну характеристику за формулою Клоса:

$$M_{кл}(S) = \frac{2 \cdot M_{max} \cdot (1 + a \cdot |S_{кр}|)}{\frac{S}{|S_{кр}|} + \frac{|S_{кр}|}{S} + 2 \cdot a \cdot |S_{кр}|}, \quad (5.10)$$

де S – зміна ковзання ($S = 0 \div 1$);

a – відношення активного опору статора до активного опору ротора.

$$a = \frac{R_{\text{ст}}}{R_p}, \quad (5.11)$$

$$a = \frac{5,02}{1,39} = 3,912 (\text{Ом}).$$

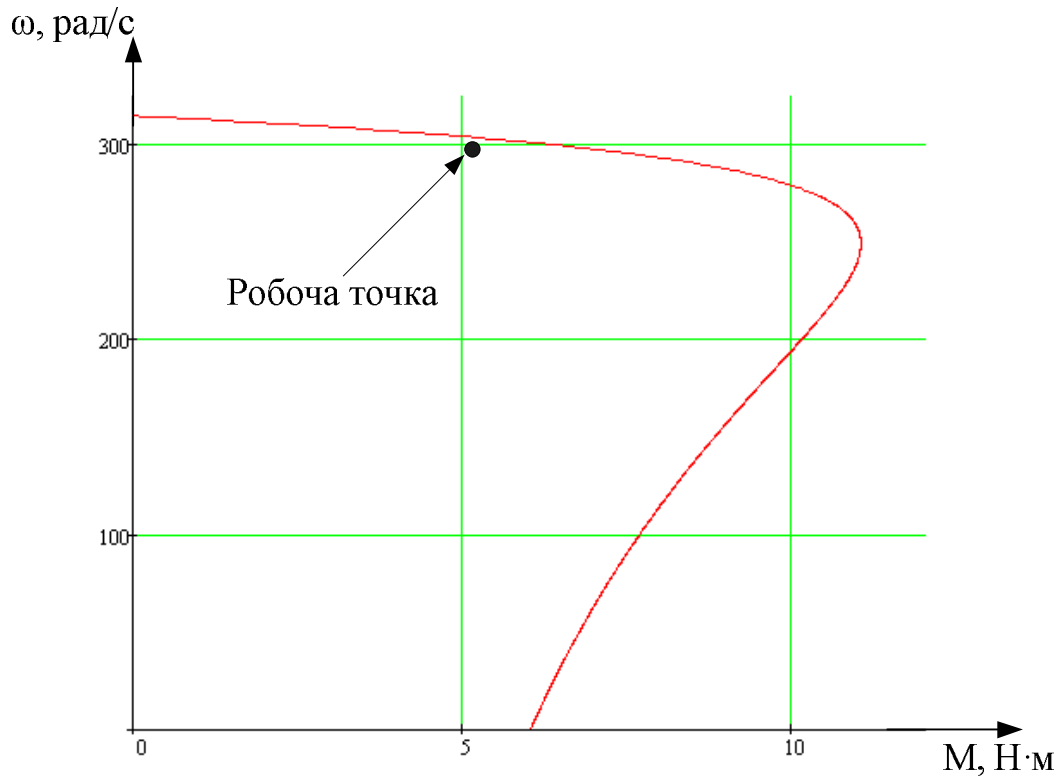


Рисунок 5.1 – Механічна характеристика привідного двигуна за формулою Клоса.

Побудуємо механічну характеристику за допомогою формули Чекунова:

$$M_{\text{чк}}(S) = M_{\text{max}} \cdot \frac{2 + (S^2 - S_{\text{кр}}^2) \cdot k_s}{\frac{S}{|S_{\text{кр}}|} + \frac{|S_{\text{кр}}|}{S}}. \quad (5.12)$$

Коефіцієнт k_s визначається за формулою:

$$k_s = \frac{\frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{max}}} \cdot \left(\frac{1}{S_{\text{кр}}} + S_{\text{кр}} \right) - 2}{1 - S_{\text{кр}}^2}, \quad (5.13)$$

де m_{π} – кратність пускового моменту ($m_{\pi} = 2$).

$$k_s = \frac{\frac{2}{2,2} \cdot \left(\frac{1}{0,22} + 0,22 \right) - 2}{1 - 0,22^2} = 2,676.$$

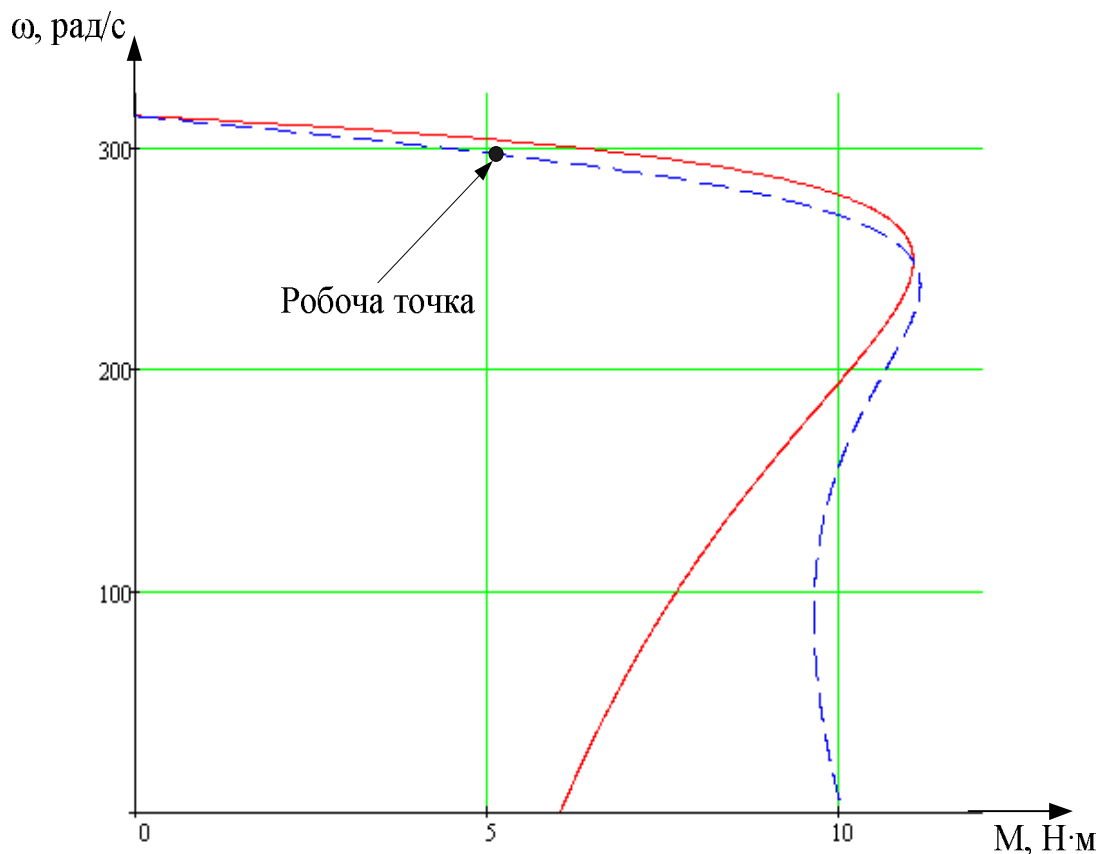


Рисунок 5.2 – Механічна характеристика привідного двигуна за формулами Чекунова і Клоса

Висновок: Порівнявши обидва графіки можна сказати, що графік побудований за формулою Чекунова проходить через робочу точки двигуна, тому для представлення механічної характеристики скористаємось саме даною формулою.

6 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРОМ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

6.1 Задачі управління компресорами холодильних установок

Рішення основної задачі управління холодильною установкою в значущій мірі полягає в регулюванні холодопродуктивністю компресорів. В поточний час застосовуються різні способи та конструктивні рішення пристроїв для регулювання продуктивності поршневих компресорів. В суднових холодильних установках, поряд з добре вивченими та перевіреними в експлуатації способами, такими як байпасування, дроселювання на всмоктуванні, примусовий вплив на всмоктувальні клапани компресора, «пуск-зупинка» двигуна, все більше поширення отримують і інші способи, які раніше не застосовувались в суднових умовах.

Холодопродуктивність поршневого компресора $Q_{км}$ можливо змінювати цільовим впливом на окремі складові, що входять до виразу, що визначає статичну характеристику продуктивності:

$$Q_{км} = \lambda V_h q_v = \lambda h \frac{\pi D^2}{4} \cdot n \cdot Z_0 \frac{q_0}{v_1}, \quad (6.1)$$

де λ – коефіцієнт подачі компресора;

V_h – теоретична об'ємна продуктивність компресора, $\text{м}^3/\text{с}$;

q_v – питома об'ємна холодопродуктивність компресора, $\text{Дж}/\text{м}^3$;

h – хід поршню, м ;

D – діаметр поршню, м ;

n – частота обертання валу компресора, с^{-1} ;

q_0 – питома масова продуктивність робочої речовини, $\text{Дж}/\text{кг}$.

Усі способи регулювання продуктивності можливо поділити на три основні групи:

- з виконавчими пристроями, розташованими на трубопровідних комунікаціях компресора;

- з виконавчими пристроями, розташованими безпосередньо в конструкції компресора;
- з пристроями, що оказують дію на двигун компресора.

Будь-який з способів має свої недоліки та переваги. Однак, треба визначити, що практично всі вони були розроблені та зорієнтовані для застосування в компресорах середньої та великої холодопродуктивності.

Холодопродуктивність компресора повинна відповідати тепловому навантаженню на холодильну установку. Визначення теплового навантаження на установку безпосередньо, в зв'язку з цим, достатньо складно організувати, а його оцінка зазвичай здійснюється за такими показниками, як тиск або температура випарювання холодильного агента та температура середовища, що охолоджується.

Якщо продуктивність компресора та теплове навантаження дорівнюють одне одному, то тиск і температура випарювання в приладах охолодження залишаються незмінними. При зростанні теплового навантаження в випарнику утворюється більше пари, ніж всмоктується компресором та тиск підвищується, що, в свою чергу, супроводжується відповідним зростанням температури. У випадку зменшення теплового навантаження тиск та температура випарювання знижуються. Таким чином, для підтримання фіксованої температури випарювання холодильного агенту слід змінювати продуктивність компресора.

Продуктивність компресора, зазвичай, регулюють за значеннями температури або тиску випарювання. Однак, можливі випадки систем управління в яких використанні регулюючі пристрої, що одержують сигнал про значення температури середовища, що охолоджується.

Регулювання продуктивності компресорів може бути як позиційним, так і плавним. Основні способи регулювання продуктивності холодильних компресорів, з урахуванням їх конструктивних особливостей, приведені на рисунку 6.1.

Важливе значення при управлінні компресорами, особливо значної та середньої холодопродуктивності, має розв'язання питання розвантаження компресора під час пуску. Для цього, зазвичай, застосовуються байпасування, дроселювання або їх комбінація.



Рисунок 6.1 – Методи управління холодопродуктивністю компресорів

Пуск з розвантаженням потребує використання, у випадку можливого перевищення моменту опору компресора, обертаючого моменту двигуна. У цьому випадку під час пуску штучно розвантажують компресор для зменшення моменту опору.

Важливим напрямом управління автоматичною роботою компресора є створення надійної системи захисту.

Небезпечні та аварійні випадки можуть виникати при підвищенні тисків та температур, припиненні або порушенні мащення пар тертя, при зупиненні або зниженні надходження охолоджуючого середовища (наприклад води або повітря) та ін. Якщо своєчасно не виконати певні дії по керуванню холодильною установкою можливі пошкодження вузлів та елементів холодильної машини. При цьому порушується не тільки технологічний процес, що забезпечується холодильною установкою, також можливо виникнення небезпеки для здоров'я і життя обслуговуючого персоналу та загроза навколишньому середовищу.

Системи автоматичного захисту забезпечують безпечну експлуатацію, блокують розвиток небезпечних ситуацій, виключають аварійні режими.

6.2 Плавне регулювання холодопродуктивності компресорів

Плавне регулювання холодопродуктивності компресорів можливо здійснювати регулюванням частоти обертання асинхронних електродвигунів шляхом включення додаткового опору в лінію ротора, зміною живлючої напруги, включенням в лінію ротора, що керується *ЕРС*, або дроселюванням пари, що всмоктується чи її перепуском з нагнітальної сторони на сторону всмоктування.

Окремо потрібно розглядати методи регулювання холодопродуктивності гвинтових холодильних компресорів за допомогою спеціального золотникового пристрою вбудованого в компресор.

Схеми, які передбачають плавну зміну частоти електродвигуна наведені на рисунку 6.2.

Схема, що передбачає зміну опору в колі ротора наведена на рисунку 6.2, *а*. Компресор *КМ* має привід від асинхронного електродвигуна з фазним ротором *Д*. Пуск та зупинка електродвигуна здійснює пристрій управління *КМУ*. До ланцюга ротора включено опір-реостат *Рт*, опір якого змінюється виконавчим механізмом *ВМ*. Сигнал на виконавчий механізм надходить від регулюючого пристрою *РП*. Для зменшення частоти обертання опір реостату збільшують, для зростання - зменшують.

Цей метод регулювання характеризується значними енергетичними втратами, які збільшуються зі зниженням частоти обертання. В сучасних суднових холодильних установках він майже не застосовується.

Схема, в якій передбачена зміна частоти струму живлення наведена на рисунку 6.2, *б*. Функціонування схеми забезпечується перетворювачем частоти *ПЧ*, який одержує енергію від мережі зі стандартною частотою і під час дією керуючого сигналу змінює частоту на виході в необхідних межах. Струм від перетворювача частоти живить обмотку статора електродвигуна. Частота обертання пропорційна частоті живлючого струму f : $n_c = 60f/p$. Живлення від мережі здійснюється від

пристрою (пускача) Π . Сигнал, від регулюючого пристрою $РП$ перетворюється в управляючому пристрої $УП$.

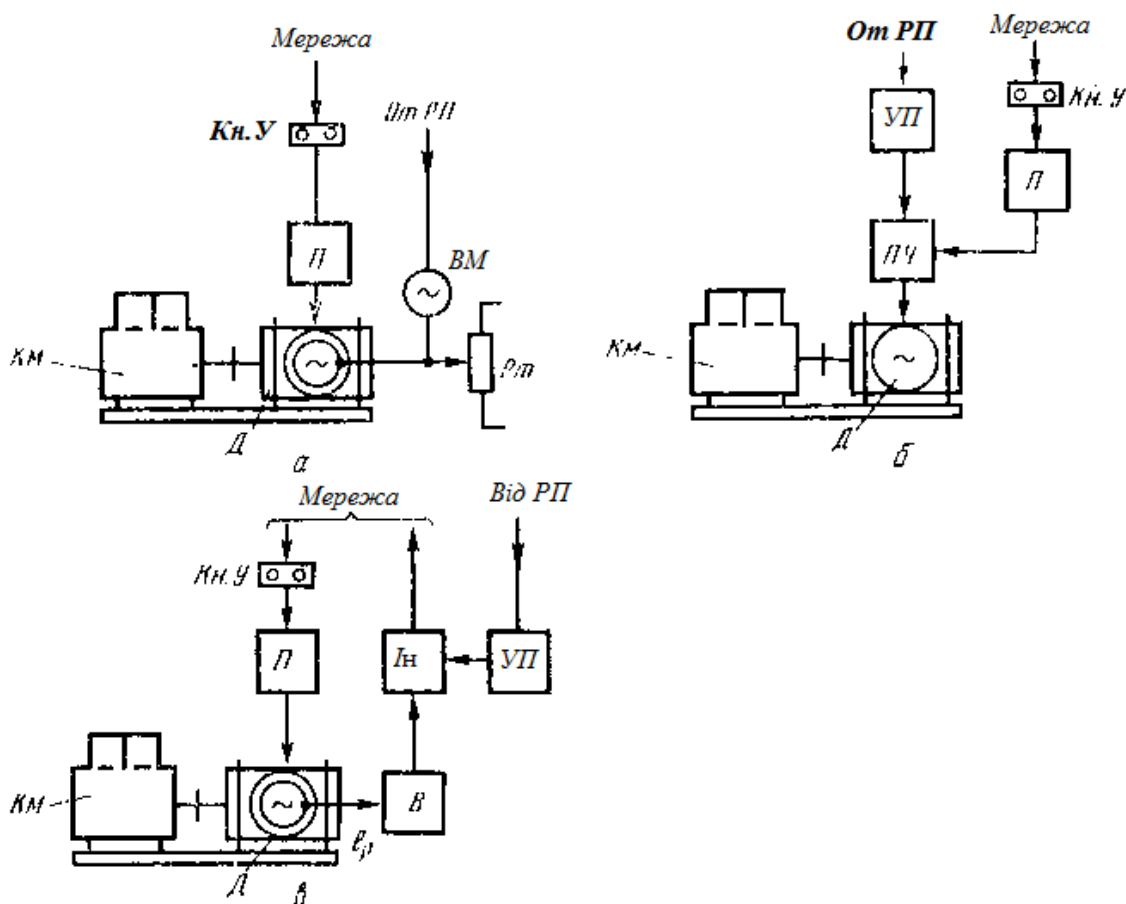


Рисунок 6.2 – Плавна зміна частоти обертання електродвигуна компресора:

- а) за допомогою включення додаткового опору;
- б) зміною частоти струму живлення; в) включенням керованої $ЕРС$

Сучасні технології дозволяють виготовити перетворювач частоти та управляючий пристрій достатньо компактними та малої маси. Не зважаючи на складність та значну ціну комплектуючого обладнання, метод може бути рекомендовано для широкого застосування в холодильному обладнанні.

На рисунку 6.2, введена схема, в якій $ЕРС$, наведена в роторі електродвигуна, протиставлена зустрічній (опірній) $ЕРС$, для якої аналогічна введено додаткового опору. Особливість такої схеми в тому, що відведена з ланцюга ротора енергія частково повертається до мережі живлення.

З цією метою струм ротора перетворюється у випрямлячі B на постійний та подається до інвертору I_n . Роботою інвертора управляє пристрій $УП$, який реагує на сигнали регулюючого пристрою $РП$.

Інвертор перетворює постійний струм в трьох фазний змінний заданої частоти, який повертається до мережі. Процес повернення енергії до мережі має назву рекуперації енергії. Чим більша частина енергії рекуперується, тим менша частота обертання електродвигуна.

Розглянутий метод дозволяє змінювати частоту обертання в широких межах, а рекуперація забезпечує достатньо високі енергетичні показники.

Як і схема з перетворювачем частоти, ця схема складна за устроєм, однак, у зв'язку зі стрімким поширенням компресорів з інверторними двигунами та чіткою тенденцією до енергозбереження, інверторні схеми регулювання холодопродуктивності можуть бути віднесені до найперспективніших.

6.3 Розробка схеми функціональної електричної керування компресором

Функціональна схема електропривода представлена на рисунку 6.3.

