

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва, транспорту та енергетики  
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри АВП

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр ДІДИК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**

**на тему:**

**Розробка та дослідження системи управління  
промисловими повітряними компресорами з розробкою  
мікропроцесорної системи управління**

Виконав здобувач II курсу групи АК-24М  
ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології»  
спеціальності 174 «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»

\_\_\_\_\_ Дмитро ЧЕРНИХ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник проекту

канд.техн.наук

\_\_\_\_\_ Маріанна ФЕДОТОВА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

\_\_\_\_\_ Іван САВЕЛЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Черниха Дмитра Руслановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка та дослідження системи управління промисловими повітряними компресорами з розробкою мікропроцесорної системи управління

2. Керівник роботи Федотова Маріанна Олександрівна, канд. техн. наук

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 02.12.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Метою розробки є дослідження та програмна реалізація мікропроцесорної системи промисловими компресорами 1. Призначення системи; 2. Огляд існуючих систем, технологій, архітектур та програмних рішень за профілем теми магістерської роботи; 3. Опис функціонування системи; 4. Реалізація роботи. розрахунки і експериментальні дані, що підтверджують вірність проектних та програмних рішень. впровадження системи в промислову експлуатацію.

**5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи**

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання приймав



## АНОТАЦІЯ

на випускню кваліфікаційну магістерську роботу студента групи АК-24М Черниха Дмитра Руслановича зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» на тему: «Розробка та дослідження системи управління промисловими повітряними компресорами з розробкою мікропроцесорної системи управління».

Випускню кваліфікаційну роботу присвячена аналізу, вдосконаленню та практичній реалізації системи автоматизованого керування компресорними установками.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено дослідження, проектування та розробку системи автоматизованого управління промисловими повітряними компресорами з використанням сучасних мікропроцесорних засобів. У роботі здійснено аналіз існуючих систем управління компресорами, визначено їхні переваги та недоліки, а також сформовано вимоги до оновленої системи. На основі результатів аналізу запропоновано архітектуру мікропроцесорної системи управління, яка забезпечує контроль тиску, температури, струмових навантажень, стану електроприводу та аварійних режимів.

Розроблено функціональну та структурну схеми системи, алгоритми роботи режимів «Пуск», «Робота», «Зупинка», «Аварія», а також систему захистів та індикації. Програмне забезпечення реалізовано з використанням мікроконтролера, що забезпечує збір даних із датчиків, обробку сигналів, керування електромагнітними реле й контакторами, а також можливість віддаленого моніторингу параметрів роботи компресора через локальну або хмарну мережу.

**Ключові слова:** автоматизація, мікропроцесорна система, компресори, керування, модернізація, енергоефективність.

## ABSTRACT

on the final qualification work of the student of the AK-24M group Chernykh Dmitry Ruslanovich in the specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics" on the topic: "Development and research of a control system for industrial air compressors with the development of a microprocessor control system".

The final qualification work is devoted to the analysis, improvement and practical implementation of the automated control system for compressor installations.

In the master's qualification work, research, design and development of an automated control system for industrial air compressors using modern microprocessor tools were carried out. The work analyzed existing compressor control systems, identified their advantages and disadvantages, and also formed requirements for the updated system. Based on the results of the analysis, the architecture of a microprocessor control system was proposed, which provides control of pressure, temperature, current loads, the state of the electric drive and emergency modes.

The functional and structural scheme of the system, the algorithms of the modes "Start", "Operation", "Stop", "Emergency", as well as the protection and indication system have been developed. The software is implemented using a microcontroller that provides data collection from sensors, signal processing, control of electromagnetic relays and contactors, as well as the possibility of remote monitoring of compressor operating parameters via a local or cloud network.

**Keywords: automation, microprocessor system, compressors, control, modernization, energy efficiency.**

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Сучасний стан технології та обладнання для автоматизації процесу управління насосними станціями .....	6
1.1 Описи автоматизованої системи управління насосною станцією .....	6
1.2 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми магістерської роботи.....	10
2 Огляд об'єкта управління та створення структурної схеми системи автоматичного керування насоною станцією.....	42
2.1 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи.....	42
2.2 Розгорнута постановка завдання .....	45
2.3 Опис функціонування системи .....	46
2.4 Розробка структурної схеми.....	50
2.5 Розробка функціональної схеми .....	52
2.5 Розробка діаграми процесів .....	58
3 Реалізація роботи. розрахунки і експериментальні дані, що підтверджують правильність проектних рішень.....	62
3.1 Реалізації автоматизованої системи керування.....	62
3.2 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи.....	73
4 Впровадження системи в промислову експлуатацію .....	78
Висновки .....	82

Список літератури .....	84
Додаток А .....	87

## ВСТУП

**Актуальність даної теми.** Промислові повітряні компресори є невід’ємною складовою більшості сучасних технологічних процесів, забезпечуючи енергією стисненого повітря обладнання в машинобудуванні, хімічній, фармацевтичній, харчовій, будівельній промисловості, у системах автоматизації та енергетичних комплексах. Стабільність і ефективність роботи компресорного обладнання безпосередньо впливають на надійність виробничих процесів, собівартість продукції та загальну безпеку технологічної системи. У зв’язку з цим питання модернізації систем управління компресорами набуває особливої актуальності.

Значна частина компресорних станцій, що експлуатуються на підприємствах України, використовує застарілі релейно-контакторні або обмежені за функціональністю контролерні системи. Вони не забезпечують точного контролю ключових параметрів - тиску, температури, струмових навантажень - та не мають засобів запобігання аварійним ситуаціям високого рівня. Недостатній рівень автоматизації призводить до підвищеного енергоспоживання, прискореного зношування обладнання, частих зупинок технологічних процесів та збільшення витрат на технічне обслуговування

В умовах активного поширення концепцій цифрової трансформації виробництва (**Industry 4.0**, Smart Factory) зростає потреба у впровадженні інтелектуальних систем управління, здатних забезпечувати не лише базове керування процесом, а й моніторинг, діагностику, адаптивне регулювання, а також передачу даних у локальні та хмарні інформаційні системи.

Мікропроцесорні контролери сучасного покоління дозволяють реалізувати високоточний контроль, алгоритми оптимізації роботи компресора, системи захистів та інтелектуальні функції прогнозування стану обладнання.

Удосконалена мікропроцесорна система управління дозволяє значно підвищити енергоефективність компресорної станції, забезпечити плавний

пуск, уникнення перевантажень, стабільне підтримання робочих параметрів, а також мінімізувати ризики аварійних ситуацій. Крім того, програмно-апаратна частина системи може бути адаптована до широкого спектра компресорів - поршневих, гвинтових та комбінованих - що робить її універсальним рішенням для модернізації промислових установок.

**Метою даної роботи** є розробка та дослідження ефективної мікропроцесорної системи управління промисловими повітряними компресорами, яка забезпечує підвищення надійності, енергоефективності, безпеки та автоматизації роботи компресорного обладнання, а також можливість його інтеграції в сучасні цифрові виробничі системи.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **основні завдання**:

- Провести аналіз існуючих промислових компресорних систем та методів їх автоматизованого управління, визначити їх переваги, недоліки та обмеження.

- Сформувати технічні вимоги до мікропроцесорної системи управління, враховуючи особливості роботи різних типів повітряних компресорів (поршневих, гвинтових тощо).

- Розробити структурну та функціональну схеми системи управління, що описують взаємодію всіх апаратних елементів і потоків даних.

- Обґрунтувати вибір мікроконтролера, датчиків та виконавчих елементів, необхідних для побудови системи, та визначити їх технічні характеристики.

- Створити принципову електричну схему мікропроцесорної системи управління, врахувавши елементи захисту, індикації та підсилювально-комутаційні модулі.

- Розробити алгоритми роботи системи для режимів пуску, нормальної роботи, зупинки та аварійних ситуацій, включаючи систему захистів.

- Реалізувати програмне забезпечення для мікроконтролера, яке забезпечує зчитування даних із датчиків, обробку сигналів, керування виконавчими механізмами та обробку аварійних режимів.
- Провести моделювання та експериментальне дослідження роботи системи, оцінити її працездатність, точність, стабільність та енергоефективність.
- Виконати аналіз отриманих результатів, порівняти ефективність розробленої системи з традиційними рішеннями.
- Провести оцінку економічної доцільності впровадження системи, врахувавши потенційні енергетичні та експлуатаційні вигоди.
- Сформулювати висновки та рекомендації щодо подальшого застосування та розвитку системи, можливості її масштабування та адаптації під інші типи промислового обладнання.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження виступає процес автоматизованого управління промисловими повітряними компресорами у виробничих умовах.

**Предметом дослідження** є методи, алгоритми та технічні засоби мікропроцесорного керування роботою промислових повітряних компресорів, а також принципи реалізації систем захисту, контролю та моніторингу їхніх робочих параметрів.

#### **Методи досліджень**

У процесі вирішення поставлених завдань використовувалися методи теорії автоматичного управління, аналізу динамічних систем, класичні методи теорії ймовірностей і математичної статистики, кореляційно-регресійного аналізу, а також теорії випадкових функцій.

#### **Наукова новизна отриманих результатів**

У процесі виконання завдань, визначених метою дослідження, були отримані такі результати:

Розроблено структуру мікропроцесорної системи управління промисловими компресорами, адаптованої до різних типів компресорного

обладнання.

Створено алгоритми інтелектуального керування, що забезпечують оптимізацію режимів роботи, мінімізацію енергоспоживання та запобігання аварійним ситуаціям.

Проведено інтеграцію систем захисту та діагностики з використанням датчиків тиску, температури й струмових навантажень у єдину апаратно-програмну платформу.

Комплексно дослідженні роботи системи на основі моделювання та експериментального тестування.

### **Практична цінність результатів**

Розроблена система може бути впроваджена для модернізації існуючих компресорних станцій, продовживши термін їх експлуатації без потреби заміни основного обладнання.

Запропоновані алгоритми управління дозволяють знизити витрати електроенергії та зменшити кількість аварійних зупинок, що є важливим для промисловості.

Мікропроцесорна система може бути адаптована до компресорів різних типів і потужностей, що забезпечує універсальність застосування.

Реалізація системи захистів і моніторингу значно підвищує надійність та безпечність роботи компресорного обладнання.

Розробка може бути інтегрована в цифрові системи моніторингу виробництва, що відповідає сучасним тенденціям цифрової трансформації.

# **1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ КОМПРЕСОРАМИ**

## **1.1. Описи автоматизованої системи управління компресорними станціями**

### **Мікропроцесорні системи управління промисловими компресорами**

Мікропроцесорна система керування промисловими компресорами є сучасною комп'ютеризованою системою, призначеною для автоматичного контролю та регулювання роботи компресорного обладнання. Використання таких систем дозволяє підвищити ефективність роботи компресорів, зменшити енергоспоживання та продовжити термін служби обладнання. Крім того, мікропроцесорні системи забезпечують діагностику несправностей, що дає можливість своєчасно реалізовувати аварійне вимкнення з метою уникнення небезпечних ситуацій.