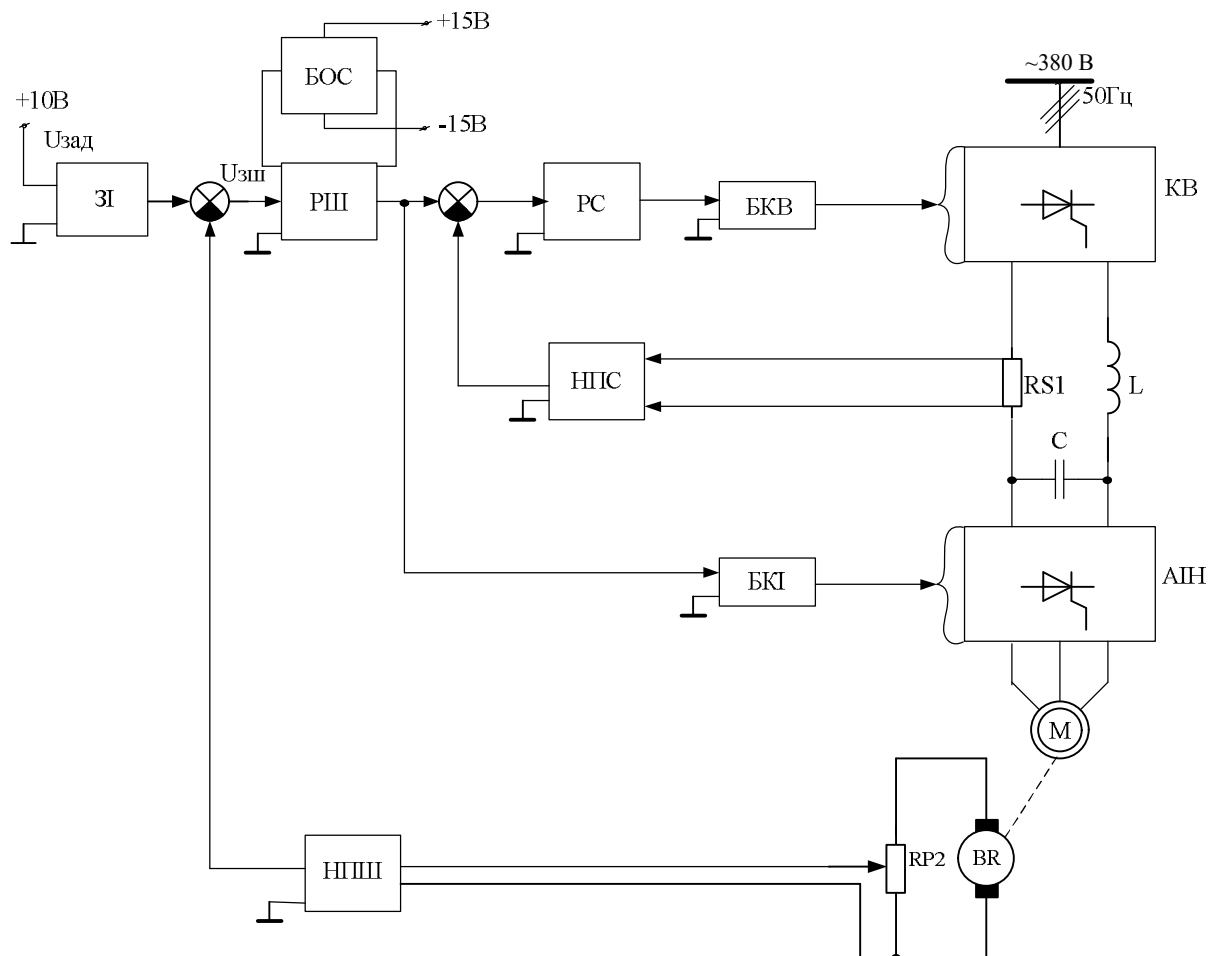


Рисунок 6.3 – Функціональна схема системи частотного керування з регулюванням струму та швидкості АД

На рисунку 6.3 приведені такі позначення: $U_{\text{зад}}$ – задаюча напруга; ЗІ – задавач імпульсів; РШ – регулятор швидкості; РС – регулятор струму; КВ – керований випрямляч; АІН – автономний інвертор напруги; BR – тахогенератор; НПС – нормований перетворювач струму, НПШ – нормований перетворювач швидкості, БОС – блок обмеження струму; БКВ(І) – блок керування випрямляча; БКІ – блок керування інвертора.

На рисунку 6.4 приведена схема електрична принципова силової частини схеми частотно-регульованого електроприводу.

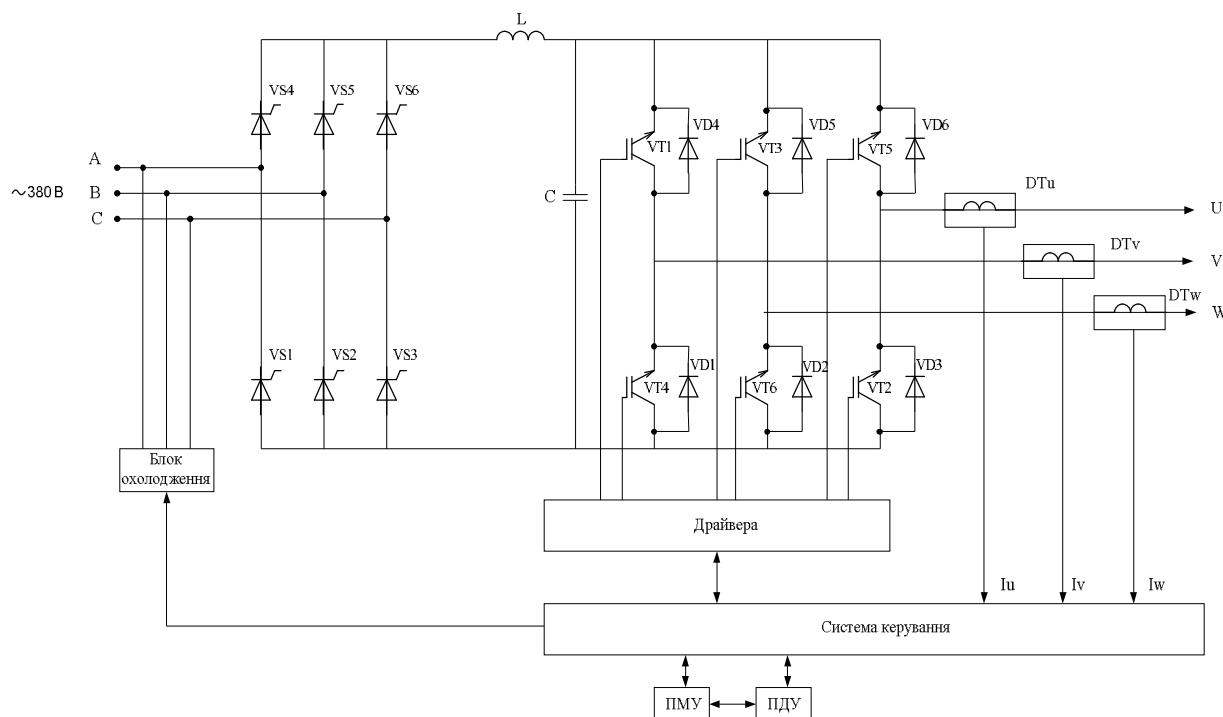


Рисунок 6.4 – Силова частина схеми частотно-регульованого ЕП

Функцію випрямляча виконує некерований випрямляч зібраний за трифазною мостовою схемою. Випрямлена напруга згладжується ємнісним фільтром. Ємність фільтра додатково виконує наступні функції: накопичувача енергії, який повертає електродвигуном в гальмівному режимі і реактивної провідності в колі зворотного кола.

6.4 Вибір перетворювача частоти

У відповідності з розрахунковими даними вибираємо стандартний, промисловий перетворювач частоти. Необхідна потужність перетворювача частоти вибирається відповідно номінальній потужності приводного двигуна:

$$P_{\text{пер}} \geq P_{\text{ном}}, \quad (6.2)$$

$$P_{\text{пер}} \geq 1,5 \text{ (кВт)}.$$

Максимальна потужність, яку повинен забезпечувати перетворювач частоти:

$$P_{\text{пер. max}} \geq M_{\text{max}} \cdot \omega_{\text{ном}}, \quad (6.3)$$

де $M_{\max}$ – максимальний момент, який розвиває приводний двигун за цикл роботи, Н·м;

$\omega_{\text{ном}}$ – номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с^{-1} ,

$$P_{\text{пер. max}} \geq 11,0572 \cdot 298,395 = 3299,4 \text{ (Вт)} \approx 3,3 \text{ (кВт)}.$$

Відповідно до розрахункових даних вибираємо з [18] частотний перетворювач Altivar ATV71HU15N4 фірми Schneider electric. Перетворювач частоти має вбудовані фільтри, що значно спрощує його установку. Технічні характеристики перетворювача частоти зведемо у таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики перетворювача частоти

Тип (Schneider Electric)	ATV71HU15N4
Номінальна потужність двигуна, кВт	1,5
Напруга, В	3×380-460
Частота, Гц	50-60
Лінійний струм, А при U1 при U2	6,5 5,7
Потужність розсіювання при номінальному навантаженні, кВт	61
Максимальний струм к.з., кА	5
Номінальний струм, А при 380 В при 500 В	4,1 3,8
Максимальний перехідний струм при 460 В, А	6,2
Маса, кг	2,5

6.5 Вибір засобів автоматизації системи керування компресором

Бакалаврська дипломна робота в цілому присвячена розгляду питання автоматизованої системи керування компресором холодильної установки. Зупиняючись на питанні автоматизації даного технологічного процесу, було прийнято рішення модернізувати електричну принципову схему процесу в цілому з використанням можливостей сучасного програмованого контролера.

З метою модернізації схеми електричної принципової було прийнято рішення обрати підхід, який передбачає використання сучасних мікропроцесорних засобів. Для поєднання всіх функціональних можливостей в двох засобах автоматизації вибираємо програмоване логічне реле LOGO! 12/24RC (рисунок 6.5) фірми Siemens.

LOGO! 12/24RC. LOGO! – це універсальний логічний модуль фірми Siemens.



Рисунок 6.5 – Програмоване логічне реле LOGO! 12/24RC

LOGO включає в себе:

- пристрій керування;
- панель керування та індикації з фоновною підсвіткою;
- блок живлення;
- інтерфейс для модулів розширення;
- інтерфейс для програмного модуля і кабелю PC;

- готові стандартні функції, часто використовуємі на практиці, наприклад, функції затримки ввімкнення та вимкнення, імпульсного реле і програмована клавіша;

- часовий вимикач;
- цифрові та аналогові флаги;
- входи та виходи в відповідності з типом приладу.

Кожний базовий пристрій LOGO Basic може бути розширений за допомогою модулів розширення: цифрових або аналогових.

Максимальна кількість підключених цифрових модулів розширення – 4.

Таблиця 6.2 – Характеристики базового пристрою та цифрового модуля розширення LOGO

Найменування характеристики	Базовий пристрій LOGO 12/24 RC	Цифровий модуль LOGO DM8 12/24 R
Блок живлення		
Вхідна напруга	12/24 В	12/24 В
Допустимий діапазон	10.8...28.8 В	10.8...28.8 В
Захист від зворотньої полярності	Так	Так
Споживання струму 24 В постійного струму	20...75 мА	20...75 мА
Буферизація при зникненні напруги 24 В постійного струму	2 мс	2 мс
Потужність втрат 24 В постійного струму	0.4...1.8 Вт	0.4...1.8 Вт
Цифрові входи		
Кількість	8	4
Гальванічна розв'язка	Ні	Ні

LOGO Basic незалежно від кількості підключених модулів розширення дозволяє використати такі входи і виходи :

- цифрові входи I1 – I5;
- цифрові виходи Q1 – Q9;
- 4 клавіші керування курсором.

Таблиця 6.3 – Характеристики базового пристрою та цифрового модуля розширення LOGO

Найменування характеристики	Базовий пристрій LOGO 12/24 RC	Цифровий модуль LOGO DM8 12/24 R
Вхідна напруга сигнал 0 сигнал 1	<5 В змінного струму >8 В змінного струму	<5 В змінного струму >8 В змінного струму
Вхідний струм при сигнал 0 сигнал 1	<1.0 мА (I1...I3) <0.05 мА (I4, I5) >1.5 мА (I1...I3) >0.1 мА (I4, I5)	<1.0 мА >1.5 мА
Давжина лінії	10 м	10 м
Цифрові виходи		
кількість	4	4
Типи виходів	Релейні виходи	Релейні виходи
Керування цифровим входом	Так	Так
Довготривалий струм	10 А на реле	10 А на реле
Паралельне підключення виходів для підвищення потужності	Не дозволяється	Не дозволяється

Робота схема автоматизації технологічного механізму базується на заміні аналогових елементів – часові реле, контакторів, елементів захисту, на яких базується логіка релейно-контакторної схеми одним мікроконтролером – SIEMENS LOGO.

LOGO керує котушками контакторів КМ в певній послідовності включення, так само як і часові реле.

Програмне забезпечення **LOGO Soft Comfort**.

Це програмне забезпечення включає наступні функції:

- графічний інтерфейс для створення комутаційної програмив режимі offline у вигляді логічної схеми (контактного плану / комутаційної схеми) або функціональної блок-схеми (функціонального плану);
 - імітація комутаційної програми на комп'ютері, генерування і роздрук блок-схеми для комутаційної програми;
 - збереження програми на жорсткому диску або іншому засобі користування;
 - порівняння комутаційних програм;
 - зручна параметризація блоків і передача комутаційної програми з LOGO в ПК і з ПК в LOGO;
 - зчитування лічильника робочого часу;
 - тестування в режимі online: відображення станів і поточних значень змінних в LOGO у режимі RUN: стани всіх цифрових входів і виходів, прапорів, бітів зсуву і клавіш управління курсором, значення всіх аналогових входів, виходів і прапорів, результати роботи всіх блоків, поточні значення вибраних блоків;
 - зупинка виконання комутаційної програми з ПК (STOP).
- Особливо зручними для користувача функціями є :
- імітація програми в режимі offline;
 - одночасне відображення стану декількох спеціальних функцій;
 - можливість розширеного документування програми;
 - відображення станів і фактичних знань змінних LOGO у режимі RUN.

6.6 Розробка схеми електричної принципової системи керування компресором

Принципова схема САЕП компресорної установки, у якій програмоване реле аналізує сукупність вхідних сигналів і формує на своєму аналоговому виході керуючий сигнал , який подається на аналоговий вхід перетворювача частоти. Тоді перетворювач частоти здійснює керування електроприводом компресорної установки. Принципова схема САЕП компресорної установки приведена на рисунку 6.6.

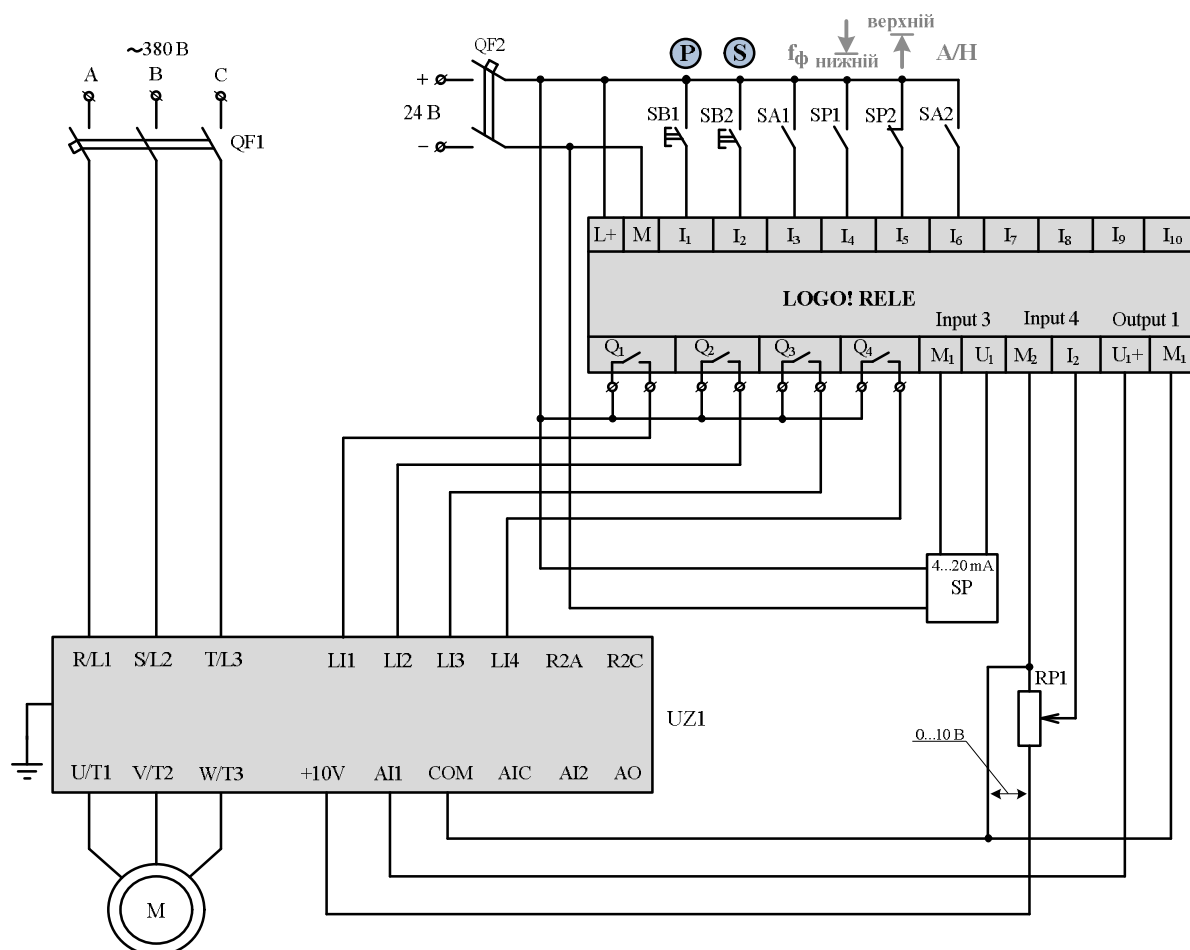


Рисунок 6.6 – Принципова схема САЕП компресорної установки

На рисунку 12.1: QF1, QF2 – автоматичні вимикачі; SB1 – кнопка «Пуск»; SB2 – кнопка «Стоп»; SP1 – контакт контактного манометра, який визначає нижній рівень тиску в ресивері; SP2 – контакт контактного манометра, який визначає верхній рівень тиску в ресивері; SA1 – тумблер, який визначає роботу приводного двигуна із фіксованою частотою f_{ϕ} ; SA2 – тумблер, який визначає режим роботи регулятора тиску (А – автоматичний «1», Н – ручний «0»); RP1 – задавач тиску (понеціометр); SP – сенсор надлишкового тиску; UZ1 – частотний перетворювач; М – приводний двигун.

Програмоване реле Logo програмується в середовищі Logo Comfort.

На основі принципової схеми САЕП компресорної установки, мовою функціональних блоків, була розроблена програма керування компресорною установкою, яка забезпечує підтримання тиску Р в заданому діапазоні значень від P_1 до P_2 . Структура програми представлена на рисунку 12.2. Також була розроблена

програма керування компресорною установкою, яка забезпечує підтримання сталого тиску P на виході ресивера. Структура програми представлена на рисунку 12.3.

Використані наступні операнди програмованого реле LOGO!:

High – високий рівень сигналу;

I_1 – «Пуск»;

I_2 – «Стоп»;

I_3 – робота приводного двигуна із фіксованою частотою f_ϕ ;

I_4 – нижній рівень тиску в ресивері;

I_5 – верхній рівень тиску в ресивері;

I_6 – режим роботи регулятора тиску (А – автоматичний «1», Н – ручний «0»);

AI3 – аналоговий сигнал від сенсора надлишкового тиску;

AI4 – аналоговий сигнал від задавача тиску;

Q_1 – дозвіл на пуск;

Q_2 – робота приводного двигуна із фіксованою частотою напруги живлення f_ϕ (10 Гц);

Q_3 – робота приводного двигуна із фіксованою частотою напруги живлення f_ϕ (45 Гц);

Q_3+Q_4 – робота приводного двигуна із фіксованою частотою напруги живлення f_ϕ (50 Гц);

M1 – «флаг»;

AM1, AM2 – аналоговий «флаг»;

B001 – B003 – логічне «І»;

B004, B005 – логічне «АБО»;

B006 – B009 – текстові повідомлення;

B010 – B012 – формувачі імпульсів;

B013 – затримка на виключення;

B014, B015 – RS-тригери;

B016 – регулятор;

B017 – B019 – аналогові підсилювачі.

Програма керування компресорною установкою для підтримання тиску P в діапазоні значень $P_1 - P_2$ приведена на рисунку 6.7.

Розглянемо роботу програми.

Надходження високого рівня сигналу high на вхід елемента B006 забезпечує безперервне виведення текстового повідомлення про рівень тиску в ресивері при переведенні контролера в режим RUN.

При натисненні кнопки «Пуск» SB1 на виході елемента I1 короткочасно формується одиничний рівень сигналу, який надходить на вхід формувача імпульсів B010. При цьому на виході останнього формується одиничний імпульс тривалістю 10 мс, який встановлює в одиничний стан тригер B014. Як наслідок, вихід Q1 встановлюється і частотний перетворювач отримує дозвіл на пуск.

При замиканні перемикача SA1 на виході елемента I3 формується одиничний рівень сигналу, який подається на вхід формувача імпульсів B011, що, як і в попередньому випадку, зумовлює формування на його виході одиничного імпульсу тривалістю 10 мс, який через елемент I B001 та елемент АБО B004 надходить на вхід формувача імпульсів B012, що призводить до встановлення в одиничний стан тригера B015. При цьому вихід Q3 встановлюється і частотний перетворювач забезпечує подачу на приводний двигун напруги живлення із фіксованою частотою f_{ϕ} , що відповідає 45 Гц.

Якщо значення тиску в ресивері досягнуло крайньої верхньої межі, яка визначається уставкою контактного манометра, то його контакт SP2 розімкнеться і на виході елемента I5 зникне високий рівень сигналу. При цьому високий рівень сигналу зникне також і на виході елемента B013, але не одразу, а через час 50 мс. Оскільки елемент B008 має інверсний вхід, то це зумовить його активацію та, відповідно, виведення текстового повідомлення з більш високим рівнем пріоритету (Prio=2).

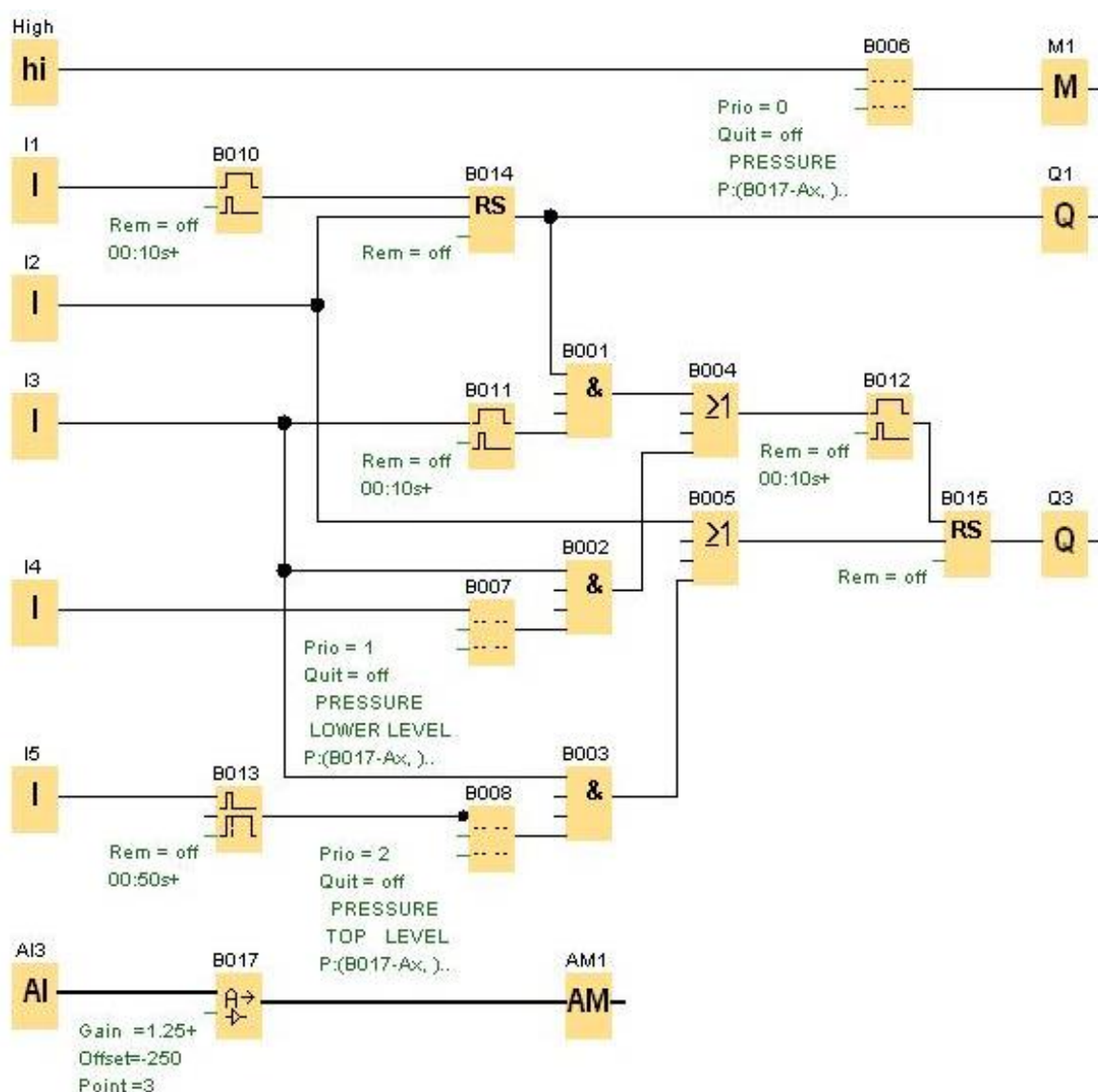


Рисунок 6.7 – Програма керування компресорною установкою
для підтримання тиску P в діапазоні значень $P_1 - P_2$

При цьому на виході елемента B008 встановиться високий рівень сигналу, який через елемент I B003 та елемент АБО B005 надходить на другий вхід тригера і обнулює його, що, в свою чергу, призводить до зупинку приводного двигуна.

При зниженні тиску в ресивері контакт SP2 контактного манометра знову замкнеться, що зумовить деактивацію елемента B008 та повторне виведення повідомлення, яке визначається блоком B006, оскільки на його вхід продовжує надходити списовий рівень сигналу.

Якщо значення тиску в ресивері досягнуло крайньої нижньої межі, яка визначається уставкою контактного манометра, то його контакт SP1 замкнеться і

на виході елемента I4 з'являється високий рівень сигналу, який активує елемент B007 та забезпечує виведення текстового повідомлення з більш високим рівнем пріоритету (Prio=1), а також через елемент I B002 та елемент АБО B004 надходить на вхід формувача імпульсів B012 і встановлює тригер B015. При цьому вихід Q3 встановлюється і приводний двигун знову запускається.

При підвищенні тиску в ресивері контакт SP1 контактного манометра розмикається, що зумовлює деактивацію елемента B007 та повторне виведення повідомлення, яке визначається блоком B006.

Такий цикл роботи буде повторюватись поки на надійде команда «Стоп» SB2. При цьому на виході елемента I2 короткочасно з'явиться сигналу високого рівня, який забезпечить обнулення тригерів B014 та B015 та, відповідно, деактивацію виходів Q1 та Q3.

Сигнал від сенсора надлишкового тиску SP надходить на третій аналоговий вхід AI3 та перетворюється у відповідний цифровий код, який подається на аналоговий підсилювач B017. Останній забезпечує підсилення та зміщення вхідного сигналу, що необхідно для візуального відображення тиску в ресивері в МПа.

Розглянемо роботу програми. Надходження високого рівня сигналу high на вхід елемента B009 забезпечує безперервне виведення текстового повідомлення про рівень тиску в ресивері, а також значення сигналу задавача тиску RP1 та сигналу керування, який подається на аналоговий вхід частотного перетворювача UZ1, при переведенні контролера в режим RUN.

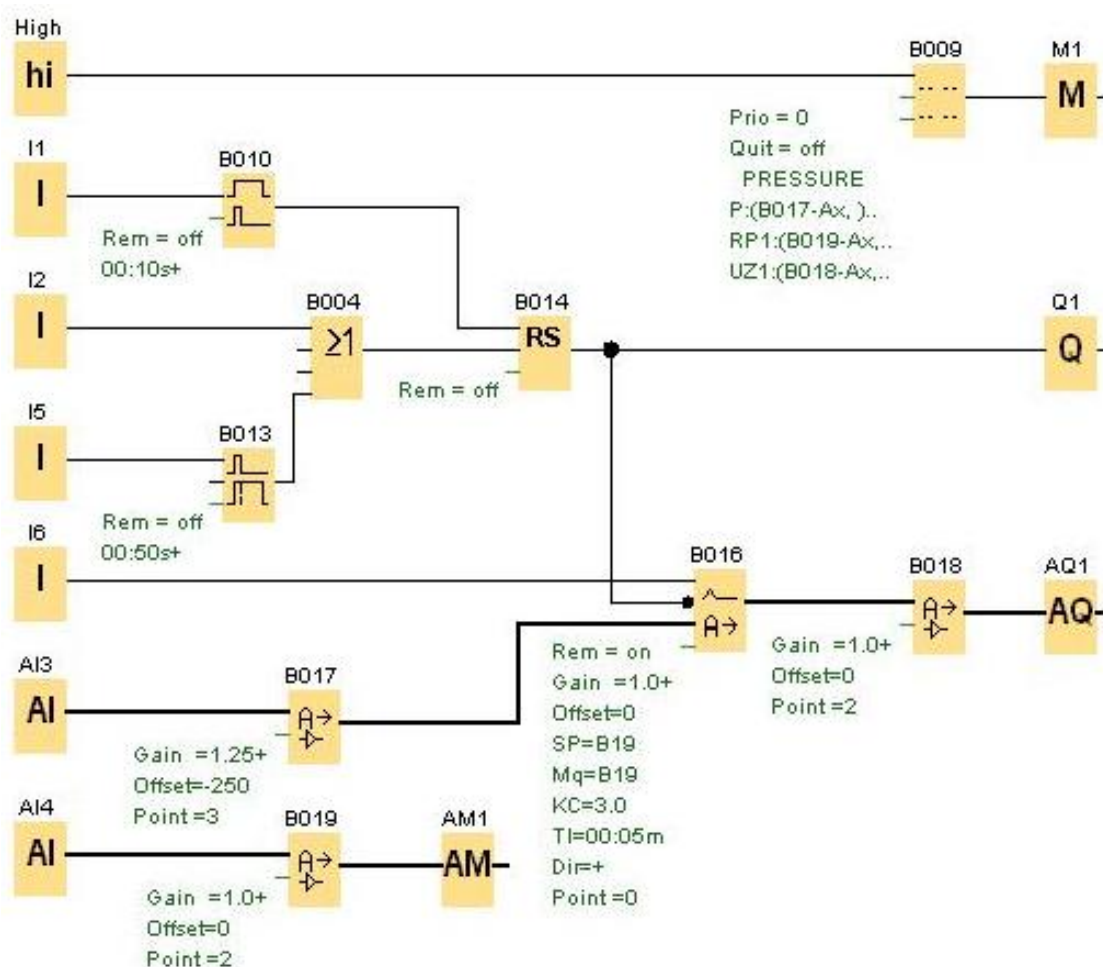


Рисунок 6.8 – Програма керування компресорною установкою для підтримання сталого тиску P на виході

При натисненні кнопки «Пуск» SB1 на виході елемента I1 короткочасно формується одиничний рівень сигналу, який надходить на вхід формувача імпульсів B010. При цьому на виході останнього формується одиничний імпульс тривалістю 10 мс, який встановлює в одиничний стан тригер B014. Як наслідок, вихід Q1 встановлюється і частотний перетворювач отримує дозвіл на пуск, а також розблоковується регулятор тиску B016.

Положення ключа SA2 визначає режим роботи регулятора тиску B016. Якщо ключ SA2 розімкнутий, то регулятор тиску B016 працюватиме в ручному режимі, тобто він буде передавати на свій вихід, а отже і на перший аналоговий вихід AQ1 (через аналоговий підсилювач B018), який з'єднаний з аналоговим входом частотного перетворювача, сигнал від задавача тиску RP1, який підключений до четвертого аналогового входу AI4.

Якщо ключ SA2 замкнутий, то регулятор тиску B016 працюватиме в автоматичному режимі, тобто реалізується замкнута система керування із зворотним зв'язком за тиском. На виході регулятора тиску B016 формуватиметься сигнал, рівень якого визначатиметься співвідношенням сигналів задавача тиску RP1 (AI4) та сенсора надлишкового тиску SP (AI3), а також закладеного закону керування. В такому режимі роботи регулятора тиску B016 забезпечуватиметься підтримання сталого тиску на виході ресивера незалежно від рівня витрати стислого повітря.

При натисненні кнопки «Стоп» на виході елемента I2 короткочасно з'явиться сигнал високого рівня, який забезпечить обнулення тригера B014 та, відповідно, деактивацію виходу Q1 та регулятора тиску B016. Аналогічно програма буде себе поводити і у випадку, коли рівень тиску в ресивері досягне крайньої верхньої межі, яка визначається уставкою контактного манометра.

Висновок: Розглянуто задачі управління компресорами холодильних установок та можливості плавного регулювання холодопродуктивності компресорів. Розроблено схему функціональну електричнукерування компресором та здійснено вибір перетворювача частоти типу Altivar ATV71HU15N4 фірми Schneider electric, засобів автоматизації системи керування компресором, а саме програмоване логічне реле LOGO! 12/24RC фірми Siemens; запропоновано схему електричнупринципову системи керування компресором із використанням вище згаданих засобів автоматизації та програми керування компресорною установкою для підтримання різних режимів тиску P з діапазонами значень $P_1 - P_2$

7 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ САЕП

7.1 Моделювання АД з КЗ ротором

Модель АД з КЗ ротором в ППП Matlab (Simulink) представлено на рисунку 10.1.

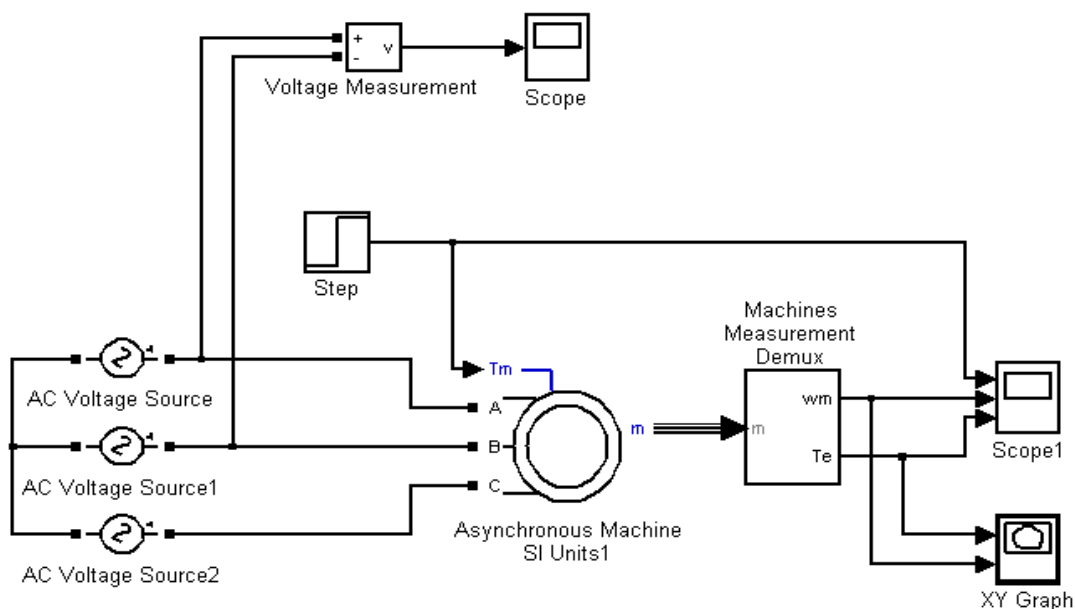


Рисунок 7.1 – Модель АД в Simulink

Для настройки моделі АД необхідні розрахувати такі параметри:

- приведена індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L'_c = L'_p = \frac{U_{\phi, \text{ном}}}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \lambda_{I_{\text{пуск}}} \cdot I_{\text{ном}}}, \quad (7.1)$$

де $U_{\phi, \text{ном}}$ – номінальна фазна напруга при з'єднанні обмоток статора в зірку, В;

$\lambda_{I_{\text{пуск}}}$ – кратність пускового струму.

$$L'_c = L'_p = \frac{219,393}{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 + 1,04^2) \cdot 6,5 \cdot 4,6} = 5,61 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Гн});$$

- індуктивність статора:

$$L_c = \frac{U_{\phi.\text{ном}}}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{\text{ном}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_{\text{max}}}{p \cdot U_{\phi.\text{ном}}} \cdot \frac{S_{\text{ном}}}{S_k}}, \quad (7.2)$$

$$L_c = \frac{219,393}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4,6^2 \cdot \sqrt{1 - 0,7225} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 11,0572}{1 \cdot 380} \cdot \frac{0,053}{0,22}} = 0,289 (\text{Гн})$$

- індуктивність кола намагнічування:

$$L_m = L_c - L'_c = 0,289 - 0,00561 = 0,284 (\text{Гн}). \quad (7.3)$$

Отримані дані внесемо в параметри настройки моделі.