### **Структура мікропроцесорної системи управління**

Мікропроцесорна система складається з двох ключових складових:

1. Апаратна частина – включає сенсори та вимірювальні пристрої, що фіксують основні параметри роботи компресора: тиск, температуру, споживану потужність, рівень вібрацій тощо. Зібрані дані надходять до мікропроцесора, який аналізує їх та формує команди керування.

2. Програмна частина – містить алгоритми оптимального керування роботою компресора відповідно до технологічних вимог. Програмне забезпечення також реалізує функції діагностики, захисту, аварійного оповіщення та оптимізації робочих режимів.

Сукупність цих елементів забезпечує автоматичну, стабільну та безпечну роботу компресорної установки в умовах промислової експлуатації.

### **Переваги мікропроцесорних систем керування**

Використання мікропроцесорних систем забезпечує:

- автоматизацію процесів керування компресором без постійного втручання оператора;
- зниження споживання енергії завдяки раціональному регулюванню режимів роботи;
- збільшення ресурсу та терміну експлуатації компресорної техніки;
- підвищення рівня безпеки шляхом оперативного виявлення аварійних ситуацій;
- можливість інтеграції з комплексними системами автоматизації виробництва.

**Компресорна техніка: значення та розвиток**

Компресори відіграють важливу роль у розвитку сучасної промисловості й енергетики. Хоча вони менш відомі широкому загалу, ніж інші енергетичні машини, компресори є одними з найбільш поширених пристроїв у всіх базових галузях:

- машинобудуванні,
- хімічній і нафтохімічній промисловості,
- енергетиці,
- транспорті,
- холодильній техніці,
- побутових системах кондиціонування та охолодження.

Історично компресори належать до перших технічних пристроїв, створених людством для стискання повітря. Сьогодні ж, незважаючи на тривалу історію застосування, компресорна техніка залишається прикладом втілення сучасних високих технологій.

**Технічна складність компресорів**

Складність конструкції компресорів зумовлена високими навантаженнями та складними газодинамічними процесами. Наприклад:

- у турбокомпресорах периферійні швидкості лопаток сягають швидкостей надзвукових літаків;

- у великих осьових компресорах навантаження на лопатку в місці її кріплення до ротора можуть досягати десятків тонн.

Компресори вирізняються значним різноманіттям конструктивних рішень, принципів дії, робочих тисків і потужностей.

### **Основні типи компресорного обладнання**

Компресори поділяються на такі групи:

1. Компресори загального призначення. Використовуються для стискання повітря до 8–12 кгс/см<sup>2</sup> для промислових потреб. Найпоширеніші типи:

- поршневі,
- гвинтові,
- відцентрові.

2. Компресори спеціального призначення. Призначені для стискання різних газів, зокрема агресивних, і подавання їх у технологічні мережі, установки, магістральні газопроводи.

3. Пересувні компресорні станції (ПКС)

- загального призначення (тиск 9–13 кгс/см<sup>2</sup>),
- спеціального призначення (понад 13 кгс/см<sup>2</sup>).

4. Нагнітачі та повітродувки. Призначені для роботи з малими ступенями підвищення тиску.

5. Вакуумні насоси-компресори. Використовуються для створення розрідження в технологічних системах.

### **Тенденції розвитку компресоробудування**

Сучасні напрями розвитку компресорної техніки передбачають:

- підвищення економічності та надійності обладнання;
- максимальну автоматизацію технологічних процесів;
- використання модульних та блочно-комплектних рішень;
- скорочення часу створення нових моделей;
- уніфікацію конструктивних елементів для зниження вартості виробництва та полегшення ремонту.

Особливо швидкими темпами розвиваються гвинтові та відцентрові компресори, які вирізняються компактністю, простотою конструкції, довговічністю та низькими експлуатаційними витратами. Їх використання особливо поширене в:

- нафтовій та газовій промисловості,
- хімічній промисловості,
- енергетиці та інших галузях.

#### Стан компресоробудування в Україні

В Україні компресоробудування є розвиненою галуззю, що виробляє широкий асортимент компресорного обладнання для різних секторів економіки. Сучасні світові тенденції - зокрема перехід до гвинтових компресорних технологій - поступово впроваджуються й на вітчизняних підприємствах.

### **1.2 Область застосування**

Компресорні установки мають широке застосування в різних галузях промисловості та сфері технічного обслуговування. Основне їх призначення полягає у створенні високого тиску повітря, газів або інших середовищ, необхідного для виконання технологічних процесів. Найпоширеніші напрями використання компресорних систем включають:

- пневматичні системи. Компресори забезпечують подачу стисненого повітря для пневматичного обладнання, що застосовується в автомобільній промисловості, металообробці, виробництві пластмас та інших галузях;
- холодильна техніка. Компресорні установки створюють високий тиск газу, необхідний для роботи холодильних та кондиціонерних систем, холодильних камер і промислових охолоджувальних комплексів;
- нафтогазова промисловість. У газотранспортних системах компресори використовуються для забезпечення необхідного тиску при перекачуванні природного газу магістральними та технологічними трубопроводами;

- енергетика. У системах виробництва електроенергії компресори подають стиснене повітря для забезпечення роботи газотурбінних двигунів.

### **Мета кваліфікаційної магістерської роботи**

Метою роботи є створення мікропроцесорної системи керування промисловими компресорними (насосними) установками з розробкою спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизованої взаємодії з технологічними об'єктами.

Створювана система повинна забезпечувати такі функції:

- автоматична підтримка заданого тиску у водяному колекторі;
- створення енергоефективного режиму роботи насосів шляхом застосування частотного регулювання (ЧРП);
- оперативний диспетчерський контроль за технологічними параметрами;
- виявлення аварійних ситуацій і несправностей, формування попереджувальної та аварійної сигналізації, фіксація подій у журналі;
- обробка аналогових і дискретних сигналів відповідно до визначеного алгоритму та формування керуючих команд для технологічного обладнання;
- передача інформації про стан технологічного процесу на верхній рівень при інтеграції у систему АСУ ТП підприємства.

З огляду на високу значущість компресорних і насосних установок у промислових технологічних процесах, а також необхідність підвищення їх енергоефективності та надійності, розробка програмного забезпечення для мікропроцесорної системи керування насосною станцією є актуальним і важливим завданням, яке вирішується у цій кваліфікаційній роботі.

### **1.3 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми магістерської роботи**

Компресорні установки - це технічні пристрої, призначені для створення

підвищеного тиску в повітрі, газах або інших робочих середовищах за рахунок перетворення механічної чи іншої форми енергії. Такі системи широко застосовуються в промисловості, енергетиці, транспорті, будівництві та багатьох інших галузях.

Огляд компресорних установок доцільно здійснювати за низкою основних критеріїв.

### **Тип компресорів**

Існує кілька типів компресорів, серед яких найпоширеніші:

- поршневі;
- відцентрові;
- гвинтові;
- лопатеві;
- діафрагмові та інші.

Кожен тип має свої конструктивні особливості, переваги та недоліки. Вибір конкретного компресора визначається специфікою технологічного процесу та вимогами до робочих параметрів.

### **Продуктивність**

Продуктивність компресорної установки характеризує об'єм повітря або іншого середовища, який компресор може подати за одиницю часу. Цей показник є визначальним під час вибору обладнання і повинен відповідати потребам технологічного процесу.

### **Робочий тиск**

Рівень тиску, який здатна забезпечити компресорна установка, є ще одним важливим параметром, що впливає на вибір типу обладнання та сферу його застосування.

### **Поршневі компресори**

Поршневі компресори є одними з найбільш поширених завдяки низці важливих переваг:

- невисока вартість порівняно з іншими типами компресорів;
- простота конструкції та доступність обслуговування;

- висока ремонтпридатність;
- можливість роботи у важких умовах, зокрема при значному забрудненні повітря.

За умови своєчасного технічного обслуговування поршневий компресор може служити впродовж дуже тривалого часу, практично наближаючись до «безстрокового» ресурсу.

Компресорне обладнання Вільнюського заводу «СОМ» наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Компресори марок: 3-7Б, 3-243, В 43102, В-43102А

Представлені компресори призначені для забезпечення пневмосистем та пневматичного інструменту стисненим повітрям під час виконання будівельно-оздоблювальних, малярних та інших робіт, які потребують тиску до 0,7 МПа та продуктивності до 33 м<sup>3</sup>/год (≈520 л/хв).

Компресори 3-7Б та 3-243 належать до поршневих, двоциліндрових, одноступінчастих машин простого дії з примусовим повітряним охолодженням. Обладнання цього типу широко застосовується в установках для виробництва утеплювачів типу «Юніпор», «Піноізол», а також у технологіях виготовлення пінобетону.

На вимогу замовника компресори можуть додатково комплектуватися:

- напірним шлангом,
- фарбувальним пістолетом,
- відбійним молотком,

- іншим пневмоінструментом залежно від сфери застосування.

Компресори З-7Б і З-243 можуть комплектуватися компресорним вузлом як Вільнюського заводу СОМ, так і виробництва ВАТ «СПЕЦТРАНСПОРТ» (Україна). Живлення установки здійснюється від мережі змінного струму з частотою 50 Гц і напругою 380 В. Привід компресора реалізовано через клиноремінну передачу від трифазного асинхронного електродвигуна потужністю 4,0 кВт.

Усі елементи компресора змонтовано на ресивері, оснащеному колесами та ручкою для зручного транспортування. Компресорні установки цієї серії прості, надійні та невибагливі в експлуатації, що робить їх оптимальними для роботи в широкому спектрі виробничих умов.

### **Компресорне обладнання Житомирського підприємства «Автоспецобладнання»**

Житомирський компресорний завод виробляє широкий спектр поршневих компресорів як побутового, так і промислового призначення. Продукція підприємства включає сучасні моделі, виготовлені на основі дво- та чотирициліндрових компресорних головок, що забезпечують високу надійність та ефективність роботи.

До асортименту входять поршневі повітряні компресори з продуктивністю до 0,25 м<sup>3</sup>/хв, серед яких моделі:

- ДО-1;
- ДО-12;
- ДО-29;
- ДО-23.

Ці компресори застосовуються у побутових, ремонтних та легких промислових умовах, забезпечуючи стабільну подачу стисненого повітря для різноманітних технологічних задач.



Рисунок 1.2 - Поршневі повітряні компресори типу ДО

Поршневі повітряні компресори серії ДО застосовуються у побутових і промислових умовах як джерело стисненого повітря для роботи пневмоінструмента, виконання фарбувальних робіт, обпресування водяних і газових трубопроводів та інших технологічних операцій.

Компресори цього типу виготовляються на основі двоциліндрової одноступінчастої компресорної голівки 3412 та можуть працювати від мережі живлення 220 В або 380 В.

Компресори з продуктивністю до 1,00 м<sup>3</sup>/хв

До цієї групи належать моделі:

- ДО-24М,
- ДО-25М,
- З-415М,
- З-415М1,
- ДО-2,
- ДО-22,
- ДО-33Ф.

Ці компресори широко використовуються при виконанні будівельно-оздоблювальних робіт, у гаражах, на будівельних, дорожніх та промислових підприємствах, а також на лініях з виробництва пластикових пляшок.

### **Конструктивні основи**

- Компресори продуктивністю до 0,6 м<sup>3</sup>/хв виготовляються на базі двоциліндрової одноступінчастої голівки ДО-24.
- Компресори продуктивністю до 1,00 м<sup>3</sup>/хв - на базі двоциліндрової двоступінчастої голівки З-415М.

Такі конструктивні рішення забезпечують достатню продуктивність, надійність та універсальність застосування обладнання в широкому спектрі виробничих завдань.



Рисунок 1.3 - Поршневі повітряні компресори типу ЗМ

### **Пересувні компресорні станції ПКС, ПКСД**

Пересувні компресорні станції серій ПКС та ПКСД призначені для вироблення стисненого повітря та його подачі до пневматичного інструмента й механізмів у різних галузях промисловості. Таке обладнання широко використовується під час виконання будівельно-монтажних, дорожніх та ремонтних робіт.

Крім того, пересувні компресорні станції застосовуються для:

- наповнення балонів та ємностей стисненим повітрям у польових умовах;
- очищення, продування та опресовування трубопроводів;
- отримання з атмосферного повітря вибухобезпечних газових сумішей, що використовуються під час освоєння та ремонту нафтових і газових свердловин;

- забезпечення різних технологічних операцій у нафтогазовидобувній галузі.

Такі станції відрізняються мобільністю, можливістю роботи у складних умовах та універсальністю застосування, що робить їх важливими елементами енергетичного та технологічного забезпечення промислових процесів.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики

Найменування параметрів	ПКС-5.25А	ПКС-3.5А	ПКС-5.25А	ПКС-3.5А	ПКС-1.75
Тип станції	пересувна	пересувна	стац-ная	стац-ная	стац-ная
Продуктивність, куб. м/хв	5,25	3,5	5,25	3,5	1,75
Обсяг повітрязбірника, куб. м	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045
Робочий тиск, кгс/кв. див	7	7	7	7	7
Число оборотів коленвала, про/хв.	1475	1470	1475	1470	1470
Споживана потужність, кВт	33.0	22.75	33.0	22.75	11,63
Привід	эл. дв. 37 кВт	эл. дв. 30 кВт	эл. дв. 37 кВт	эл. дв. 30 кВт	эл. дв. 15 кВт
Тип	4А 200М4	4А 180М4	4А 200М4	4А 180М4	АИР 160S4
Габаритні розміри, мм					
довжина	3310	2880	1845	1610	1240
ширина	1860	1860	890	890	890
висота	1470	1470	1070	1070	1070
Маса станції, кг	1115	860	750	600	470



Рисунок 1.4 - Пересувні компресорні станції ПКС

Усі пересувні компресорні станції конструктивно складаються з V-подібного двоступінчастого поршневого компресора, на якому встановлено вентилятор та проміжний теплообмінник. Привід здійснюється від електродвигуна, з'єданого з колінчастим валом компресора за допомогою еластичної пальцевої муфти, що забезпечує надійну передачу крутного моменту та зменшує вібраційні навантаження.

До складу станції входять також засоби автоматизації та електрична шафа керування, що забезпечують контроль робочих параметрів, запуск, зупинку й захисні функції.

Продуктивність компресора регулюється автоматично шляхом переведення агрегата у режим холостого ходу. Компресор є двоступінчастим, поршневим, з V-подібним розташуванням циліндрів, що сприяє компактності та зменшенню маси установки. Система охолодження — повітряна, що забезпечує роботу без складних додаткових систем терморегуляції.



Рисунок 1.5 - Компресорні станції типу ПКСД

### **Дизельні пересувні компресорні станції**

Для виконання ремонтних та будівельних робіт у місцях, де відсутнє стаціонарне електроживлення, використовуються дизельні компресори, які забезпечують подачу стисненого повітря до пневматичних інструментів та іншого обладнання.

Однією з ключових переваг дизельних компресорів є їх висока мобільність, що робить їх надзвичайно актуальними у будівельній сфері. У процесі виконання робіт компресорні установки часто необхідно переміщати, і пересувні дизельні станції дозволяють значно зменшити витрати фізичних зусиль та часу персоналу, забезпечуючи безперервність робіт навіть за повної відсутності електроенергії.

### **Сфери застосування та переваги**

Дизельні компресори широко застосовуються у:

- будівництві та ремонті доріг;
- монтажних і ремонтних роботах у польових умовах;
- місцях, де джерелом енергії для обладнання є стиснене повітря;
- роботах, що потребують високого рівня автономності.

Основні переваги дизельних компресорів:

- висока надійність у різних умовах експлуатації;
- економічність — незважаючи на значну потужність, вони вирізняються низькою витратою палива;
- автономність — не потребують електроживлення;
- здатність працювати у складних погодних умовах, включно з низькими температурами;
- універсальність, адже підходять для виконання різноманітних видів робіт: від прокладання комунікацій до фарбувальних операцій.

### **Особливості ПКСД**

Пересувні Компресорні Станції Дизельні (ПКСД) характеризуються рядом експлуатаційних переваг:

- створюють стабільний потік стисненого повітря для пневматичних інструментів навіть у несприятливих кліматичних умовах;
- оснащені системами полегшеного запуску і прогріву у зимовий період;
- автоматичне регулювання продуктивності дозволяє працювати без постійної участі персоналу;

- забезпечують можливість швидкого переміщення робіт у потрібну зону без залучення додаткових підйомно-транспортних засобів.

Завдяки цим особливостям ПКСД заслужено користуються попитом як універсальне автономне джерело стисненого повітря. Їх використання дозволяє скоротити витрати, підвищити продуктивність праці та суттєво зменшити час виконання будівельно-ремонтних операцій.

## **2 ОГЛЯД ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ТА СТВОРЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРНИМИ СТАНЦІЯМИ**

### **2.1 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи**

Мікроконтролери (МК) сьогодні застосовуються практично у всіх галузях техніки, де необхідно виконувати завдання вимірювання, оброблення інформації та керування. Вони використовуються в електропобутовій техніці, вимірювальних приладах, засобах зв'язку, а також у складних системах управління - таких як автомобілі, авіаційні комплекси та промислові установки. Діапазон задач, що вирішуються за допомогою мікроконтролерів, надзвичайно широкий: від увімкнення світлової чи звукової сигналізації до виконання складних математичних алгоритмів, аналізу даних численних сенсорів та формування керуючих впливів на об'єкт керування.

Одними з найбільш популярних є мікроконтролери фірми Microchip, відомі під аббревіатурою PIC, які традиційно застосовують у системах контролю та оброблення даних. Проте за останні роки корпорація Atmel (США) активно розвиває лінійку мікроконтролерів на ядрі AVR, які мають вдосконалену архітектуру, підвищену швидкодію та знижене енергоспоживання. Завдяки цьому мікроконтролери AVR здобули суттєві переваги порівняно з PIC-пристроями.

Серед ключових переваг мікроконтролерів AVR слід відзначити:

- розвинену систему команд обсягом до 133 інструкцій;
- продуктивність, що досягає приблизно 1 MIPS на МГц тактової частоти;
- наявність flash-пам'яті з можливістю внутрішньо-схемного програмування;
- архітектурну оптимізацію під мови високого рівня, насамперед

мову C;

- виконання інструкцій за один такт, що у 4 рази швидше порівняно з PIC, де для однієї операції необхідно 4 такти.

Оскільки менша тактова частота безпосередньо знижує енергоспоживання, мікроконтролери AVR є ефективними у системах, де важливі низькі витрати енергії та автономність.

Серед великих світових виробників мікроконтролерів варто також виділити Texas Instruments, Dallas Semiconductor, Philips, STMicroelectronics, Mitsubishi Electronics тощо. Однак корпорація Atmel останніми десятиліттями посідає провідне місце у галузі сучасної мікроелектроніки. Заснована у 1984 році, вона орієнтує свої продукти на такі сфери застосування, як телекомунікаційні мережі, обчислювальна техніка, вбудовані системи контролю та керування, побутова техніка й автомобільна електроніка.

У зв'язку з широкою сферою застосування та технічними перевагами архітектури AVR, питання розробки програмного забезпечення та методів програмування мікроконтролерів AVR є актуальними і важливими в сучасній інженерній практиці.

### **Компілятори асемблера для мікроконтролерів AVR**

Вибір компілятора асемблера при розробці програмного забезпечення для мікроконтролерів не є критичним, оскільки процес компіляції — тобто перетворення вихідного коду в машинні інструкції — виконується досить однозначно. Відмінності між різними асемблерами, як правило, стосуються:

- можливостей механізмів обробки макрокоманд;
- наявності вбудованого текстового редактора або інтегрованого середовища розробки;
- підтримуваних операційних систем;
- інструментів налагодження та симуляції апаратних модулів.

### **AVR Studio (Atmel Studio)**

Одним із найзручніших середовищ для розробки ПЗ під мікроконтролери AVR є інтегроване середовище AVR Studio компанії Atmel.

Воно включає:

- текстовий редактор із підсвічуванням синтаксису;
- компілятор асемблера;
- симулятор;
- інструменти налагодження;
- модулі взаємодії з апаратними емуляторами.

Середовище працює під керуванням ОС Windows 7, 8, 10.

Переваги AVR Studio:

- підтримка практично всіх мікроконтролерів AVR;
- зручний інтерфейс;
- інтегровані засоби налагодження.

Недоліки:

- нестабільність роботи деяких компонентів налагоджувача;
- неповна симуляція периферійних модулів (наприклад, відсутня симуляція АЦП).

### **IAR AVR Assembler**

Компанія Atmel також поширює безкоштовний варіант асемблера IAR, який входить до складу професійного середовища IAR Embedded Workbench [16, 27]. До складу цього середовища входять:

- менеджер проектів;
- редактор коду;
- компілятор і лінкер;
- менеджер бібліотек.

Сильним боком даного компілятора є розширені можливості роботи з макромовою, що полегшує створення складних та гнучких програмних конструкцій.

### **GNU AVR Assembler**

Компілятор GNU/Linux AVR Assembler, повністю сумісний з асемблером Atmel, має низку переваг:

- відкритий вихідний код, що дозволяє користувачеві за необхідності

розширювати функціональність;

- можливість роботи під ОС Linux та легка портованість на інші Unix-системи;

- розширена підтримка макрокоманд (наприклад, вкладені макроси).