В якості навантаження модельованого двигуна є розрахунковий момент статичного опору виробничого механізму.

Результати моделювання приведені на рисунках 7.1 та 7.2.

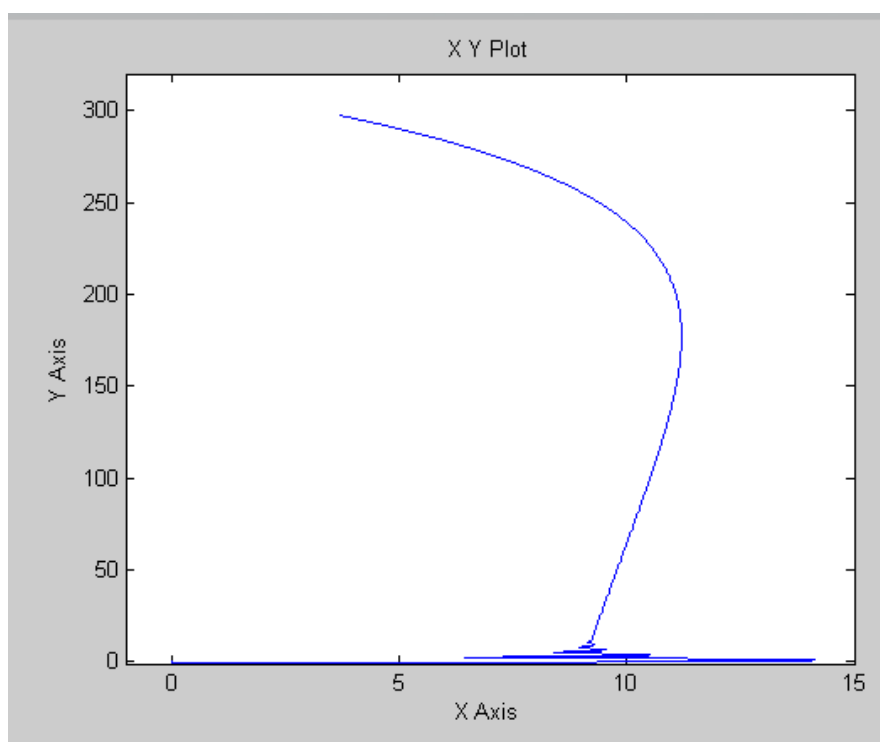


Рисунок 7.1 – Природна механічна характеристика електропривода

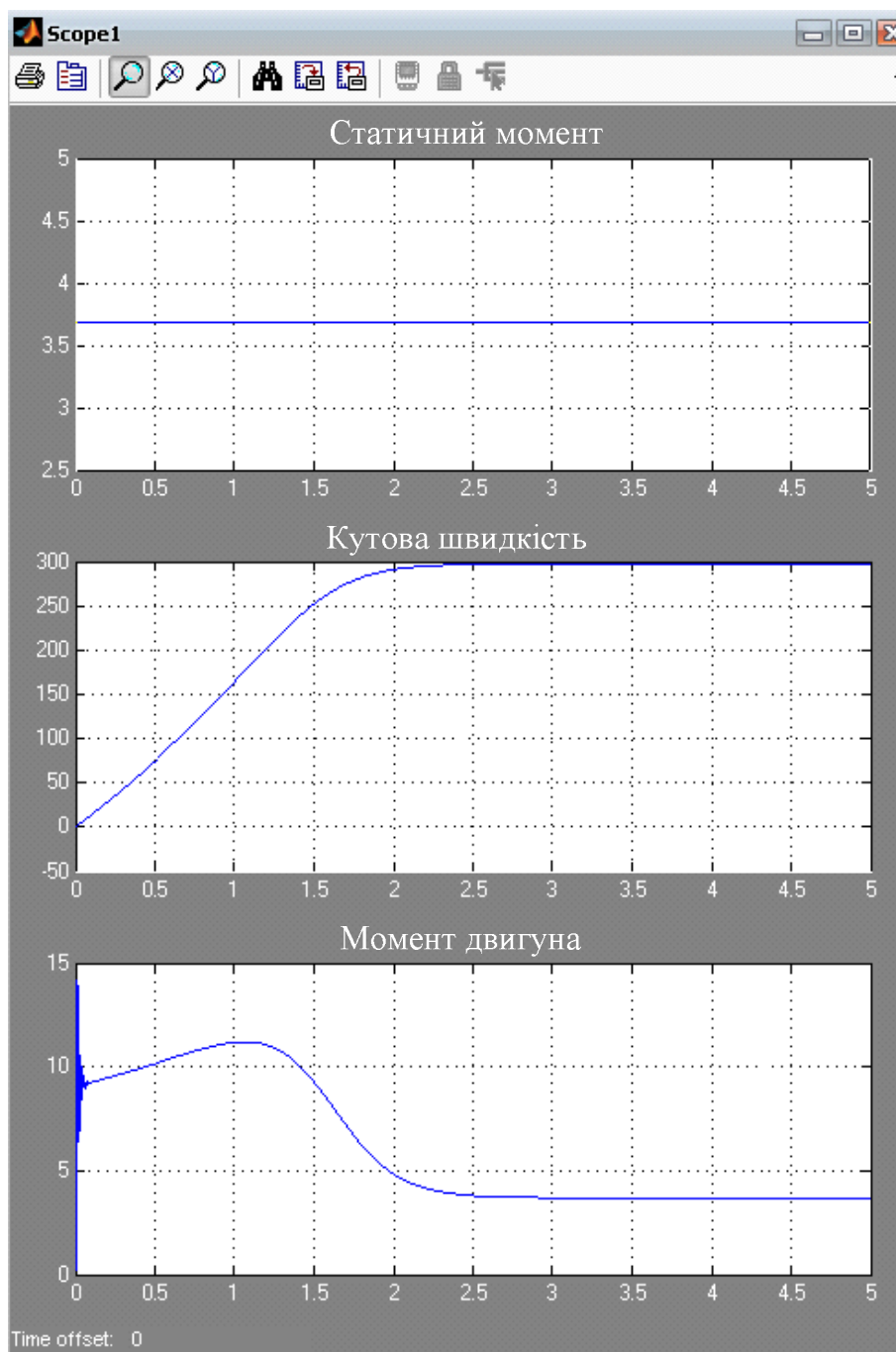


Рисунок 7.2 – Характеристики АД

7.2 Моделювання САЕП підпорядкованого керування типу ПЧ-АД

Модель триконтурної ПЧ-АД в Simulink відповідно до результатів розрахунків приведено на рисунку 7.4.

Результати моделювання три контурної системи ПЧ-АД представлено на рисунку 7.5.

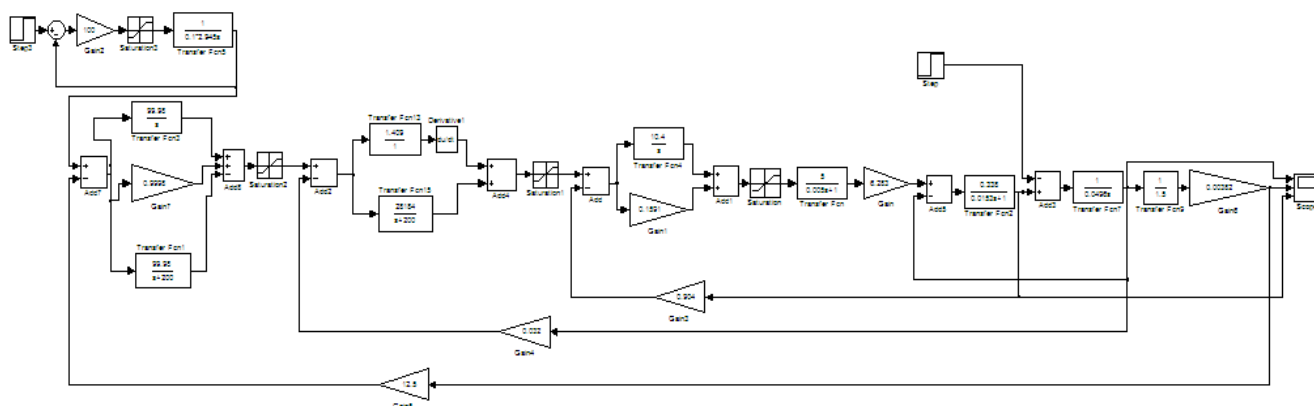


Рисунок 7.4 – Модель три контурної системи ПЧ-АД в Simulink

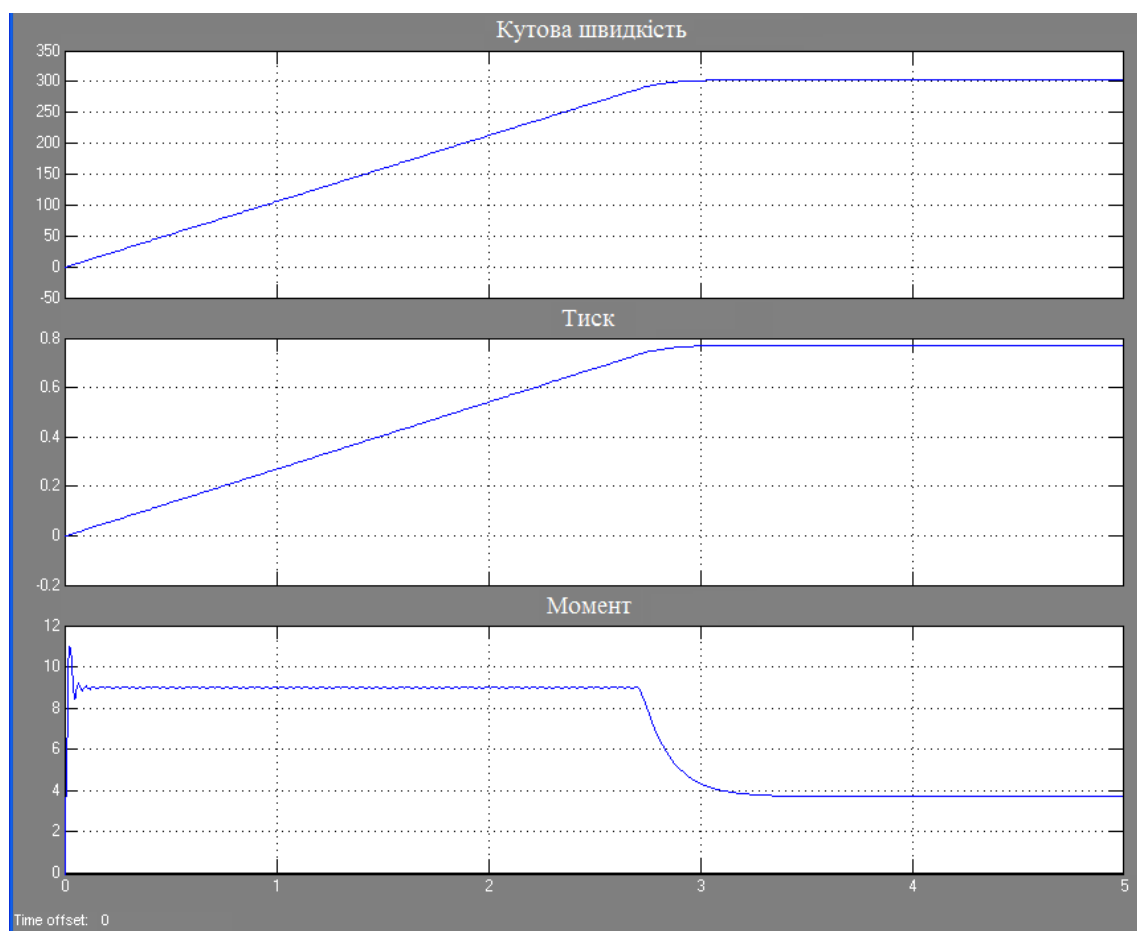


Рисунок 7.5 – Результати моделювання три контурної системи ПЧ-АД

Висновок: З представлених графіків видно, що двигун при пуску швидко досягає номінальної швидкості обертання і стабілізується. Таким чином, виконані розрахунки регуляторів системи керування вірні.

8 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

8.1 Розробка функціональної схеми автоматизації холодинної установки

Останнім часом велика увага в розробці та експлуатації холодинного обладнання приділяється різним видам її автоматизації. Системи автоматичного регулювання, контролю та захисту здатні скоротити при експлуатації до мінімуму кількість обслуговуючого персоналу і цим зменшити витрати на утримання холодинника в цілому.

Автоматизацію холодинної установки здійснюють з метою підвищення економічної ефективності та забезпечення безпеки робіт обслуговуючого персоналу. Підвищення економічної ефективності досягається внаслідок зменшення експлуатаційних витрат та витрат на ремонт обладнання, а безпека експлуатації – застосуванням автоматичних пристроїв, що захищають холодинну установку від роботи у небезпечних режимах.

Система автоматизації побудована за принципом: датчик – задатчик – регулюючий елемент – виконавчий механізм.

У загальному випадку система автоматизації виконує три основні функції:

- система автоматичного захисту;
- система дистанційного контролю параметрів роботи холодинної установки;
- система автоматичного регулювання.

Загальний вигляд трубопроводів та обладнання цеху автоматизації холодинної установки приведений на рисунку 8.1.

Функціональна схема автоматизації холодинної установки приведена на рисунку 8.2.