Програма розповсюджується за ліцензією GNU Public License (GPL) [2, 21, 27].

### **Компілятори мови C для мікропроцесорних систем**

У сучасній практиці розробки програмного забезпечення для мікропроцесорних систем (МПС) дедалі ширше використовуються компілятори мов високого рівня. Серед них найбільш поширені компілятори мови C, оскільки ця мова надає зручні інструменти для роботи з апаратними ресурсами мікроконтролера та дозволяє ефективно реалізувати низькорівневі керуючі алгоритми.

#### **IAR C Compiler**

Одним із найбільш потужних та якісних компіляторів мови C для сімейства AVR є компілятор фірми IAR. Його переваги полягають у:

- високому рівні оптимізації машинного коду;
- широкій підтримці мікроконтролерів AVR;
- наявності інтегрованого середовища IAR Embedded Workbench (EWB), яке включає компілятор, лінкер, менеджер проєктів, бібліотек, а також відлагоджувач.

Недоліком є значні обмеження на розмір програми в демонстраційній версії.

Компілятор сумісний з AVR Studio, що полегшує процес налагодження.

#### **ImageCraft C Compiler**

Другим за популярністю компілятором мови C для AVR є ImageCraft C Compiler [5, 14, 16]. Його ключові переваги:

- підтримка мікросхем сімейства FPSLIC фірми Atmel;
- збалансований рівень оптимізації коду;
- доступна вартість;

- повнофункціональна демо-версія, обмежена лише 30-денним терміном роботи.

### CodeVision AVR C Compiler

Ще один популярний інструмент — CodeVision AVR, який підтримує широкий спектр мікроконтролерів, включно з ATTiny22, AT90S23x3, AT90S4433 та багатьма іншими [5, 27]. Демоверсія також має обмеження на максимальний розмір вихідного коду.

До складу середовища входить унікальна функція CodeWizard AVR Automatic Program, яка є генератором типових модулів програми та значно спрощує конфігурацію апаратних ресурсів МК. Зокрема, CodeWizard автоматизує:

- налаштування портів введення/виведення;
- ініціалізацію зовнішніх та внутрішніх переривань;
- конфігурацію таймерів та сторожового таймера;
- налаштування UART, I<sup>2</sup>C, SPI;
- ініціалізацію АЦП, аналогового компаратора;
- роботу з температурними датчиками LM75, DS1302, DS1307;
- реалізацію протоколу 1-Wire і підтримку датчика DS1820;
- керування LCD-індикаторами.

Середовище містить також послідовний термінал, що дає змогу налагоджувати програми через UART.

### Компілятори інших мов програмування

Окрім C, для AVR доступні компілятори мов Basic, Pascal та Forth [5, 21, 27].

### **Basic-компілятори**

- BASCOM-AVR (MCS Electronics) — один із найпопулярніших компіляторів Basic. Його демоверсія обмежена максимальним розміром коду. Синтаксис значною мірою сумісний із VisualBasic/QuickBasic, доповнений специфічними командами для:

- LCD,

- I<sup>2</sup>C та 1-Wire інтерфейсів,
- обробки переривань,
- роботи з периферією МК.
- ABC Basic Compiler (Investments Technologies PTY) дозволяє створювати та налагоджувати програми мовою Basic в інтегрованому середовищі під Windows і DOS.

#### MicroBasic та MikroPascal

Це повнофункціональні інтегровані середовища, орієнтовані на зручність роботи з AVR. Вони дозволяють:

- писати код мовами Basic або Pascal;
- використовувати потужні бібліотеки для роботи з пам'яттю, периферією, індикаторами, інтерфейсами;
- переглядати структуру програми, змінні та функції в реальному часі;
- автоматично генерувати коментований, читабельний код, сумісний із HEX-файлами будь-яких програматорів.

## **2.2 Розгорнута постановка завдання**

Відповідно до технічного завдання кваліфікаційної магістерської роботи передбачено розробка системи управління мікропроцесорної системи керування промисловими компресорами

У межах виконання проекту необхідно реалізувати такий комплекс робіт:

а) Аналіз існуючих систем-аналогів. Провести детальне дослідження наявних рішень, визначити їх сильні та слабкі сторони, а отримані результати врахувати під час формування технічних і програмних рішень майбутньої системи.

б) Обґрунтування методики створення системи автоматизованого контролю.

Вибрати методологію побудови системи контролю роботи технологічного обладнання в автоматизованому режимі. Розробити функціональну схему та структурну схему запропонованої системи.

с) Розроблення програмного забезпечення. Створити програмне забезпечення мікропроцесорної системи, що реалізує всі функції, визначені технічним завданням. Розробити блок-схеми алгоритмів основної програми та окремих підпрограм.

d) Створення користувацького інтерфейсу. Організувати інтерфейс взаємодії з користувачем, забезпечивши формування та відображення повідомлень про помилки, некоректні дії, а також номінальні та аварійні ситуації в роботі обладнання.

е) Підготовка рекомендацій щодо впровадження системи. Розробити організаційні й методичні заходи, які забезпечать ефективне впровадження системи в промислові умови та її подальшу надійну експлуатацію.

f) Підбиття підсумків. Сформувані висновки щодо виконаного обсягу робіт, ефективності запропонованих рішень та отриманих результатів.

### **2.3 Опис функціонування системи**

Компресор складається з картера, пари циліндрів і головки блока. Усередині розташований кривошипно-шатунний механізм, до якого входять колінчастий вал, шатуни та поршні. Кожен поршень оснащено двома компресорними та маслознімними кільцями. У верхній частині циліндрів, у клапанній плиті, що відокремлює їх від головки блока, встановлено по два клапани: впускний і випускний. Простір усередині головки блока розділений перегородкою на дві порожнини — всмоктувальну та нагнітальну. Зовнішня частина компресора має охолоджувальні ребра.

Під час роботи, коли поршень рухається вниз, у циліндрі виникає розрідження. У цей момент під дією атмосферного тиску відкривається впускний клапан, і повітря надходить у циліндр. Коли поршень підіймається,

повітря стискується, і впускний клапан щільно закривається. Під час наступного ходу поршня стиснуте повітря тисне на нагнітальний клапан, той відкривається, і повітря через трубопровід надходить у ресивер.

Ресивер служить для накопичення запасу повітря, зменшення пульсацій та часткового очищення його від масла й водяної пари. Внизу ресивера розташований спускний кран для періодичного видалення конденсату. З ресивера повітря прямує до маслотовологовіддільника, де проходить остаточне очищення. Усередині маслотовологовіддільника розміщені кільця Рашига, на яких осаджуються краплини води й масла. Конденсат повертається в ресивер. Після цього очищене стиснуте повітря подається через шланги до двох кранів зі штуцерами, встановленими на маслотовологовіддільнику.

**Технічна характеристика компресорної лінії:**

Подача одного компресора, м <sup>3</sup> /хв .....	1,5
Робочий тиск, МПа.....	1,0
Кількість циліндрів, шт.....	2
Об'єм ресивера, м <sup>3</sup> .....	7,5
Частота обертання колінчастого вала, хв <sup>-1</sup> .....	730
Електродвигуни:	
потужність, кВт .....	15
напруга, В .....	220/380

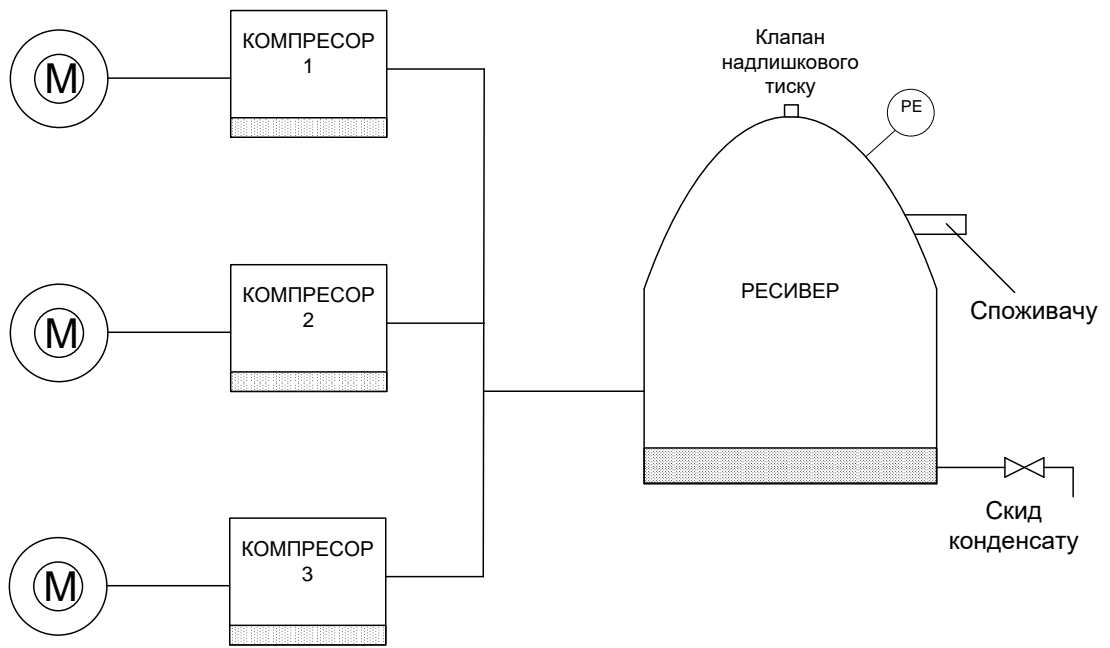


Рисунок 2.1 - Загальний вид компресорної лінії.

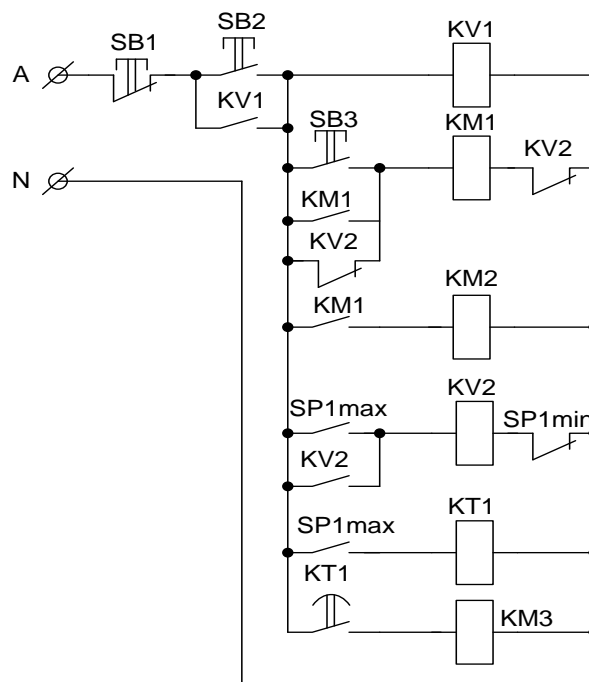


Рисунок 2.2 - Схема електрична принципова

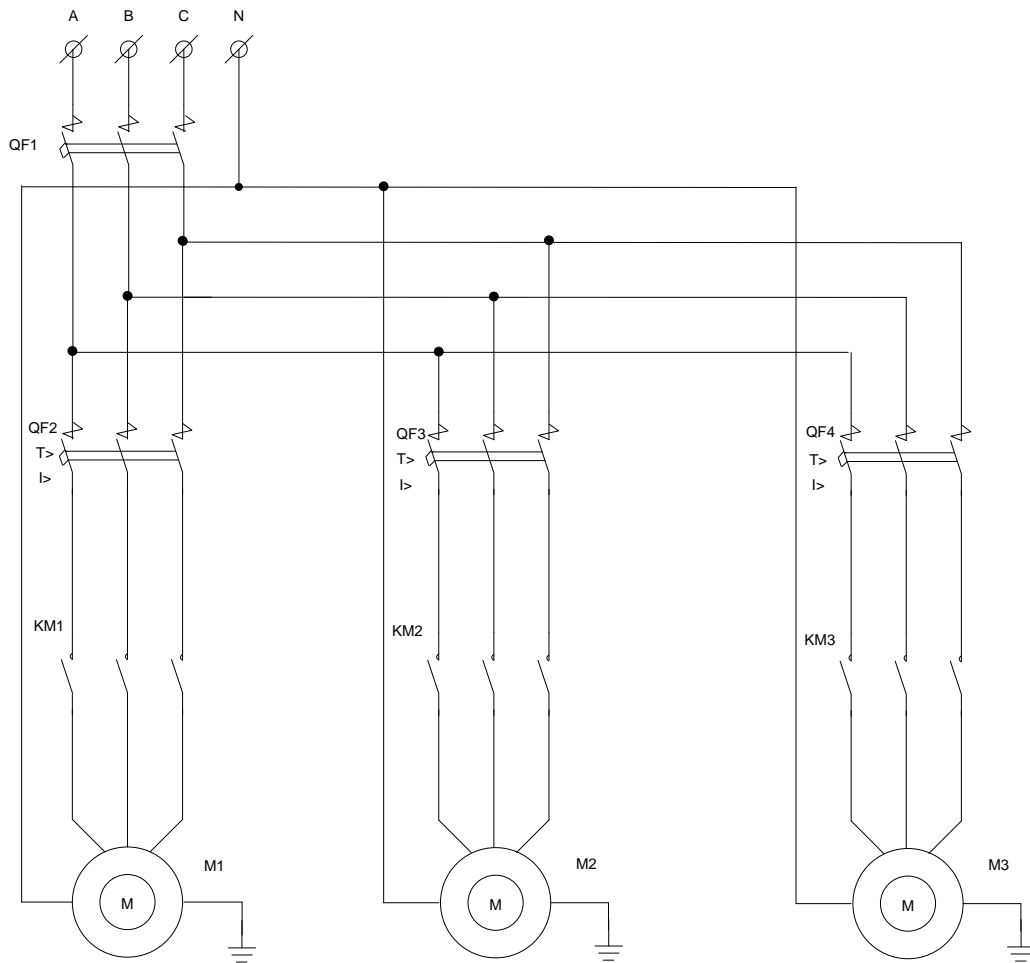


Рисунок 2.3 - Схема електрична силова

Система керування працює за таким принципом: після натискання кнопки SB2 схема фіксується в режимі роботи, і одночасно запускається електродвигун першого компресора, а згодом - другого. Оператор регулює тиск, використовуючи кнопки керування відповідно до показів манометра. Якщо ж тиск, створюваний двома компресорами, не досягає необхідного рівня для технологічного процесу, оператор натискає кнопку SB3, вмикаючи третій компресор. Це забезпечує можливість довести систему до потрібного робочого тиску.

## 2.2 Розробка структурної схеми

Мікропроцесорний пристрій системи керування компресорною станцією

є функціонально завершеним технічним модулем, що представляє собою конструктивне поєднання кількох електронних схем. До його складу входить один або кілька мікропроцесорів, а основним призначенням пристрою є приймання, обробка, передавання, перетворення інформації та керування технологічними процесами системи.

Для мікропроцесорних пристроїв характерна шинна організація, тобто всі компоненти під'єднуються до системної шини - набору провідників, що забезпечують зв'язок між елементами системи [1]. Лінії системної шини мають визначену спрямованість: шина даних є двонаправленою, шина адрес - односпрямованою, а лінії керування мають індивідуальні напрямки передачі сигналів. Оскільки всі виводи компонентів під'єднані до спільної шини, вони повинні підтримувати третій стан - режим високого вихідного опору, окрім звичайних логічних рівнів 0 і 1.

### **Основні елементи МПС**

Мікропроцесор у складі пристрою виконує основні обчислювальні й керувальні функції.

Тактовий генератор формує синхронізуючі імпульси, необхідні для роботи мікропроцесора та інших модулів. Синхроімпульси мають амплітуду 12 В, відрізняються частотою й зсувом фаз. Мікросхема КР580ГФ24, що виконує роль тактового генератора, також бере участь у прийманні та видачі керуючих сигналів системної шини.

Постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) призначений для довготривалого зберігання даних і програм. У даному випадку в ПЗП міститься програма роботи цифрового фільтра та його постійні коефіцієнти.

Оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) використовується для тимчасового зберігання інформації, необхідної під час обчислень. Він формує керуючі сигнали відповідно до станів МП під час звернення до пам'яті (RD і WR), а також до пристроїв введення-виведення (RDIO, WRIO, INTA). ОЗП забезпечує передавання 8-розрядних даних між каналом мікропроцесора (D7–D0) та системною шиною (DB7–DB0). Його структура включає двонаправлений

буфер даних, регістри стану та дешифратори керуючих сигналів.

У даному мікропроцесорному пристрої ППІ використовується для обміну даними між мікропроцесором та зовнішніми модулями — АЦП і ЦАП. До складу МП-пристрою також входять допоміжні компоненти, такі як буферний регістр для організації переривань RST 7, окремі логічні елементи та дешифратори.

Структурна схема можливої реалізації проектного МП-пристрою наведена на рисунку 2.4. Вона включає такі основні блоки:

- МП - мікропроцесор;
- ПЗП - постійний запам'ятовуючий пристрій;
- ТГ - тактовий генератор;
- ОЗП - оперативний запам'ятовуючий пристрій;
- СК - системний контролер;
- АЦП - аналого-цифровий перетворювач;
- ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач;
- ДШП - дешифратор адрес пам'яті;
- ДШВ/В - дешифратор адрес пристроїв введення-виведення.

Системна шина МП-пристрою поділяється на три функціональні лінії:

- ШД - шина даних;
- ША - шина адрес;
- ШК - шина керування.

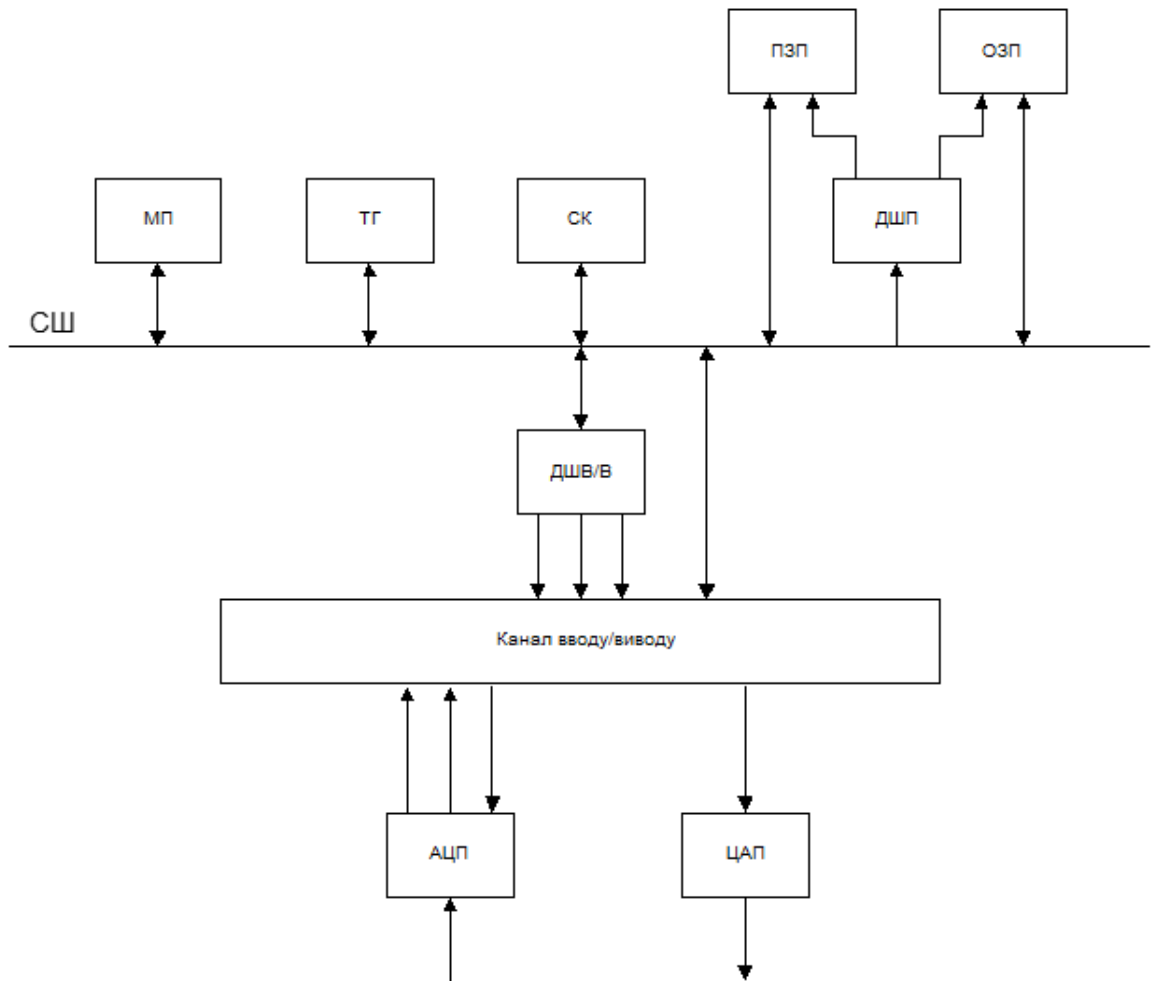


Рисунок 2.4 - Структурна схема мікропроцесорної системи

Із поданої схеми видно, що система має дворівневу структуру - верхній і нижній рівні. На нижньому рівні основними елементами виступають датчики, частотний перетворювач і контролер, який забезпечує керування обладнанням та обмін даними з верхнім рівнем. Верхній рівень представлений персональним комп'ютером із встановленим спеціально розробленим програмним забезпеченням.