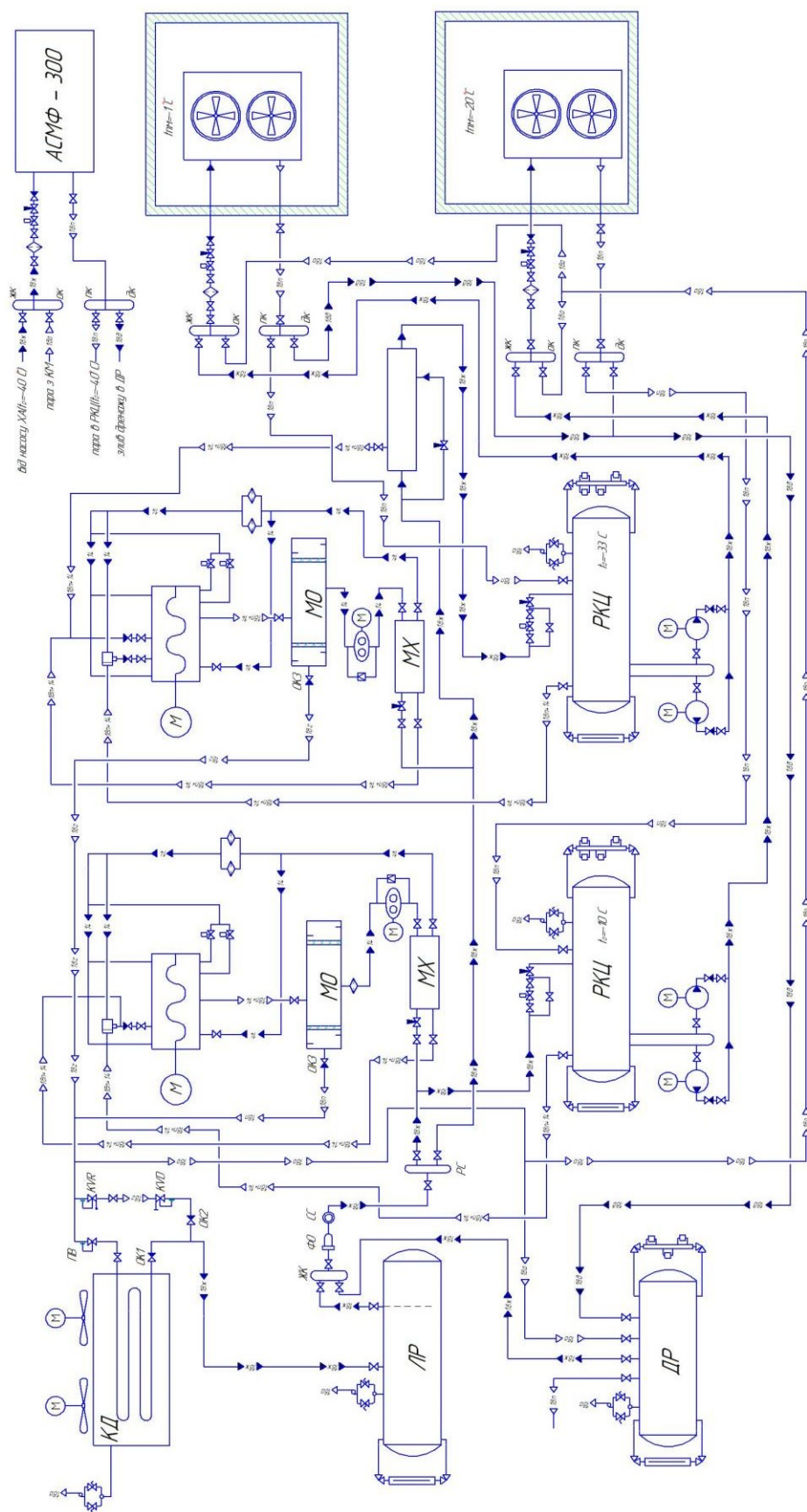


Рисунок 8.1 – Схема ruchu холодоагента цеху автоматизації

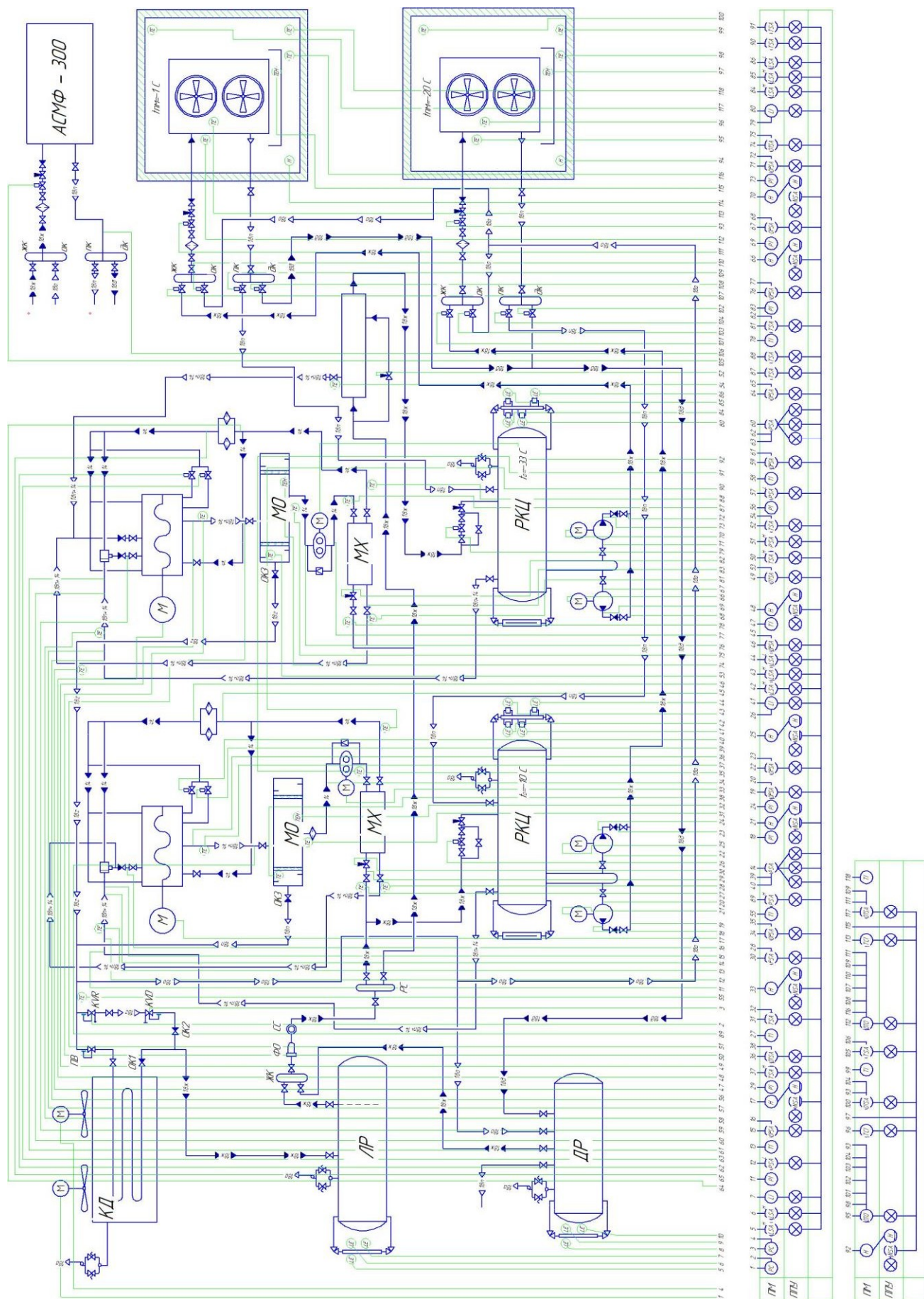


Рисунок 8.2 – Функціональна схема автоматизації холодильної установки

8.2 Опис систем автоматизації холодильної установки

8.2.1 Система автоматичного захисту

У процесі експлуатації холодильної установки можливі різні несправності в системах (відхилення від оптимального режиму роботи холодильної установки), що може призвести до небезпечних режимів роботи холодильної установки: підвищення тиску та температури нагнітання, зниження тиску всмоктування, підвищення температури олії після масляного холодильника, підвищення рівня рідини в апаратах, припинення змащування пар, що труться, падіння тиску в системі мастила компресорів, відсутність охолоджуючої води і т.д. Без вживання своєчасних заходів можливі пошкодження або руйнування компресорів, теплообмінних апаратів або інших елементів монтажу.

У холодильній установці, що проектується, передбачається такі види захисту:

1. Захист компресора від зниження тиску всмоктування. Забезпечується реле низького тиску RT1 (позиція 12 та 57). При досягненні тиску всмоктування посиляється сигнал на відключення електродвигуна компресора і включення сигнальної лампи на щиті управління, а також включення звукової сигналізації.

2. Захист компресора від зниження різниці тиску в системі мастила. Захист забезпечується реле контролю мастила MP55 (позиції 15, 16, 34, 35, 45, 46) та (59, 61, 64, 65, 77, 76). При спрацьовуванні захисту відбувається відключення електродвигуна компресора та включається світлова та звукова сигналізація. Під час запуску передбачається блокування цього захисту на 15 секунд.

3. Захист компресора від підвищення тиску нагнітання. Забезпечується реле тиску RT5 (позиції 89 та 51). При спрацьовуванні даного захисту відбувається відключення електродвигуна компресора та включення сигнальної лампи на щиті управління, а також увімкнення звукової сигналізації.

4. Захист компресора від підвищення температури нагнітання. Забезпечується температурним реле RT107 (позиція 37 та 50). При спрацьовуванні захисту відбувається відключення електродвигуна компресора та включення світлової та звукової сигналізації.

5. Захист компресора від підвищення температури масла. Забезпечується температурним реле Danfoss RT101 (позиція 87, 88 та 90, 91). При його спрацьовуванні відбувається відключення двигуна компресора та включення

світлової та звукової сигналізації.

6. Захист гвинтового компресора передбачає захист компресора від низької температури олії. Захист здійснюється за допомогою температурного реле RT101 (позиції 31 і 75), при спрацьовуванні якого не відбувається включення електродвигуна компресора, а включаються тели, розташовані в масловідділювачі (прогрів масла здійснюється до досягнення значення 15°C). Також включається світлова та звукова сигналізації.

7. Захист циркуляційного, лінійного та дренажного ресивера від перевищення значення максимального рівня фреону для запобігання попаданню рідкого холодильного агента у всмоктуючий трубопровід компресора. Здійснюється за допомогою реле рівня Danfoss AKS38 (позиції 5, 6, 8, 9 та 42, 43, 84, 85). При спрацьовуванні цих приладів вимикається електродвигун компресора та включається світлова та звукова сигналізація.

8. Захист насосів холодильного агента від втрати продуктивності. Здійснюється по різниці тиску нагнітання та всмоктування (позиції 19, 20 та 67, 68). Захист організується з допомогою диф. реле тиску насоса MP55. При досягненні неприпустимого перепаду тиску реле вимикає електродвигун компресора, одночасно включається світлова та звукова сигналізація.

9. На всіх електродвигунах, що входять до складу холодильної установки, передбачено вбудований електрозахист, в який входить теплове реле.

10. На всіх апаратах та судинах холодильної установки передбачені з'єднані запобіжні клапани, з'єднані до загальної аварійної лінії (18 а).

Система автоматичного захисту не допускає холодильної установки в аварійному режимі. Тим самим забезпечується безпека експлуатації та збереження обладнання. Автоматичний захист повинен мати високий ступінь надійності, це досягається включенням дублюючих приладів з однаковими уставками та додаткових приладів зі уставками нижче аварійних, а також застосуванням приладів автоматики, що мають більш високий ступінь надійності. Дія автоматичного захисту зводиться до виключення холодильної установки в цілому або окремих її складових при досягненні небезпечних значень будь-яких контрольованих параметрів, як вибирають ті параметри, які дають найбільш повну

інформацію про відхилення в роботі холодильної установки від оптимального режиму роботи.

Після повернення параметра в нормальне положення автоматичне включення холодильної установки в роботу заборонено до з'ясування причин спрацювання захисту та усунення причин її виклику.

Примітка. Захист компресорів та апаратів, що входять до складу холодильної установки, але не вказаних на схемі, аналогічна переліченим вище.

8.2.2 Система автоматичного регулювання та управління

Системи автоматичного регулювання передбачає пуск та зупинку холодильної машини для досягнення встановлених параметрів; зміна холодопродуктивності компресорів залежно від теплового навантаження; заповнення апаратів та судин холодильним агентом.

При запуску проводиться пуск масляного насоса компресора (позиція 33 і 92) (насос працює до досягнення тиску масляної системи порядку 11-13 кг/см²).

При подачі електричного живлення на контакти магнітного пускача електродвигуна компресорів (позиція 17 та 48) відкривається соленоїдний клапан EVR3 подачі холодильного агента до приладів охолодження (позиції 93 та 111).

Автоматизація процесу регулювання холодопродуктивності компресорів зводиться до зміни положення поршня золотникового пристрою за допомогою гідросистеми. Напрямок переміщення золотникового пристрою керують соленоїдні клапани EVR3 (позиції 39, 40 та 62, 63) залежно від тиску всмоктування.

Регулювання температури повітря в камері потрібне для збереження якості зберігання продуктів. Регулювання забезпечується за допомогою датчика температури Danfoss RT11 (позиції 100 та 117).

При досягненні необхідної температури в камері подається сигнал на закриття соленоїдних клапанів на вході та на виході з приладів охолодження, і вони вимкнуться з роботи. При підвищенні температури в камері на величину виставленого диференціала здійснюється включення охолоджуючих приладів в роботу шляхом відкриття соленоїдного клапана (позиція 93 і 111).

Заповнення циркуляційного ресиверів здійснюється за допомогою датчика рівня AKS41 (позиції 41 та 80) та соленоїда EVR3 (позиції 26 та 79).

Застосування цієї електронної системи регулювання рівня дає більш точне заповнення судини, і навіть практично виключає роботу компресора вологим ходом.

Відтавання повітроохолоджувачів проводиться за допомогою гарячої пари, що подаються з нагнітальної лінії компресора після масловідділювача. Вхід у відтавання проводиться за допомогою диференціального реле температури (позиція 95, 98 і 112, 116), яка сприймає температуру повітря на вході та виході в охолоджувач повітря, тобто. при зниженні налаштованої різниці температур здійснюється закриття соленоїдного вентиля (позиція 101 і 107) подачі рідкого фреону в повітроохолоджувач, після витримки часу проводиться закриття соленоїдного вентиля на лінії відсмоктування парів (позиція 104 і 109) і зупиняється вентилятори повітря позиція 103 та 110), відкривається соленоїдний вентиль зливу дренажу (позиція 102 та 108), одночасно включаються ТЕНи обігріву піддону (позиція 97 та 115). Злив дренажу холодильного агента йде до дренажного ресивера.

8.2.3 Система автоматичної сигналізації та дистанційного контролю параметрів

У проєктованій холодильній установці передбачаємо такі види сигналізації: аварійну (лампи загоряються червоним кольором) і робочу (лампи загоряються зеленим кольором) із зазначенням параметрів, що контролюються. Вся сигналізація зосереджена на моніторі персонального комп'ютера.

Аварійна сигналізація передбачає контроль наступних параметрів: низького тиску всмоктування компресора, високого тиску нагнітання компресора, перепаду тиску мастила в масляній системі, високої температури нагнітання, високої температури масла після масляного холодильника, аварійного рівня холодоагенту в циркуляційному та лінійному ресивері.

Робоча сигналізація забезпечує інформацію про роботу агрегатів, наявність напруги у ланцюгах схем автоматизації. Така сигналізація забезпечується магнітними пусками цих апаратів або відповідними термореле та реле рівня.

Робоча сигналізація інформує про наступні параметри роботи холодильної установки: режими роботи компресорів, робочі режими насосів холодильного агента, високого та низького рівня в лінійному та циркуляційному ресиверах.

Сигналізація здійснюється лампочками на щиті керування. Під час аварійної сигналізації передбачена світлова індикація на дисплеї комп'ютера, а також звуковий супровід, а при роботі лише світлова індикація.

У камері холодильника встановлюється кнопка "людина в камері", при натисканні якої загоряється лампочка на дисплеї комп'ютера та подається звуковий сигнал.

На дисплеї комп'ютера відображаються наступні індикації роботи холодильної установки:

- робота компресора
- Робочий рівень у циркуляційному ресивері;
- максимальний рівень у циркуляційному ресивері;
- максимальний рівень у лінійному ресивері;
- робота насосів холодильного агента;
- Втрата тиску в насосі холодильного агента;
- відтаювання по камерах;
- Чоловік у камері.

Перелік приладів автоматики та контрольно-вимірювальних приладів, що використовуються на холодильній установці, наведено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Опис засобів автоматизації

Позначення на кресленні	Найменування приладу	Марка приладу	Технічна характеристика	Місце встановлення на холодильній установці	Налаштування
12, 57	Реле тиску	RT1	-0.8...5 кг/см ²	Всмоктуючий трубопровід компресора	0,5 кг/см ²
37, 50	Реле тиску	RT5	4...17 кг/см ²	Нагнітальний трубопровід компресора	13,5 кг/см ²
36, 49	Реле температури	RT107	+70...+150°C	Нагнітальний трубопровід компресора	95 °C
15, 16, 59, 61	Диференціальне реле тиску	MP55	-1...12 кг/см ²	Всмоктуючий трубопровід компресора	1,5 кг/см ²
31, 75	Датчик температури	RT101	+25...+90°C	Масловідділювач	45 °C
41, 80	Датчик рівня	AKS41	0...50%	Циркуляційний ресивер	0,15V
7	Датчик рівня	AKS41	0...80%	Лінійний ресивер	0...0,5V
42, 43, 44, 84, 85, 86	Поплавкове реле рівня	AKS38		Циркуляційний ресивер	0,3V
5, 6	Поплавкове реле рівня	AKS38		Лінійний ресивер	0,5V
26, 79	Соленоїд	EVR3		Циркуляційний ресивер	
100, 117	Датчик температури	RT11	-20...0°C	Камера зберігання	В залежності від режиму
11, 18, 73, 56, 69, 73	Манометр	ABMY - 1	-0,1...25кг/см ²	Апарати та ємності холодильної установки	
17, 21, 25, 33, 48, 66, 70, 92	Магнітний пускач	ПМЕ-220		Електродвигуни компресорів, насосів	

Висновок: розроблено функціональну схему автоматизації холодильної установки, виконано опис систем автоматизації холодильної установки, зокрема систем автоматичного захисту, автоматичного регулювання та управління, автоматичної сигналізації та дистанційного контролю параметрів.

9 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час монтажу та обслуговування автоматизованої системи керування компресором холодильної установки. Згідно ГОСТ 12.0.003-74, на оперативно-ремонтний персонал, який здійснює технічне обслуговування та експлуатацію виробничої лінії по виготовленню руберойду, впливають наступні шкідливі та небезпечні фактори:

а) фізичні:

- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- підвищений рівень вібрації,

б) хімічні:

- загальнотоксичні (озон);
- через органи дихання;

в) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні)
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапрута аналізаторів) [19-20].

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

Незалежно від рівня автоматизації людина залишається головною ланкою в системі людина - машина (СЛМ). Саме вона ставить мету перед системою, планує, направляє і контролює увесь процес. Тому діяльність оператора є вихідним пунктом інженерно-психологічного аналізу і вивчення СЛМ. Діяльність оператора

має ряд особливостей, які визначаються різноманітними тенденціями розвитку сучасного виробництва.

З розвитком техніки збільшується число об'єктів, якими необхідно керувати. Це ускладнює і підвищує роль операцій планування і організації праці, контролю та управління виробничими процесами.

9.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

9.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьох провідної трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю 380 х 220В (фазна напруга фаза (фаза – «0») – 220В, а між фазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

У приміщенні де здійснюється виробничий процес використовується трифазна чотирипровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочих приміщеннях є струмопровідною.

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення [19-20].

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому

що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробоя і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут " [19-20].

9.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1. Для запобігання електротравм від контакту зі струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні: написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснюється у закритих конструкціях підлоги.

2. При живленні однофазних споживачів струму від три провідної мережі при напрузі до 1000В використовується нульовий захисний провідник. За умови його використання, пробій на корпус призводить до короткого замикання. В свою чергу спрацьовує захист і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3. Електрозахисні засоби захисту.

Оператор силової підйомної установки повинен дотримуватись наступних основних правил техніки безпеки:

1. Необхідно візуально обстежити установку у відповідності з інструкцією по експлуатації і переконатися в її повній справності;

2. Забороняється експлуатація установок з несправним керуванням, гальмами і звуко/світловими сигналами. Якщо немає можливості

усунення пошкодження на місці своїми силами, необхідно залучити до робіт фахівців спеціалізованої організації.

3. Забороняється керування установкою вологими або замасленими руками;
4. Забороняється збільшувати вантажопідйомність установки;
5. Рух установки повинен здійснюватися на безпечній швидкості;
6. Роботи по монтажу і модернізації системи керування проводяться за допомогою справного інструменту.

Для забезпечення безпечного ведення робіт обслуговуючий персонал зобов'язаний суворо дотримуватись правил техніки безпеки при експлуатації, технічному обслуговуванні установок. Недотримання правил техніки безпеки може призвести до отримання травм та втрати працездатності.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмопровідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух, необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди» [19-20].

9.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

9.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення - це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників

мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності [19-20].

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оперативно-ремонтної групи відноситься до середньої фізичної роботи категорія Па, бо діяльність оперативно-ремонтної групи пов'язані із ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів чи предметів в положенні стоячи чи сидячи, й потребують певного фізичного напруження. . Параметри мікроклімату в приміщенні виробництва в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Па	21-28	55 при 27°C	0,1-0,3
Холодний	Па	20-24	75	Не більше 0,2

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року - використання калорифера;
- в літню пору - застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву.

9.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 10.2 [19-20].

Таблиця 9.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

Провітрювання кабіни оператора;

Цілісність конструкції кабіни та вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення кабіни під час роботи установки;

Встановлення пиловловлюючих засобів.

9.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає в приміщення через світлові пройми в зовнішніх огорожуючих конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне та суміщене освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_n). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

Штучне освітлення.

Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосовуються до розташування обладнання. Комбіноване освітлення – це додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення – освітлення, яке створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018, роботи з влаштування звукоізоляції внутрішніх стін, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в».

Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 9.3.

Таблиця 9.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменш ий або еквівален т- ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розр яд зоро вої робо ти	Під- розряд зорово ї роботи	Контрас т об'єкта з фоном	Характе - ристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природ не Ен пр	Суміс не Е сум
						всьо го	у т. ч. від загальног о		
Середньої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп

E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості [19-20].

9.2.4. Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень (таблиця 10.5), є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 9.5 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

9.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної

нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У приміщенні, де розташований шахтний підйомник, присутня вібрація типу – загальна. Тобто технологічна вібрація діюча на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації приведені у таблиці 9.6.

Таблиця 9.6 – Середньоквадратичні значення параметрів вібрації

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	дБ	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 10^{-2}$	дБ
Загальна	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

9.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. За стан пожежної безпеки на підприємстві відповідають її керівники, начальники цехів, майстри та інші керівники.

Приміщення, де встановлено обладнання, привод якої розробляється, відноситься до категорії Д – негорючі речовини і матеріали в холодному стані і розташоване у будівлі II ступеня вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відносяться будівлі з штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття не допускається застосування дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також нитковими матеріалами. До елементів покриття висуваються вимога по межах огнестійкості та межах розповсюдження полум'я.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 9.7.

Таблиця 9.7 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підвалами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 9.7.

Таблиця 9.7 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадк и, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекрыття між поверхами (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-не сучі	зовнішні не-не сучі	внутрішні не-не сучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 9.8.