## 2.5 Розробка функціональної схеми

На рисунку 2.5 подано функціональну схему системи, яку нижче розглянуто детальніше. Мікропроцесорна система включає такі основні блоки:

- процесор (ЦПУ) - головний елемент системи, що виконує команди,

обробляє дані та керує роботою всіх інших модулів.

- оперативна пам'ять (ОЗП) - модуль, призначений для тимчасового зберігання даних і проміжних результатів, необхідних процесору під час виконання операцій.

- периферійні пристрої - блок, що забезпечує взаємодію мікропроцесорної системи з зовнішнім середовищем. До нього можуть входити клавіатура, миша, дисплей, принтер, модем та інші засоби обміну інформацією.

- датчики - елементи контролю, які забезпечують вимірювання та передавання параметрів роботи системи.

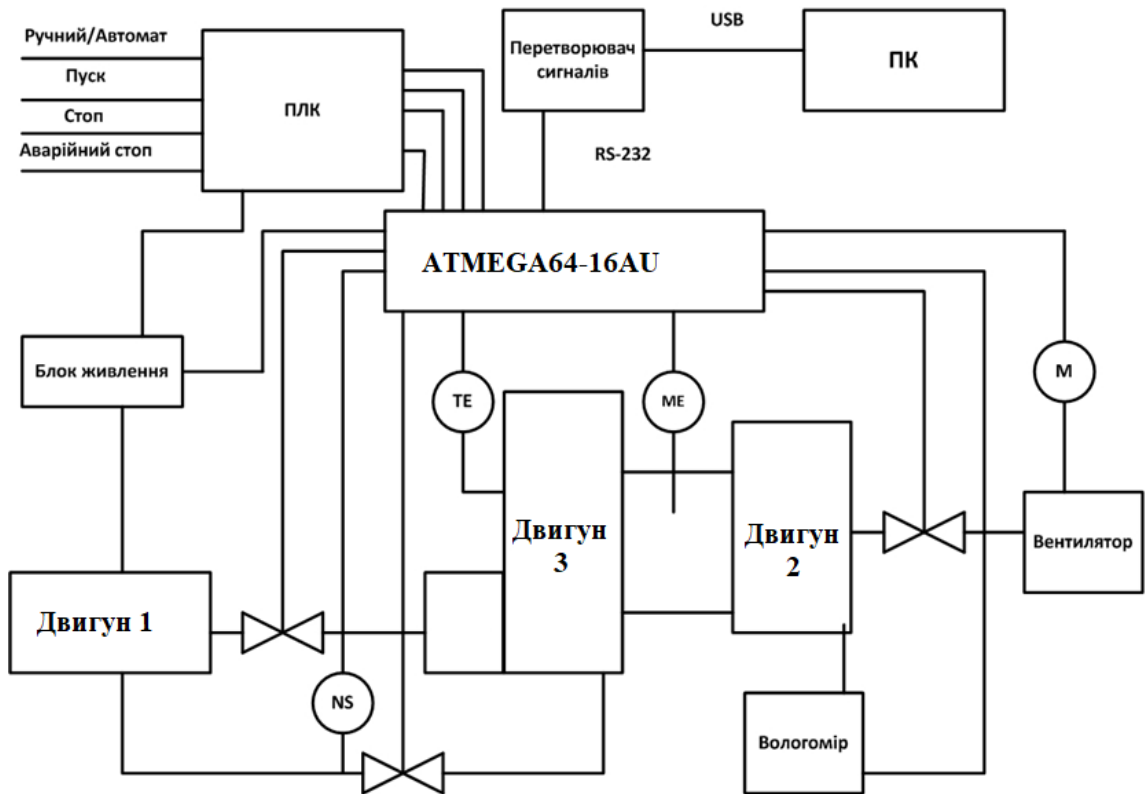


Рисунок 2.5 – Функціональна схема системи

### Розробка діаграми процесів

Розглянемо розроблену діаграму процесів, подану на рисунку 2.6. Основне призначення такої діаграми полягає в графічному відображенні

структури та взаємозв'язків між сукупностями даних, де підкреслюється співвідношення між різними компонентами кожної сукупності. Склад статистичної сукупності може бути поданий графічно як у вигляді абсолютних, так і відносних показників. Використання обох підходів дає змогу глибше проаналізувати структуру даних та підвищити ефективність оцінки функціонування системи.

Діаграма взаємодії процесів слугує інструментом для візуалізації сценаріїв обробки даних та застосовується під час структурного проектування системи.

Зазвичай проєктувальник починає з побудови діаграми контекстного рівня, яка демонструє загальну взаємодію системи з зовнішніми сутностями. Надалі ця діаграма поступово уточнюється шляхом деталізації процесів і потоків даних, що дозволяє отримати повне уявлення про функціонування проєктованої системи.

При детальному аналізі діаграми можна простежити послідовність взаємодій у створеній системі. В її основі використано модель графічного відображення «потоків» даних, характерну для інформаційних систем.

Діаграми потоків даних зазвичай містять такі основні елементи:

- зовнішні сутності, що взаємодіють із системою;
- потоки даних, які передають інформацію між елементами;
- процеси, що виконують трансформацію або обробку даних у межах системи;
- сховища даних (репозиторії), де дані зберігаються тривалий час.

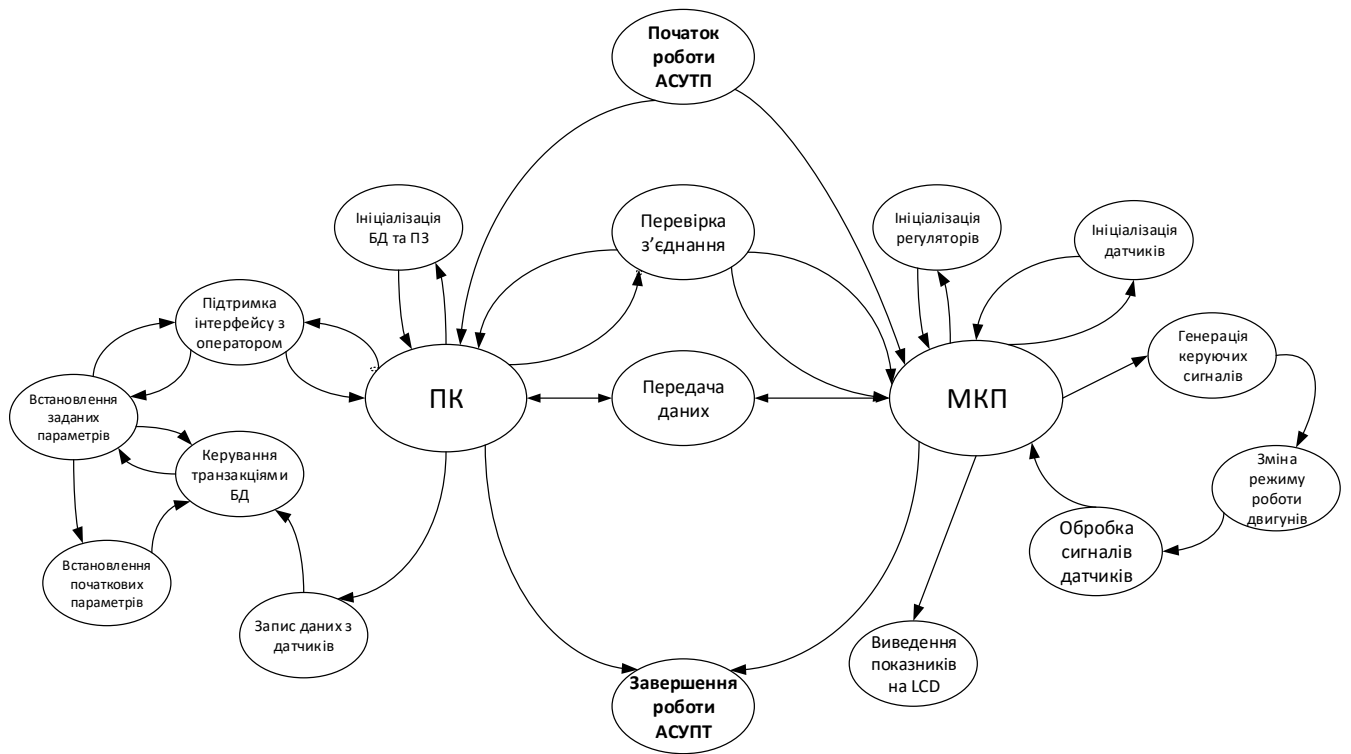


Рисунок 2.6 – Діаграма взаємодії процесів

Отже, після розгляду загального опису системи, а також її структурної та функціональної схем і діаграми взаємодії процесів, можемо перейти до детального опису блок-схем основної програми та підпрограм, що застосовуються для реалізації роботи системи.

### **3 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ**

#### **3.1 Реалізації автоматизованої системи керування**

У процесі виконання даної магістерської кваліфікаційної роботи було створено автоматизовану систему керування роботою компресорної станції.

Під час детального аналізу принципу функціонування та конструкції пневмостанції було виявлено низку недоліків, зокрема: невисоку точність роботи, відсутність контролю робочих і аварійних режимів, а також нестачу можливостей для гнучкого налаштування обладнання та контролю ключових технологічних параметрів.

У зв'язку з цим основними напрямками модернізації та автоматизації компресорної установки є:

- Оптимізація роботи компресорної системи.
- Контроль стану електродвигунів та роботи компресорів.
- Моніторинг рівня мастила в картерах компресорів та наявності конденсату в ресивері.
- Реалізація аварійної сигналізації та індикації стану всієї маслостанції.
- Розробка програмного забезпечення для керування роботою компресорної станції.

Розробка модуля теплового контролю електродвигунів

Контроль роботи електродвигунів і компресорів має забезпечуватися шляхом постійного моніторингу їх теплових режимів. Для цього доцільно використовувати датчики температури. З огляду на простоту монтажу та високу надійність оптимальним варіантом є застосування термометрів опору.

Термометр опору - це температурний датчик, принцип роботи якого

ґрунтується на вимірюванні опору попередньо відкаліброваного металевого провідника (переважно мідного або платиного). Найпоширенішими у промисловості є градування 50П, 50М, 100М і 100П. Старіші стандарти (21 та 23) зараз практично не застосовуються. Найвищу точність та довготривалу стабільність забезпечують платинові термометри опору.

Найбільш поширені моделі:

- РТ100 — опір при 0 °С становить 100  $\Omega$
- РТ1000 — опір при 0 °С становить 1000  $\Omega$

(відповідають стандарту ІЕС 751)

Опір таких сенсорів змінюється практично лінійно з температурою в позитивному діапазоні і підкоряється квадратичному закону при негативних температурах. Робочий температурний діапазон становить від  $-200$  до  $+800$  °С, що дозволяє застосовувати їх у промислових умовах для точного теплового контролю двигунів.