Таблиця 9.8 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Висновки: У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасником; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки вуглекислотним вогнегасником або піском; зупинити обладнання.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи на тему “Автоматизована система керування компресором холодильної установки ” були розроблені та впроваджені заходи щодо модернізації системи електропривода компресора та системи автоматизації вцілому. Після виконання роботи отримані такі результати:

1. Проведено аналіз основних принципів побудови холодильного обладнання, приведена класифікація холодильних установок, проаналізовано їх переваги та недоліки, розглянуто роль та застосування компресорів в холодильній техніці та їх класифікацію

Виконано попередній розрахунок величин для подальших розрахунків, а також розрахунки статичного моменту на валу двигуна, час роботи та побудували тахограми механізму компресора. Розраховано потужність за якою в подальшому будемо вибирати електродвигун компресора. Найближча в ряді до розрахованої потужність 1,5 кВт. На неї і будемо орієнтуватися в подальшому при виборі двигун.

3. В результаті техніко-економічного обґрунтування найбільш доцільним вибором з точки зору економічних показників та режимів роботи є система електроприводу ПЧ–АД. Виконано вибір приводного двигуна компресора типу АИР 80 А2 потужністю 1,5 кВт та розраховано динамічний момент двигуна, приведений момент інерції всього механізму та побудовано навантажувальну діаграму електропривода. Проведені розрахунки показують, що даний двигун має достатній запас за нагрівом і перевантажувальною здатністю

4. Розроблено схему функціональну електричнукерування компресором та здійснено вибір перетворювача частоти типу Altivar ATV71HU15N4 фірми Schneider electric, засобів автоматизації системи керування компресором, а саме програмоване логічне реле LOGO! 12/24RC фірми Siemens; запропоновано схему електричнупринципову системи керування компресором із використанням вище згаданих засобів автоматизації та програми керування компресорною установкою для підтримання різних режимів тиску P з діапазонами значень $P_1 - P_2$

5. Розроблено функціональну схему автоматизації холодильної установки, виконано опис систем автоматизації холодильної установки, зокрема систем автоматичного захисту, автоматичного регулювання та управління, автоматичної сигналізації та дистанційного контролю параметрів

6. Проведено моделювання поведінки системи електропривода, а також досліджено систему на стійкість. Результати дослідження свідчать про те, що система має гарні запаси стійкості та досить гарні показники якості функціонування системи.

7. Сформовано основні заходи щодо безпечної експлуатації електропривода компресора холодильної установки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бєлов М. П. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / М.П. Бєлов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2.
2. Холодильні установки: Підручник / 6-е вид., перероблене і доповнене / І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін.; За ред. І.Г. Чумака. – Одеса: Рефпринтінфо, 2006. – 550 с.
3. Danfoss Ukraine. [Electronic source]. Available at: <http://www.danfoss.ua> (Accessed : 05.01.2019).
4. Розподілені мікропроцесорні системи: конспект лекцій [Електронний ресурс]: для підготовки докторів філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікація за спеціальністю 171 Електроніка за спеціалізацією «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. О. Терещенко – Електронні текстові данні (1 файл:5544 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 192 с.
5. Грабко В. В., Розводюк М. П., Левицький С. М. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2008. - 219 с.
5. Фролов, Ю.М. Регулируемый асинхронный электропривод: Учебное пособие / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - СПб.: Лань, 2018. - 464 с.
6. Довгань С.М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. - Дніпропетровськ: НГА України, 2001. -137с.
7. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992. – 352 с.
8. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. П.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.

9. Печеник М.В. Особливості підвищення енергетичної ефективності електромеханічної систем конвеєра / М. В.Печеник, С. О. Бур'ян, А. О. Горбатовський // Вісник НТУУ“ХПІ”, Серія : Проблеми автоматизованого електропривода теорія і практика. – Харків : – 2013. – № 36. – с. 65-72

10. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом стрічкового конвеєру. Курсове та дипломне проектування, навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабко В. В. – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 89 с.

11. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.

12. Розподілені мікропроцесорні системи: конспект лекцій [Електронний ресурс]: для підготовки докторів філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікація за спеціальністю 171 Електроніка за спеціалізацією «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. О. Терещенко – Електронні текстові данні (1 файл:5544 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 192 с.

13. Воронов Р.В – Дисертація: «Тягові електромеханічні системи з живленням двох двигунів від одного інвертора», Харків 2020 1-97с.

14. Електропривод подачі двохвалкової багатодискової пилки типу PWR 422/ О.А. Паянок, Р.С. Димидюк – Матеріали конференції «ЛП Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022/paper/view/15932/13365>– Вінниця : ВНТУ, 2023. – 3 с.

15. Зеленов А.Б., Шевченко І.С., Андреева Н.І. Синтез та цифрове моделювання систем управління електроприводів постійного струму з

вентильними перетворювачами. Навч. посіб. для студ. вузів. - Алчевськ: ДГМІ, 2002. - 400 с.

16. Казачковський М. М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. - Дніпропетровськ :Національний гірничий університет,2003.-226 с.

17. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. - 404 с.

18. Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.

Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.

Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.управления моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

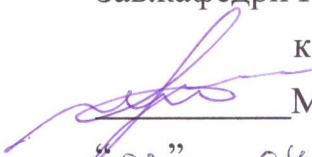
Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц.

 Микола МОШНОРІЗ

«02» 04 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

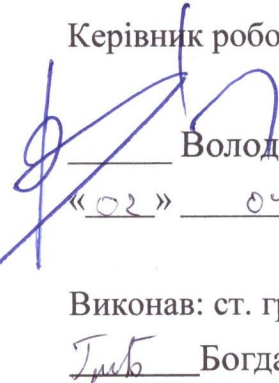
на бакалаврську дипломну роботу

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРОМ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

БДР.021.00.000 ТЗ

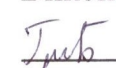
Керівник роботи

К.Т.Н., доц.

 Володимир БОГАЧУК

«02» 04 2024 р.

Виконав: ст. гр. ЕМ-22мс

 Богдан ГРИНЯК

«02» 04 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Автоматизована система керування компресором холодильної установки».

Скорочене найменування розробки – «Автоматизована система керування компресором холодильної установки».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Підвищення надійності та ефективності функціонування компресора холодильної установки за рахунок вдосконалення електричної схеми шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації. Пропонована автоматизація забезпечує мінімальне втручання людини в процес виробництва, що призводить до зниження собівартості виробленої продукції за рахунок підвищення ефективності виробництва.

4 Вимоги до розробки

До компресорів висуваються, в основному, такі ж вимоги, як і до всіх інших виробів машинобудування. Компресор має бути надійним і економічним в експлуатації, простий в монтажі і обслуговуванні, технологічний у виготовленні. Показники, що характеризують його металоємність і енергоспоживання, мають бути мінімально можливими. Очевидно, що забезпечити в рівній мірі виконання всіх цих вимог в одній конструкції практично неможливо. Тому кожен тип компресора має свої достоїнства і недоліки в порівнянні з іншими і вибір типу і конструкції залежить від конкретних умов.

5 Комплектація розробки

Схема функціональна електрична керування компресором містить перетворювач частоти типу Altivar ATV71HU15N4 фірми Schneider electric, засоби автоматизації системи керування компресором, а саме програмоване логічне реле LOGO! 12/24RC фірми Siemens.

Джерела розробки

1. Бєлов М. П. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / М.П. Бєлов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2.

2. Холодильні установки: Підручник / 6-е вид., перероблене і доповнене / І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін.; За ред. І.Г. Чумака. – Одеса: Рефпринтінфо, 2006. – 550 с.

3. Danfoss Ukraine. [Electronic source]. Available at: <http://www.danfoss.ua> (Accessed : 05.01.2019).

4. Розподілені мікропроцесорні системи: конспект лекцій [Електронний ресурс]: для підготовки докторів філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікація за спеціальністю 171 Електроніка за спеціалізацією «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. О. Терещенко – Електронні текстові данні (1 файл:5544 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 192 с.

7.Умови експлуатації

Електропривод компресора повинен забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі роботи двигуна типу S1, тобто в режимі при заданій зміні частоти обертання і навантаження в залежності від режиму та сезону роботи холодильної установки.

8. Технічні характеристики

Таблиця 4.1 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	АИР 80 А2
Номінальна потужність P_n , кВт	1,5
Номінальна частота обертання n_n , об/хв	3000 (2850)
Номінальний струм статора I_n , А	3,46
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі $\cos\varphi$	0,84
ККД η , %	78,5
Частота мережі f , Гц	50
Кратність пускового струму $\lambda_{I. \text{пуск}}$	7,0
Момент інерції двигуна $J_{\text{дв}}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$11 \cdot 10^{-4}$
Кратність пускового моменту $m_{\text{п}}$	2,2
Кратність максимального моменту m_{max}	2,3
Номінальна напруга (Δ/Y) $U_{\text{ном}}$, В	220/380
Маса, кг	18

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики перетворювача частоти

Тип (Schneider Electric)	ATV71HU15N4
Номінальна потужність двигуна, кВт	1,5
Напруга, В	3×380-460
Частота, Гц	50-60
Лінійний струм, А при U_1 при U_2	6,5 5,7
Потужність розсіювання при номінальному навантаженні, кВт	61
Максимальний струм к.з., кА	5
Номінальний струм, А при 380 В при 500 В	4,1 3,8
Максимальний перехідний струм при 460 В, А	6,2
Маса, кг	2,5

9 Елементна база

ЗІ – задавач імпульсів; РШ – регулятор швидкості; РС – регулятор струму; КВ – керований випрямляч; АІН – автономний інвертор напруги; ВР – тахогенератор; НПС – нормований перетворювач струму, НПШ – нормований перетворювач швидкості, БОС – блок обмеження струму; БКВ(І) – блок керування випрямляча; БКІ – блок керування інвертора.

10 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

Показники технологічності

Електропривод компресора холодильної установки – двигун, апаратура керування, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам влаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтаж-никами та слюсарями КВП і А відповідної кваліфікації. Технічний огляд механізму здійснюється мінімум один раз на 3 місяці. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками та техніками-електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконано напругою 380 В від силової мережі підприємства.

14 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРОМ
ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Мета, задачі та об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження в роботі є процеси перетворення енергії, які протікають в електротехнічній системі електропривода компресора холодильної установки.

Предметом дослідження є структури та математичні моделі, які дозволяють підвищити експлуатаційну функціональну ефективність електропривода компресора холодильної установки.

Метою бакалаврської дипломної роботи є підвищення надійності та ефективності функціонування компресора холодильної установки за рахунок вдосконалення електричної схеми шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації. Пропонована автоматизація забезпечує мінімальне втручання людини в процес виробництва, що призводить до зниження собівартості виробленої продукції за рахунок підвищення ефективності виробництва.

В процесі виконання поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- привести коротку характеристику та режими роботи виробничого механізму та процесу автоматизації холодильної установки в цілому;
- виконати розрахунок та вибір потужності електродвигуна компресора холодильної установки;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода компресора холодильної установки;
- здійснити розрахунок, вибір та побудову електричної принципової та функціональної схем системи електропривода із застосуванням сучасних засобів автоматизації технологічного процесу;
- розробити додаткові заходи щодо автоматизації технологічного процесу холодильної установки;
- для вибраної системи електроприводу та процесу автоматизації в цілому виконати математичне моделювання та оцінювання динамічних характеристик.

Загальна характеристика та особливості технологічного процесу

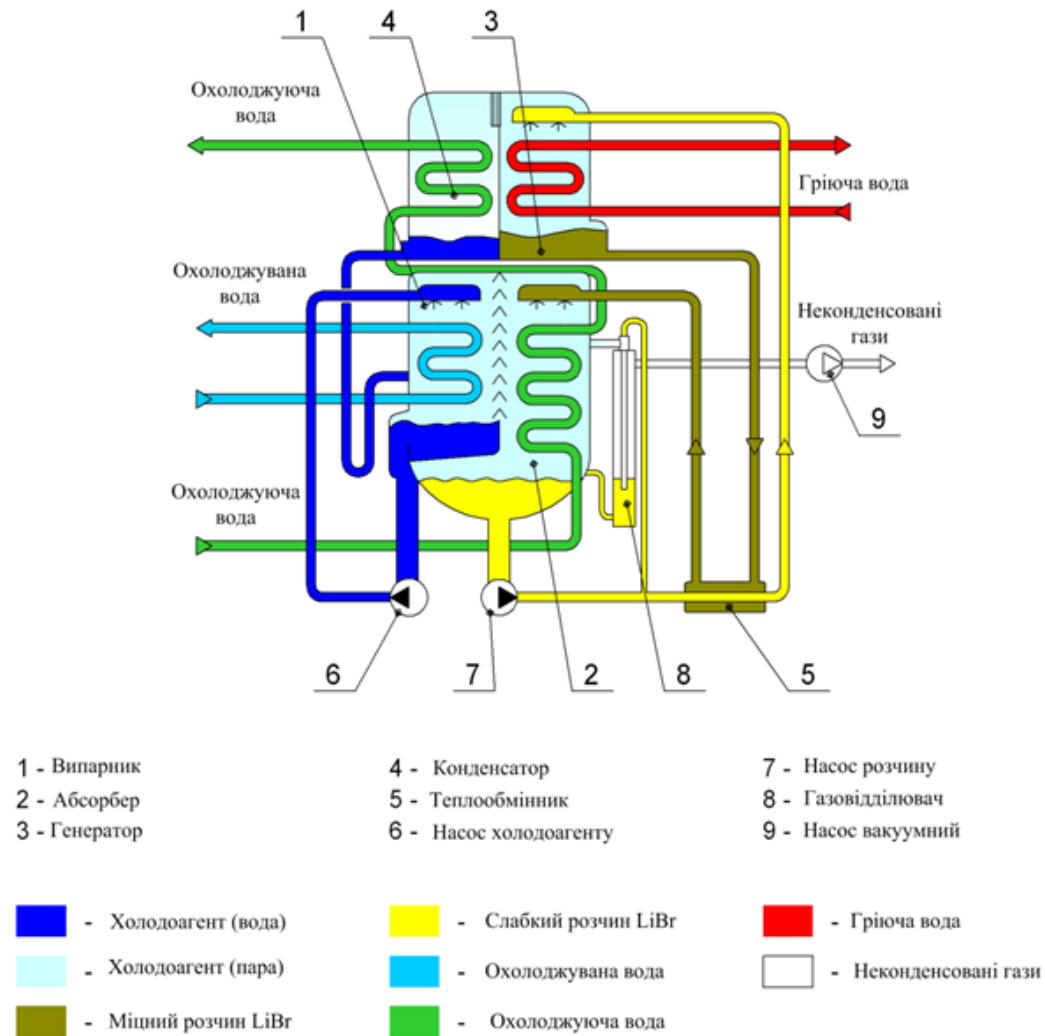


Рисунок 1.1 – Принцип роботи холодильної машини

КЛАСИФІКАЦІЯ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК



Рисунок 1.2 – Класифікація холодильних установок

Аналіз підходів до побудови холодильних установок

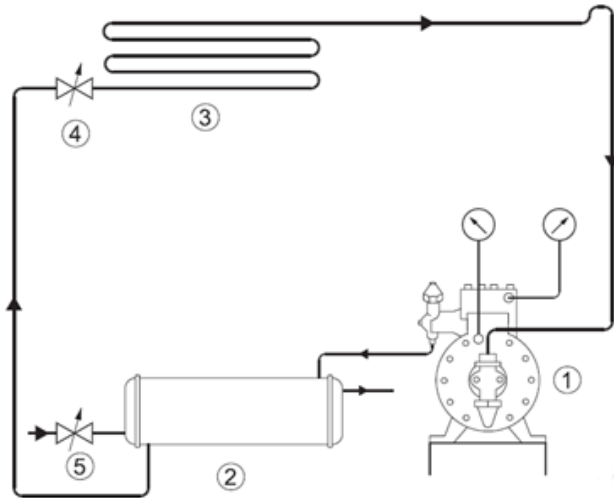


Рисунок 1.3 – Найпростіша схема ХУ

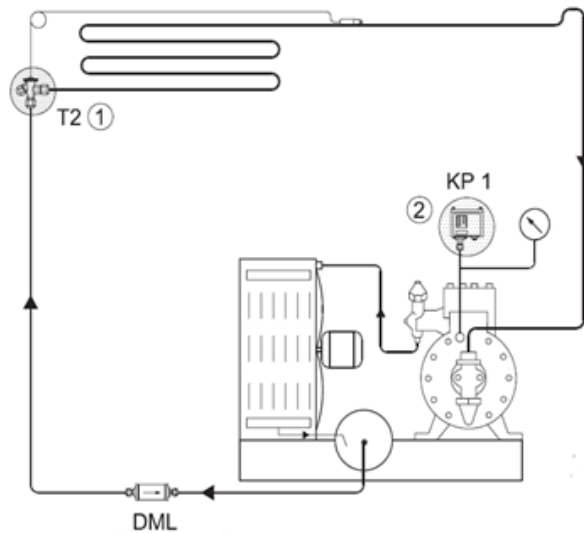


Рисунок 1.5 – ХУ з теплорегулюючим вентилем і конденсатором з повітряним охолодженням

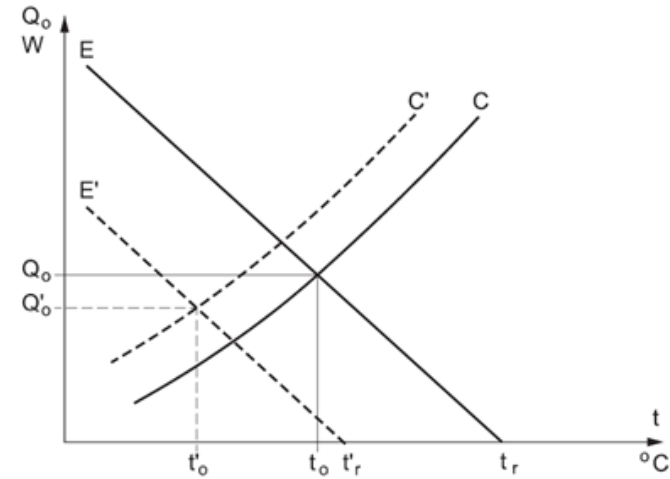


Рисунок 1.4 – Графік продуктивності ХУ при зміні пори року

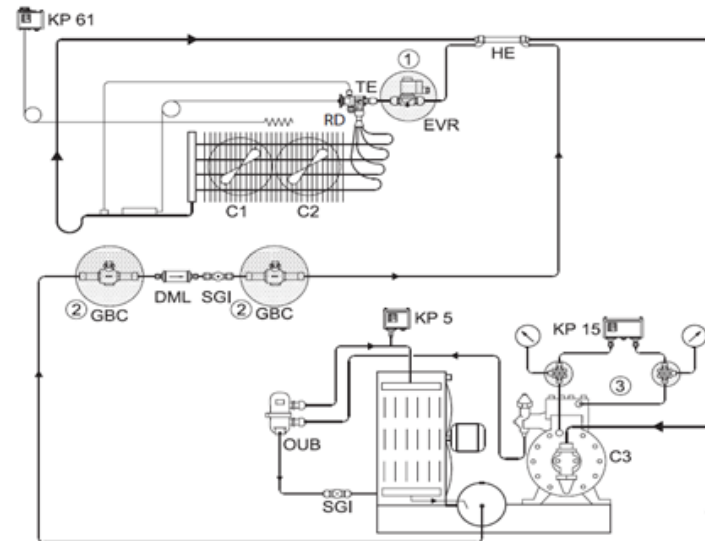


Рисунок 1.9 – ХУ для великих холодильників

Розрахунок потужності приводного двигуна КУ

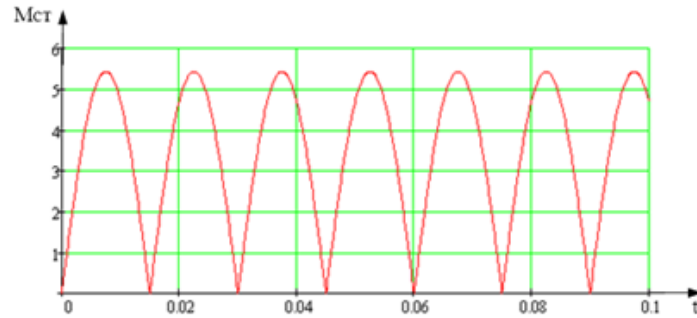


Рисунок 2.1 – Графік моменту опору на валу компресора

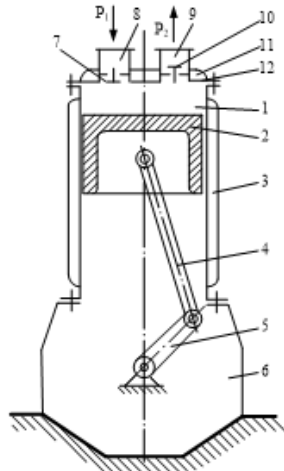


Рисунок 1.11 – Схема вертикального одноступінчатого компресора простої (односторонньої) дії

$$N_k = (1,1 \dots 1,2) \cdot \frac{5 \cdot 101000 \cdot 3,581 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\left(\frac{800000}{101000} \right)^5 - 1 \right]}{1000 \cdot 0,8} = (1,275 \dots 1,391)$$