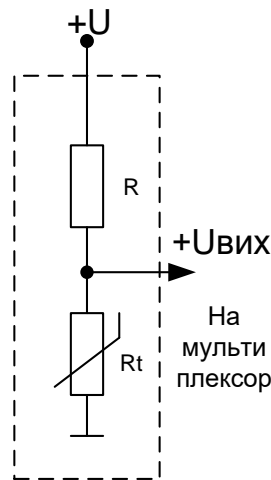


Рисунок 3.1 - Схема підключення датчика температури

Для підключення температурних датчиків у системі використано мультиплексор типу КР531КП2. Ця мікросхема являє собою здвоєний селектор-мультиплексор «1 із 4» із загальними входами вибору каналу та окремими входами стробування.

Принцип роботи полягає в тому, що мультиплексор має чотири вхідні лінії та один вихід. На керуючі входи S1 та S2 подається відповідна логічна

комбінація, яка визначає, з якого саме входу сигнал буде передано на вихід - залежно від високого або низького рівня сигналу.

У проєктованій схемі використовується лише один канал селектора мультиплектора, тому для реалізації необхідної кількості входів застосовано дві мікросхеми КР531КП2.

Сдвоенный цифровой селектор-мультиплексор 4-1

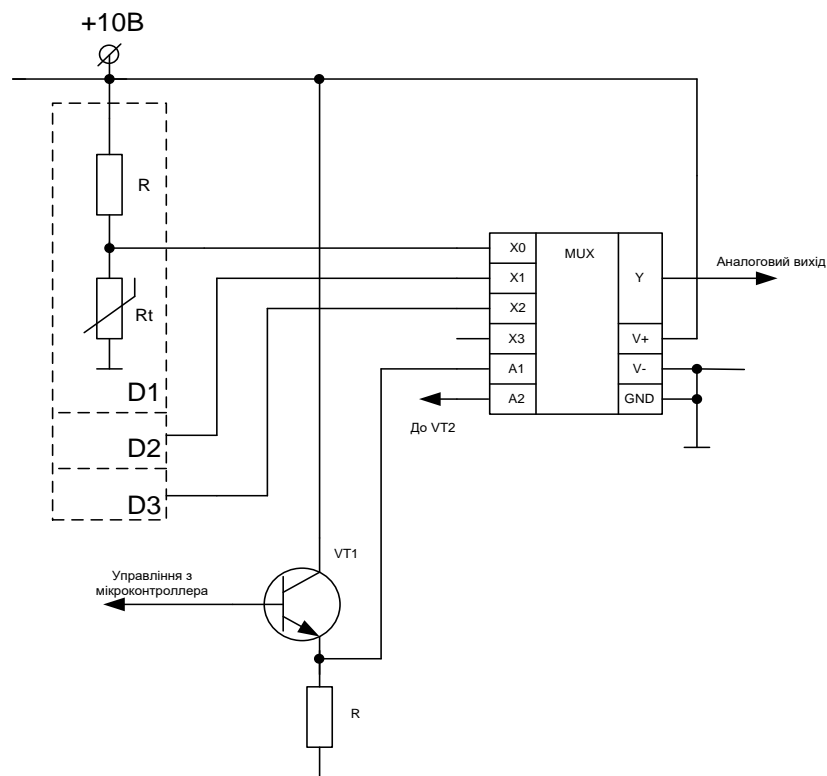
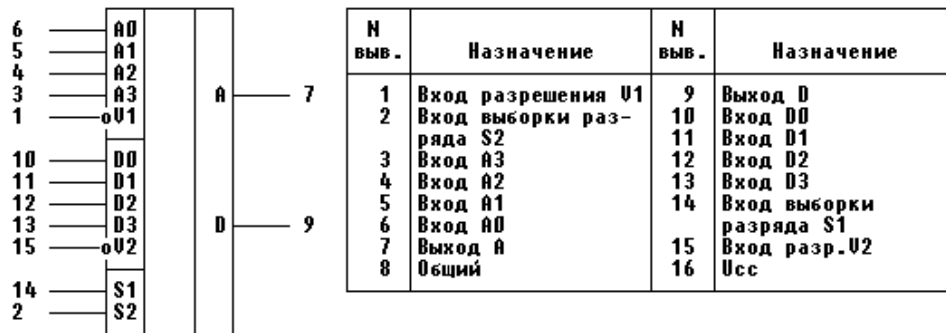


Рисунок 3.2 - Схема підключення мультиплектора

Однією з умов коректної роботи мультиплектора є те, що на його керуючі входи S1 та S2 повинні подаватися логічні рівні з амплітудою, яка

відповідає напрузі живлення мікросхеми. Напруга живлення, у свою чергу, має дорівнювати максимальній напрузі сигналу з датчика, але не перевищувати допустимий для мікросхеми рівень.

Саме тому в схемі застосовано транзисторну розв'язку: вона дозволяє перетворити 5-вольтові керуючі сигнали від мікроконтролера на необхідні 10 В, забезпечуючи правильне й безпечне керування мультиплексором.

### **Розробка системи контролю рівня мастила в картерах та системи захисту від короткого замикання**

Для забезпечення надійної та тривалої роботи компресорів необхідно здійснювати контроль рівня мастила в картерах - зокрема, стежити за мінімально допустимим його значенням у баку живильника. Також важливим є моніторинг рівня конденсату в ресивері.

Для реалізації цього контролю потрібні датчики, які виконуватимуть функції сигналізації та автоматичного регулювання роботи вузла. Вони повинні за допомогою своїх контактів взаємодіяти зі схемою керування, формуючи відповідні команди.

Для контролю та сигналізації рівня планується використовувати акустичні датчики граничного заповнення типу LP-T50-UP6X3-N1151 виробництва TURCK, які забезпечують надійне визначення граничного рівня робочих середовищ.

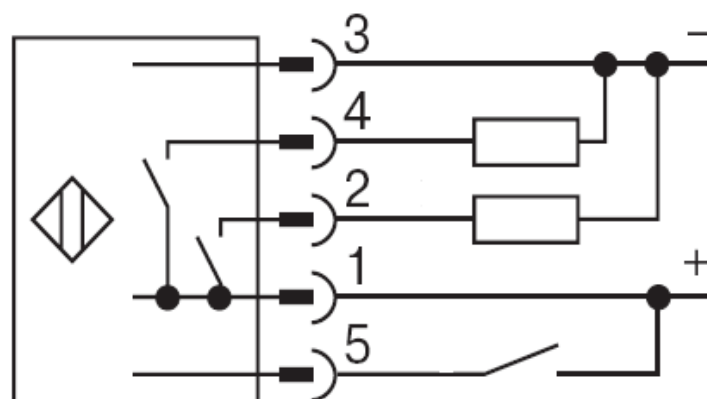


Рисунок 3.3 - Схема підключення датчика рівня

Контакти клемника датчика:

4 – головний вихід;

2 – додатковий вихід;

3 – корпус(мінус);

1 – живлення.

У схемі керування використовуватимуться лише контакти №3 і №4 датчика, а також контакти для підведення живлення.

Для контролю тиску в пневматичній системі доцільно застосувати мембранний принцип вимірювання, оскільки він забезпечує високу точність, надійність і є одним із найпоширеніших у промислових застосуваннях.

Як датчик тиску обрано модель PA9020, яка підтримує робочий тиск до 400 бар та формує аналоговий вихідний сигнал 0...10 В, що дозволяє безпосередньо інтегрувати його в систему керування.

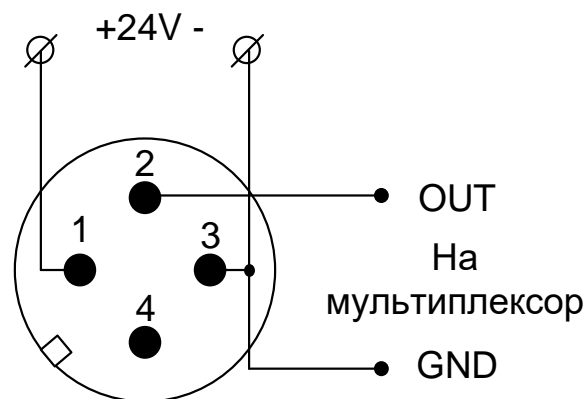


Рисунок 3.4 - Електрична схема підключення датчика

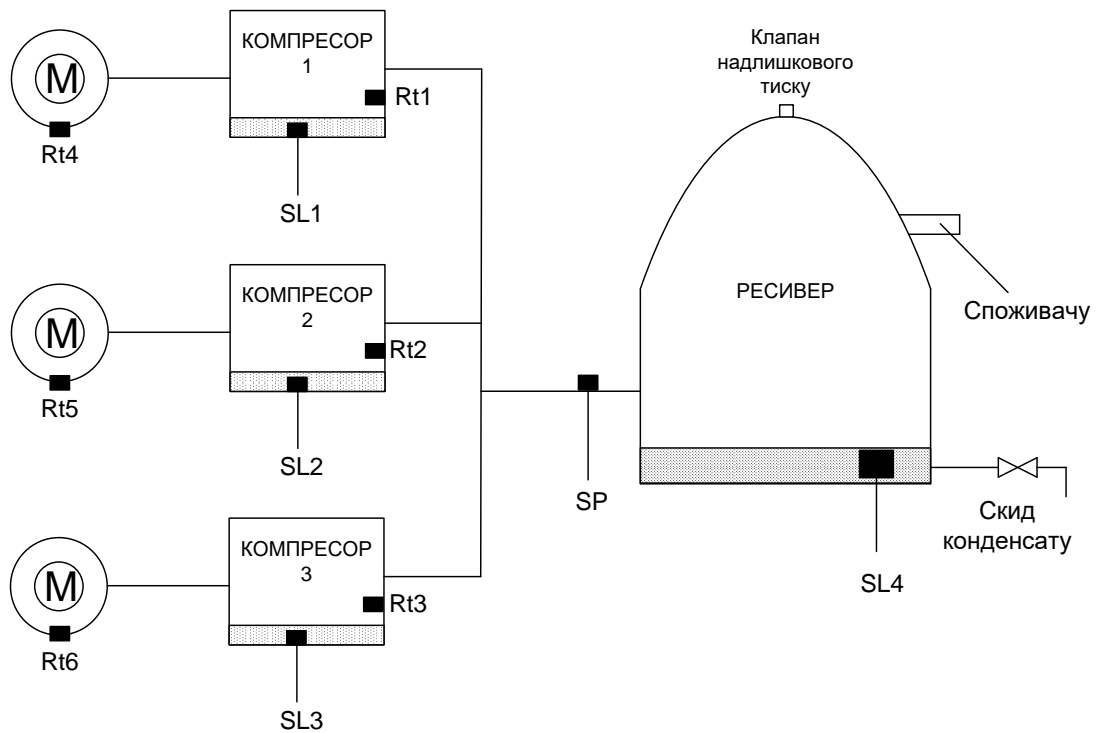


Рисунок 3.5 - Схема розміщення датчиків на компресорній станції

Оскільки силова частина системи вже захищена автоматичними вимикачами, додатковий захист від короткого замикання передбачається реалізувати шляхом підключення контактів автоматів до логічних мікросхем керувальної схеми. За таким же принципом буде підключено й реле контролю напруги.