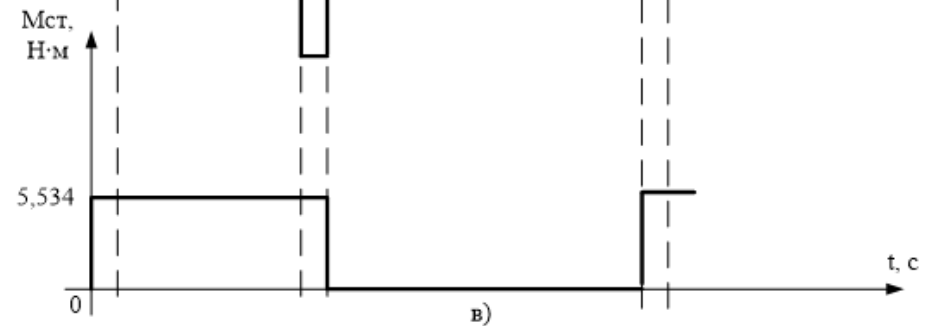
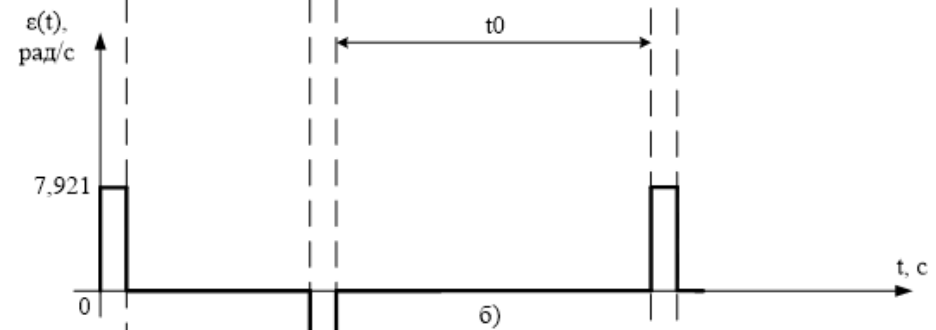
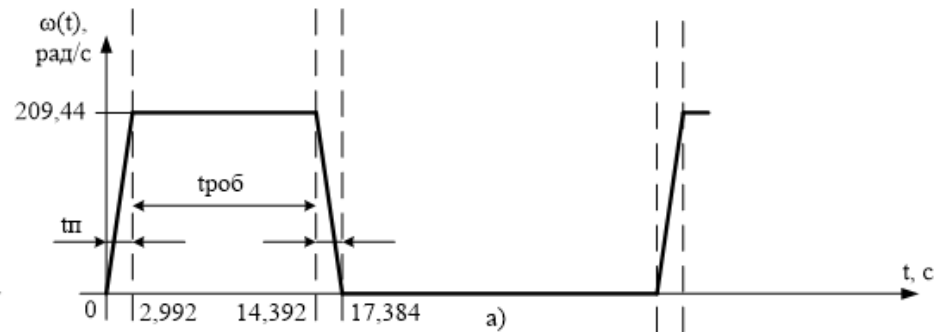


Рисунок 2.2 – Тахограма робочого механізму

Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП

Таблиця 3.1 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу

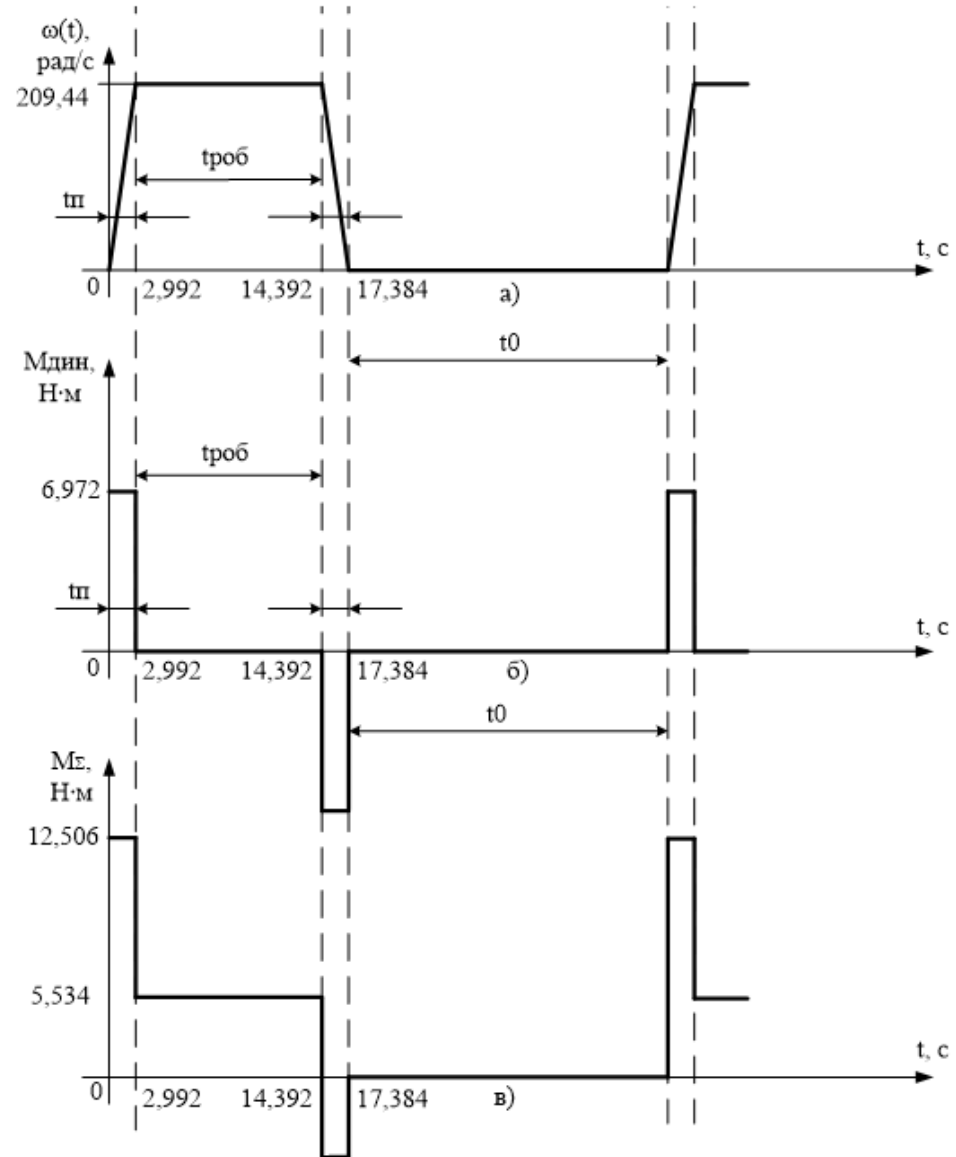
Система електроприводу	ШП-ДПС	АД з ФР (АВК)	ПЧ-АД
Потужність двигуна, кВт	1,5	1,5	1,5
ККД двигуна та системи	0,86	0,82	0,84
Спожита потужність двигуна, кВт	1,76	1,8	1,74
Тривалість роботи, год/добу	24	24	24
Тривалість роботи, днів/рік	250	250	250
Тривалість роботи, год/рік	6000	6000	6000
Втрати потужності, кВт	0,26	0,3	0,24
Тариф електроенергії, грн/кВт год	8	8	8
Вартість втрат електроенергії, грн/рік	12480,0	14400,0	11520,0
Вартість двигуна Д, грн	10951,2	5475,6	4212,0
Вартість системи С, грн	12570,0	10120,0	7980,0
Нормовані затрати на амортизацію 15%(С+Д)	3528,2	2339,3	1828,8
Експлуатаційні затрати (ремонт + тех. обслуг)	541,0	358,7	280,4
Вартість експлуатації електроприводу, грн	16549,2	17098,0	13629,2
Зведені витрати $Z = E_n \cdot K + C$, грн.	20077,3	19437,4	15458,0

Вибір двигуна та його перевірка

Таблиця 4.1 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	АИР 80 А2
Номинальна потужність P_n , кВт	1,5
Номинальна частота обертання n_n , об/хв	3000 (2850)
Номинальний струм статора I_n , А	3,46
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі $\cos\varphi$	0,84
ККД η , %	78,5
Частота мережі f , Гц	50
Кратність пускового струму $\lambda_{I, \text{пуск}}$	7,0
Момент інерції двигуна $J_{\text{дв}}$, кг·м ²	$11 \cdot 10^{-4}$
Кратність пускового моменту m_p	2,2
Кратність максимального моменту m_{max}	2,3
Номинальна напруга (Δ/Y) $U_{\text{ном}}$, В	220/380

Рисунок 4.1 – Навантажувальна діаграма електропривода



Розробка схеми функціональної електричної керування компресором

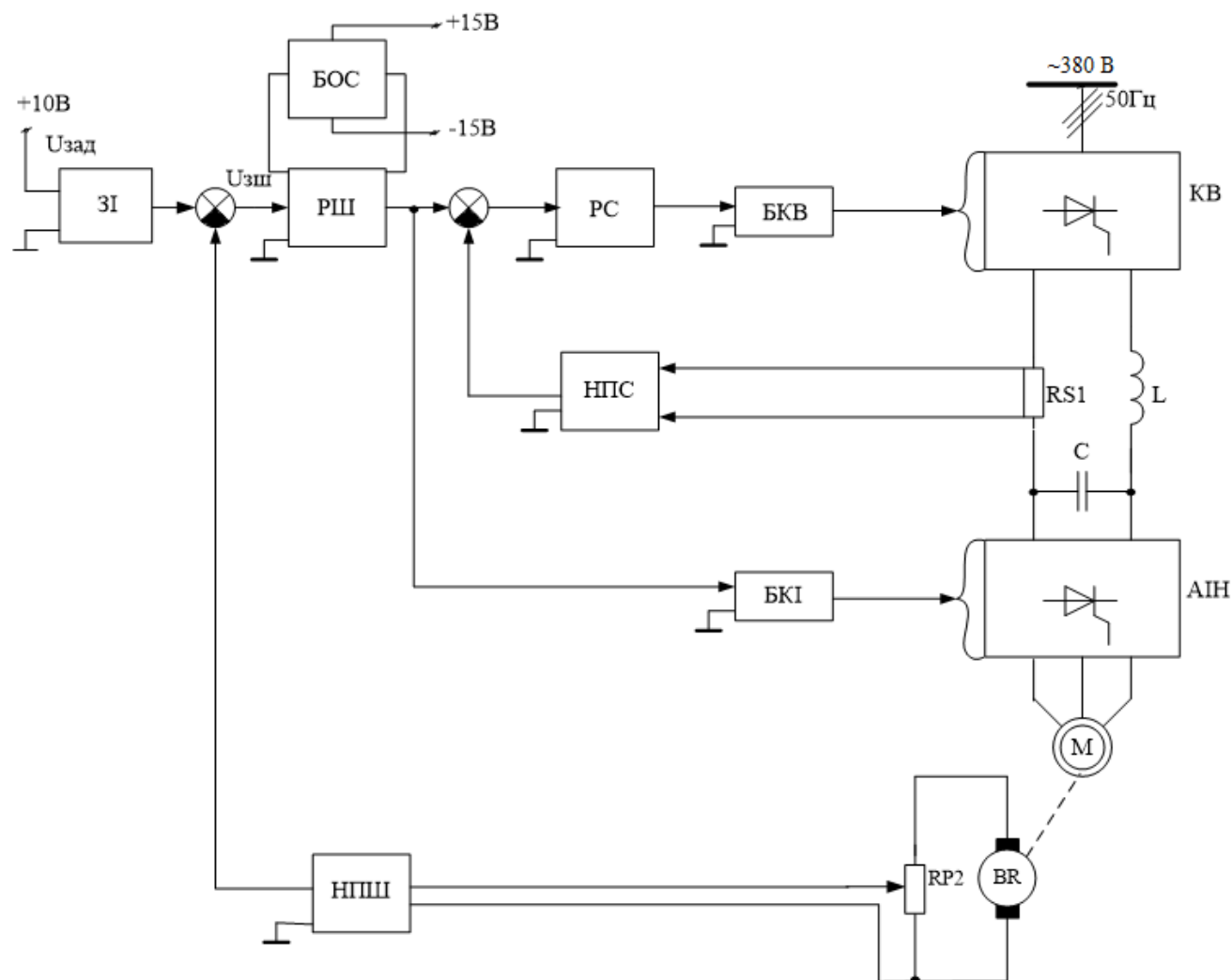


Рисунок 6.3 – Функціональна схема системи частотного керування з регулюванням струму та швидкості АД

Розрахунок та вибір засобів автоматизації ЕП компресора



Рисунок 12 – Частотний перетворювач ATV71HU15N4

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики перетворювача частоти

Тип (Schneider Electric)	ATV71HU15N4
Номинальна потужність двигуна, кВт	1,5
Напруга, В	3×380-460
Частота, Гц	50-60
Лінійний струм, А при U1 при U2	6,5 5,7
Потужність розсіювання при номінальному навантаженні, кВт	61
Максимальний струм к.з., кА	5
Номинальний струм, А при 380 В при 500 В	4,1 3,8
Максимальний перехідний струм при 460 В, А	6,2
Маса, кг	2,5



Рисунок 6.5 – Програмоване логічне реле LOGO! 12/24RC

Таблиця 6.2 – Характеристики LOGO

Найменування характеристики	Базовий пристрій LOGO 12/24 RC	Цифровий модуль LOGO DM8 12/24 R
Блок живлення		
Вхідна напруга	12/24 В	12/24 В
Допустимий діапазон	10.8...28.8 В	10.8...28.8 В
Захист від зворотної полярності	Так	Так
Споживання струму 24 В постійного струму	20...75 мА	20...75 мА
Буферизація при зникненні напруги 24 В постійного струму	2 мс	2 мс
Потужність втрат 24 В постійного струму	0.4...1.8 Вт	0.4...1.8 Вт
Цифрові входи		
Кількість	8	4
Гальванічна розв'язка	Ні	Ні

ПРИНЦИПОВА СХЕМА САЕП КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ

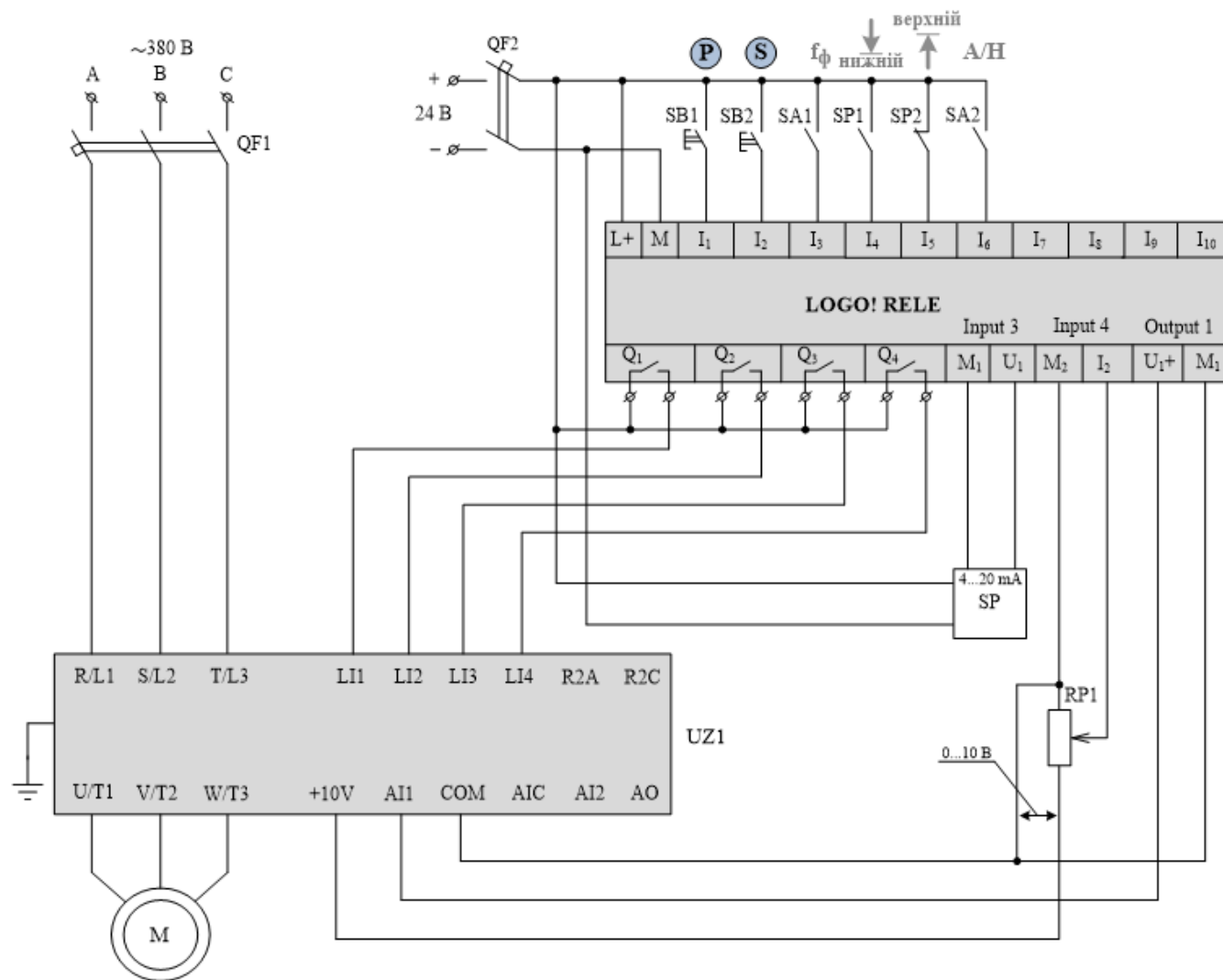
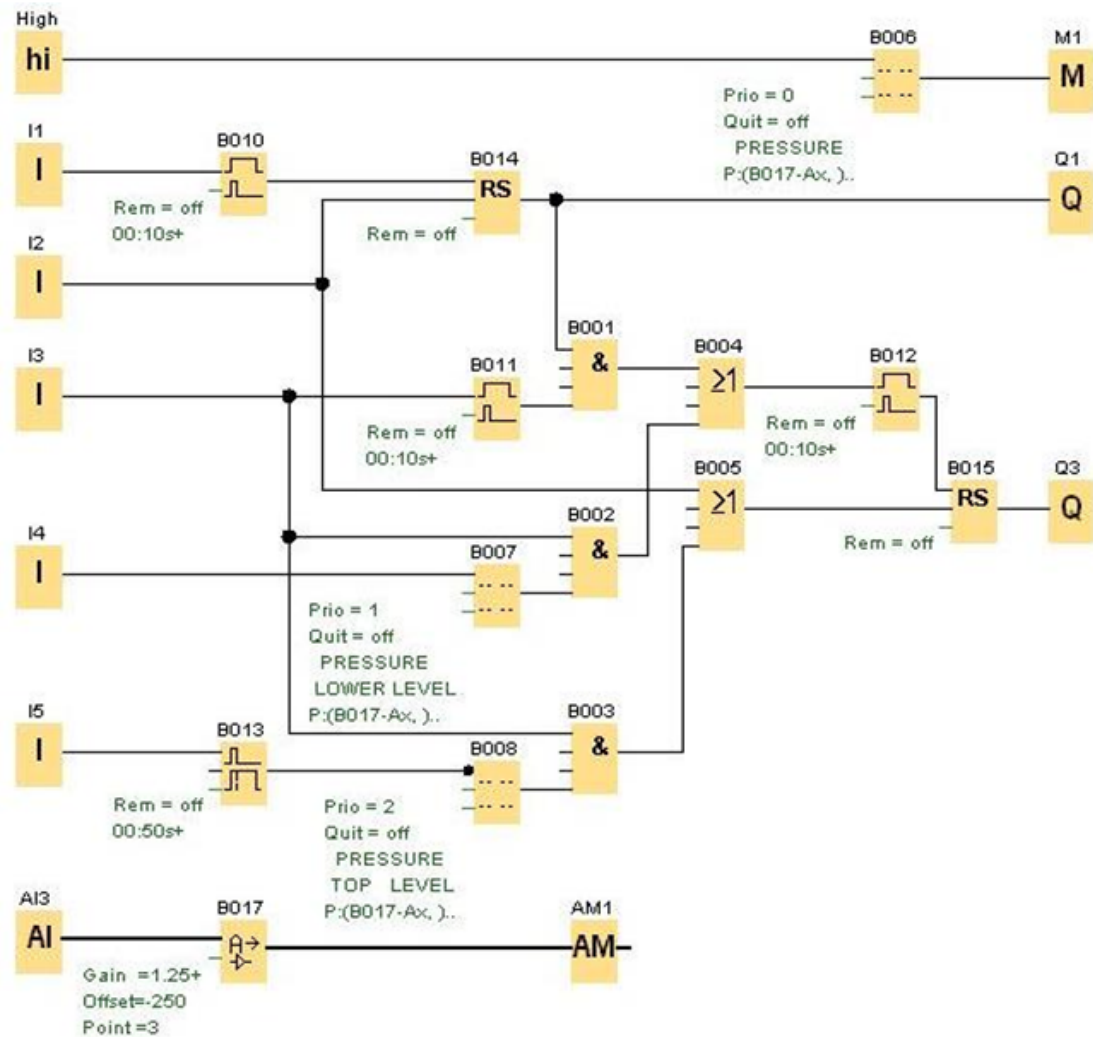


Рисунок 6.6 – Принципова схема САЕП компресорної установки

Алгоритм та програма керування ПЛК



Рисунку 6.7 – Програма керування компресорною установкою для підтримання тиску P в діапазоні значень $P_1 - P_2$

Дослідження динамічних характеристик СЕП КУ

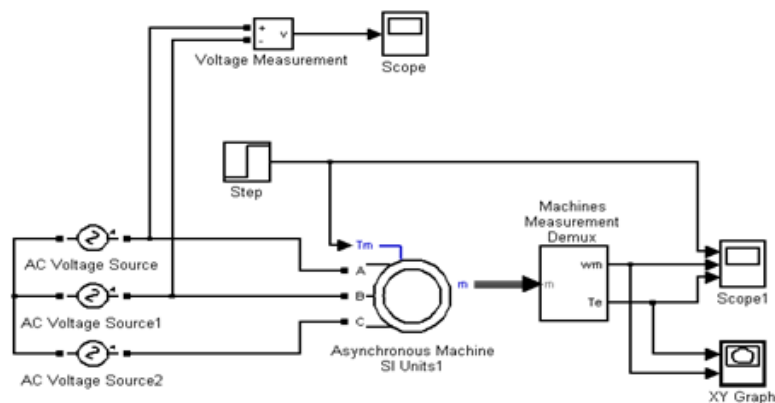


Рисунок 7.1 – Модель АД в Simulink

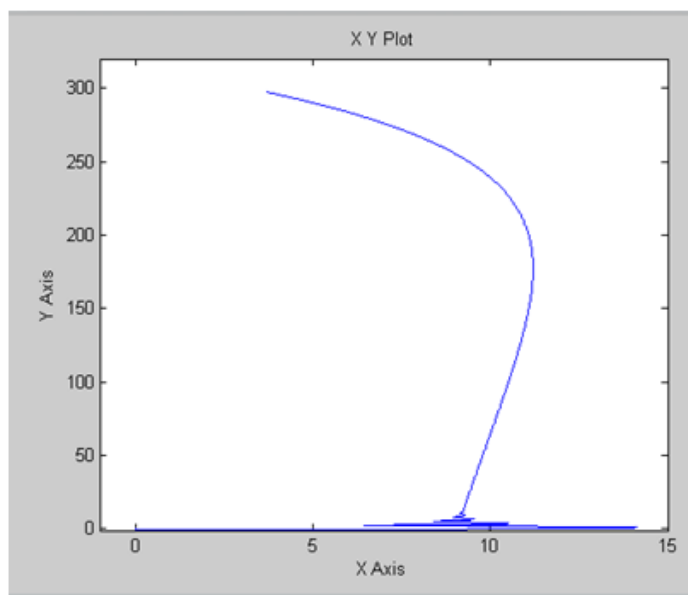


Рисунок 7.1 – Природна механічна характеристика електропривода

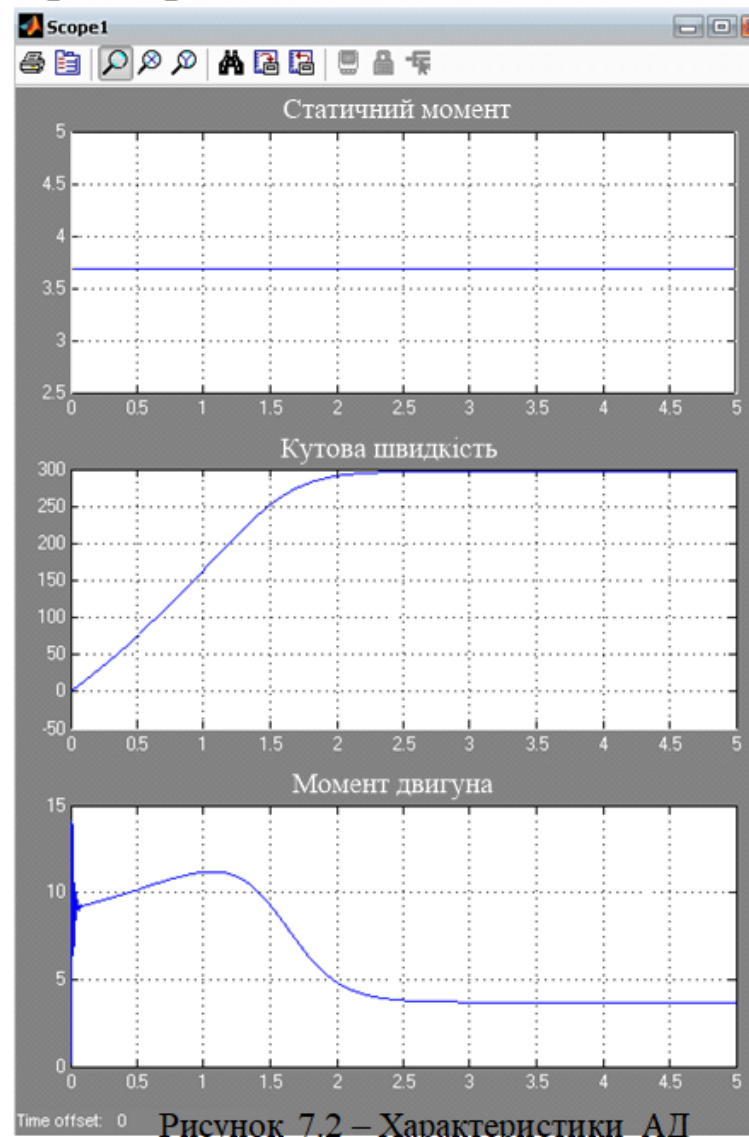


Рисунок 7.2 – Характеристики АД

Схема автоматизації холодильної установки підприємства

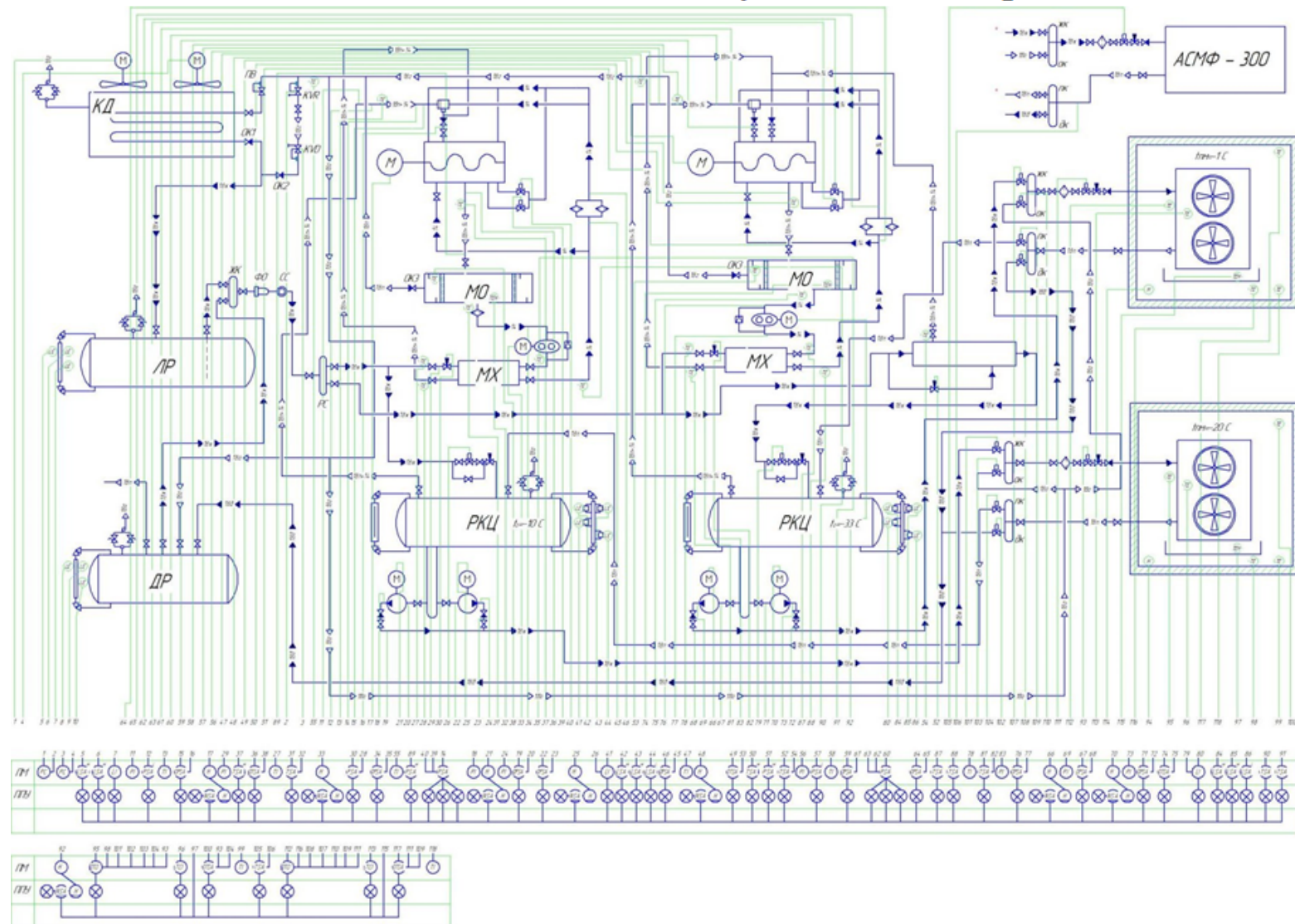


Рисунок 8.2 – Функціональна схема автоматизації холодильної установки

Вибір засобів автоматизації

Позначення на кресленні	Найменування приладу	Марка приладу	Технічна характеристика	Місце встановлення на холодильний установці	Налаштування
12, 57	Реле тиску	RT1	-0.8...5 кг/см ²	Всмоктуючий трубопровід компресора	0,5 кг/см ²
37, 50	Реле тиску	RT5	4...17 кг/см ²	Нагнітальний трубопровід компресора	13,5 кг/см ²
36, 49	Реле температури	RT107	+70...+150°C	Нагнітальний трубопровід компресора	95 °C
15, 16, 59, 61	Диференціальне реле тиску	MP55	-1...12 кг/см ²	Всмоктуючий трубопровід компресора	1,5 кг/см ²
31, 75	Датчик температури	RT101	+25...+90°C	Масловідділювач	45 °C
41, 80	Датчик рівня	AKS41	0...50%	Циркуляційний ресивер	0,15V
7	Датчик рівня	AKS41	0...80%	Лінійний ресивер	0...0,5V
42, 43, 44, 84, 85, 86	Поплавкове реле рівня	AKS38		Циркуляційний ресивер	0,3V
5, 6	Поплавкове реле рівня	AKS38		Лінійний ресивер	0,5V
26, 79	Соленоїд	EVR3		Циркуляційний ресивер	
100, 117	Датчик температури	RT11	-20...0°C	Камера зберігання	В залежності від режиму
11, 18, 73, 56, 69, 73	Манометр	ABMY - 1	-0,1...25кг/см ²	Апарати та ємності холодильної установки	
17, 21, 25, 33, 48, 66, 70, 92	Магнітний пускач	ПМЕ-220		Електродвигуни компресорів, насосів	

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи було отримано такі загальні результати:

1. Проведено аналіз основних принципів побудови холодильного обладнання, приведена класифікація холодильних установок, проаналізовано їх переваги та недоліки, розглянуто роль та застосування компресорів в холодильній техніці та їх класифікацію

2. Виконано попередній розрахунок величин для подальших розрахунків, а також розрахунки статичного моменту на валу двигуна, час роботи та побудували тахограми механізму компресора. Розраховано потужність за якою в подальшому будемо вибирати електродвигун компресора. Найближча в ряді до розрахованої потужність 1,5 кВт. На неї і будемо орієнтуватися в подальшому при виборі двигун.

3. В результаті техніко-економічного обґрунтування найбільш доцільним вибором з точки зору економічних показників та режимів роботи є система електроприводу ПЧ–АД. Виконано вибір приводного двигуна компресора типу АІР 80 А2 потужністю 1,5 кВт та розраховано динамічний момент двигуна, приведений момент інерції всього механізму та побудовано навантажувальну діаграму електропривода. Проведені розрахунки показують, що даний двигун має достатній запас за нагрівом і перевантажувальною здатністю

4. Розроблено схему функціональну електричного керування компресором та здійснено вибір перетворювача частоти типу Altivar ATV71HU15N4 фірми Schneider electric, засобів автоматизації системи керування компресором, а саме програмоване логічне реле LOGO! 12/24RC фірми Siemens; запропоновано схему електричного принципу системи керування компресором із використанням вище згаданих засобів автоматизації та програми керування компресорною установкою для підтримання різних режимів тиску P з діапазонами значень $P_1 - P_2$

5. Розроблено функціональну схему автоматизації холодильної установки, виконано опис систем автоматизації холодильної установки, зокрема систем автоматичного захисту, автоматичного регулювання та управління, автоматичної сигналізації та дистанційного контролю параметрів

6. Проведено моделювання поведінки системи електропривода, а також досліджено систему на стійкість. Результати дослідження свідчать про те, що система має гарні запаси стійкості та досить гарні показники якості функціонування системи.

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Автоматизована система керування компресором холодильної установки

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМ-22мс

Науковий керівник: к.т.н., доц. Богачук В.В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	77,4 %
Схожість	22,6 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

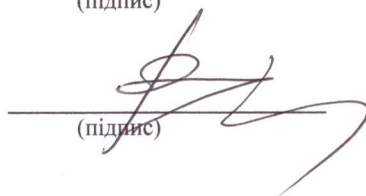
Автор роботи


(підпис)

Гриняк Б.В.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Богачук В.В.

(прізвище, ініціали)

Рисунок 6.7 – Програма керування компресорною установкою

					08-24.БДР.021.00.000				
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування компресором холодильної установки				
Розробив:		Гриняк Б.В.	<i>Г.В.Г.</i>	28.05					
Перевірів		Богачук В.В.	<i>В.В.Б.</i>	28.05					
Т. контр.									
					Літ.		Маса		Масштаб
					Аркуш		Аркуш		
Рецензент		Бабенко О.В.	<i>О.В.Б.</i>	28.05	ВНТУ, гр. ЕМ-22				
Норм.кон.		Панченко	<i>П.П.</i>	28.05					
Затверд.		Мошноріз М.М.	<i>М.М.М.</i>	28.05					