Спрацювання цих елементів фіксуватиметься електричною схемою захисту, яка, у свою чергу, активуватиме відповідний алгоритм роботи мікроконтролера:

- у разі аварійного відключення одного з двигунів контролер автоматично запускатиме інший робочий двигун;
- при зникненні однієї з фаз силова схема відключатиметься, а система вмикатиме відповідну світлову індикацію.

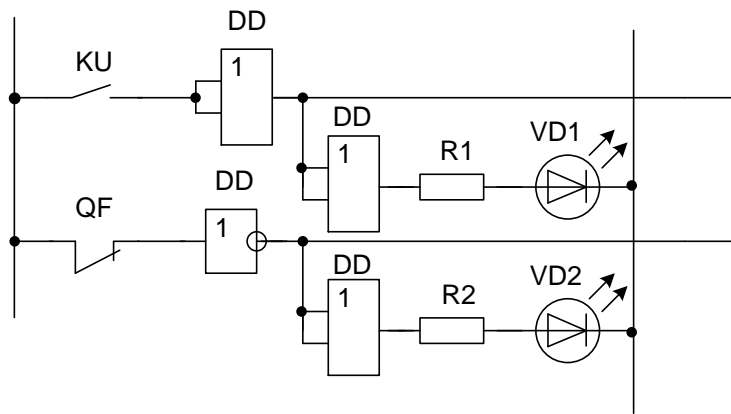


Рисунок 3.6 - Схема сигналізації аварійних режимів

Розробка автоматизованої системи керування на базі мікропроцесора

У системі передбачається керування двигунами за допомогою симісторів, а також застосування елементів керування на інтегральних мікросхемах із гальванічним узгодженням через оптрони.

Технічні параметри обладнання:

- кількість ресиверів - 1 шт;
- об'єм ресивера - 12 м<sup>3</sup>;
- робочий тиск на виході -  $10 \pm 0,1$  атм;
- кількість компресорів - 3 шт.

Система повинна забезпечувати такі види захисту:

- від короткого замикання в силовій схемі;
- від обриву фаз;
- від критично низького рівня масла в картерах компресорів;
- від аварійної температури на виході компресорів;
- від перевищення рівня конденсату в ресивері;
- автоматичний скид конденсату з ресивера.

Принципова електрична схема має забезпечувати повністю автоматичний режим роботи, включно з автоматичним запуском компресорів при падінні тиску нижче встановленого рівня до моменту його відновлення до нормативного значення.

## Розробка та розрахунок циклограми роботи виконавчих механізмів

Відповідно до принципової електричної схеми, при значному зниженні вихідного тиску в пневмосистемі компресори повинні вмикатися автоматично, а у разі виходу з ладу одного з електродвигунів система повинна автоматично запускати інший робочий двигун для забезпечення безперервності процесу.

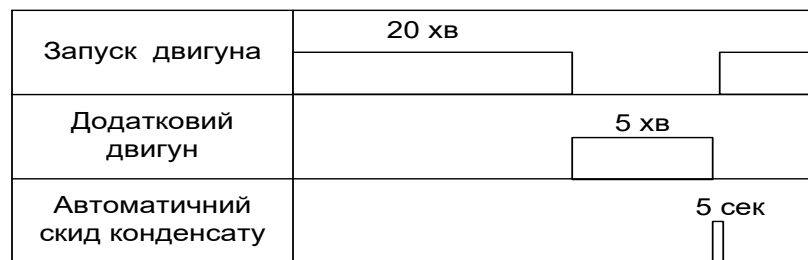


Рисунок 3.7 – Циклограма роботи двигуна компресора

## Розробка циклограми вхідних і вихідних елементів

Вхідні елементи системи:

- SB1 – кнопка аварійної зупинки (загальний «СТОП»);
  - SB2 – кнопка перевірки технічного стану обладнання;
  - SB3 – кнопка запуску системи керування;
  - SP – датчик контролю тиску;
  - SL1...SL3 – датчики рівня мастила в картерах компресорів;
  - SL4 – датчик рівня конденсату в ресивері;
  - QF2 – автоматичний вимикач, що сигналізує про несправність двигуна M1;
  - QF3 – автоматична індикація несправності двигуна M2;
  - QF4 – автоматичний вимикач несправності двигуна M3;
  - KU – реле контролю напруги.
- Вихідні елементи системи:
- VS1–VS3 – силові ключі (симісторні приводи) керування двигуном M1;
  - VS4–VS6 – приводи керування двигуном M2;

- VS7–VS9 – приводи керування двигуном МЗ;
  - YA1 – електромагнітний клапан автоматичного скидання конденсату.
- конденсату.

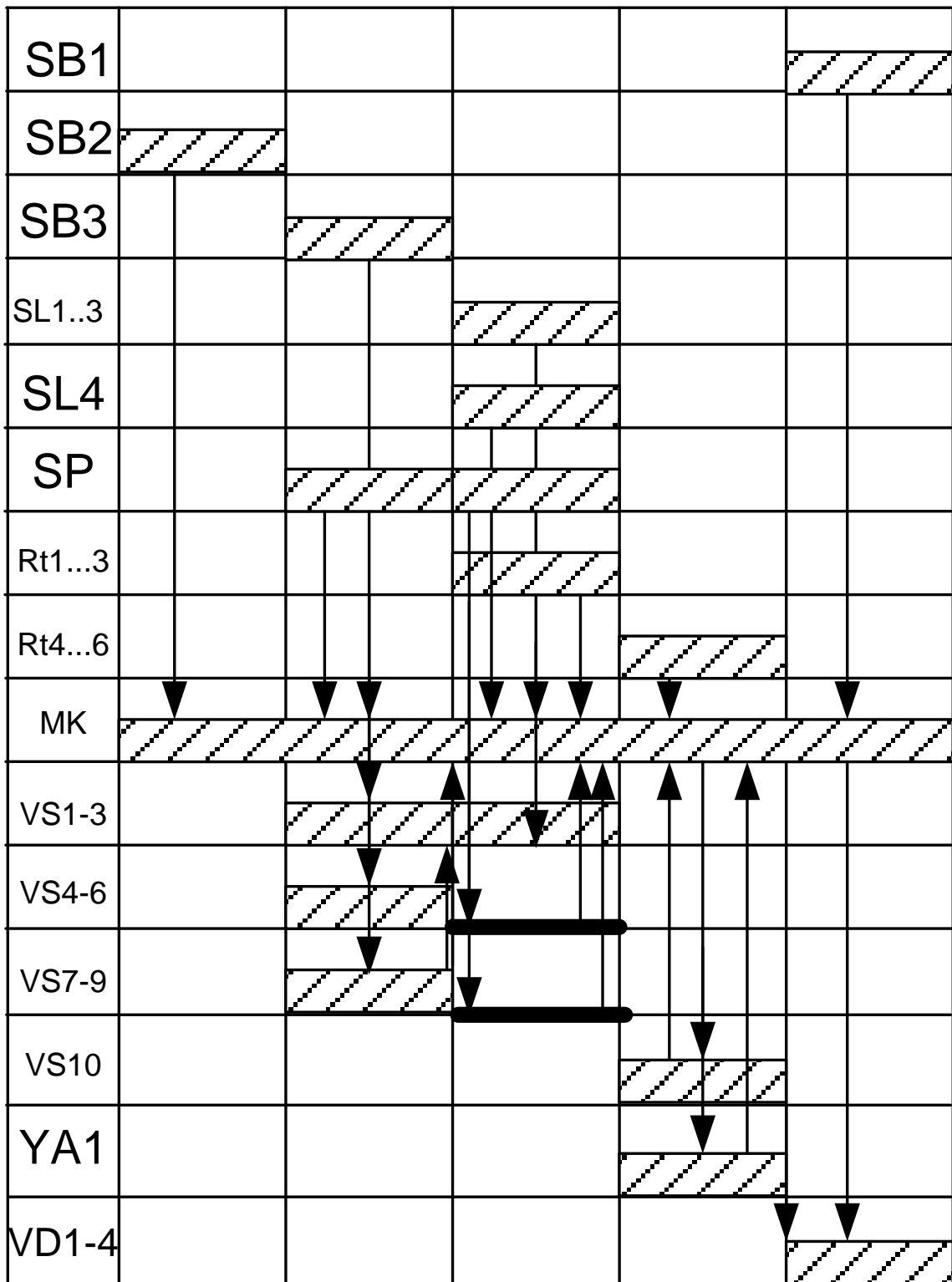


Рисунок 3.8- Циклограма вхідних та вихідних елементів

## **Розробка принципової електричної схеми**

Принципова електрична схема системи складається з мікроконтролера, двох АЦП та двох мультиплексорів, які разом формують блок контролю та керування технологічними параметрами. Мікроконтролер у програмному режимі здійснює опитування всіх датчиків, подаючи керуючі сигнали на входи А1 та А2 мультиплексорів. До їхніх входів підключаються аналогові температурні датчики та аналоговий датчик тиску.

### **Принцип роботи схеми**

1. Підготовка системи до запуску. Перед запуском оператор натискає кнопку SB2, яка ініціює перевірку стану обладнання та переводить систему у режим очікування.

2. Запуск системи. Для старту оператор натискає кнопку SB3. Після цього алгоритм мікроконтролера активує всі двигуни, які працюють до досягнення необхідного робочого тиску. Коли тиск на виході досягає норми, двигуни вимикаються й далі підтримують тиск за релейним принципом.

3. Підтримання робочого тиску. У міру падіння тиску система автоматично вмикає стільки компресорів, скільки необхідно для стабілізації параметра.

4. Резервування при відмові двигуна. У випадку виходу з ладу одного з електродвигунів система автоматично запускає інший робочий двигун. Несправний агрегат можна обслуговувати, не зупиняючи роботу всієї компресорної станції.

5. Контроль температури. Температура двигунів і компресорів постійно контролюється:

- при перевищенні допустимого рівня система перемикає роботу на інший двигун,
- агрегат із підвищеною температурою переводиться в режим охолодження або на технічне обслуговування.

6. Аварійні режими.

- при КЗ або серйозній несправності спрацьовує автоматичний вимикач (QF), а система індикує аварію за допомогою світлодіода.
- у цьому випадку система переходить на резервний двигун.
- у разі обриву фази робота силового блоку стає неможливою, тому він автоматично вимикається з метою захисту обладнання.

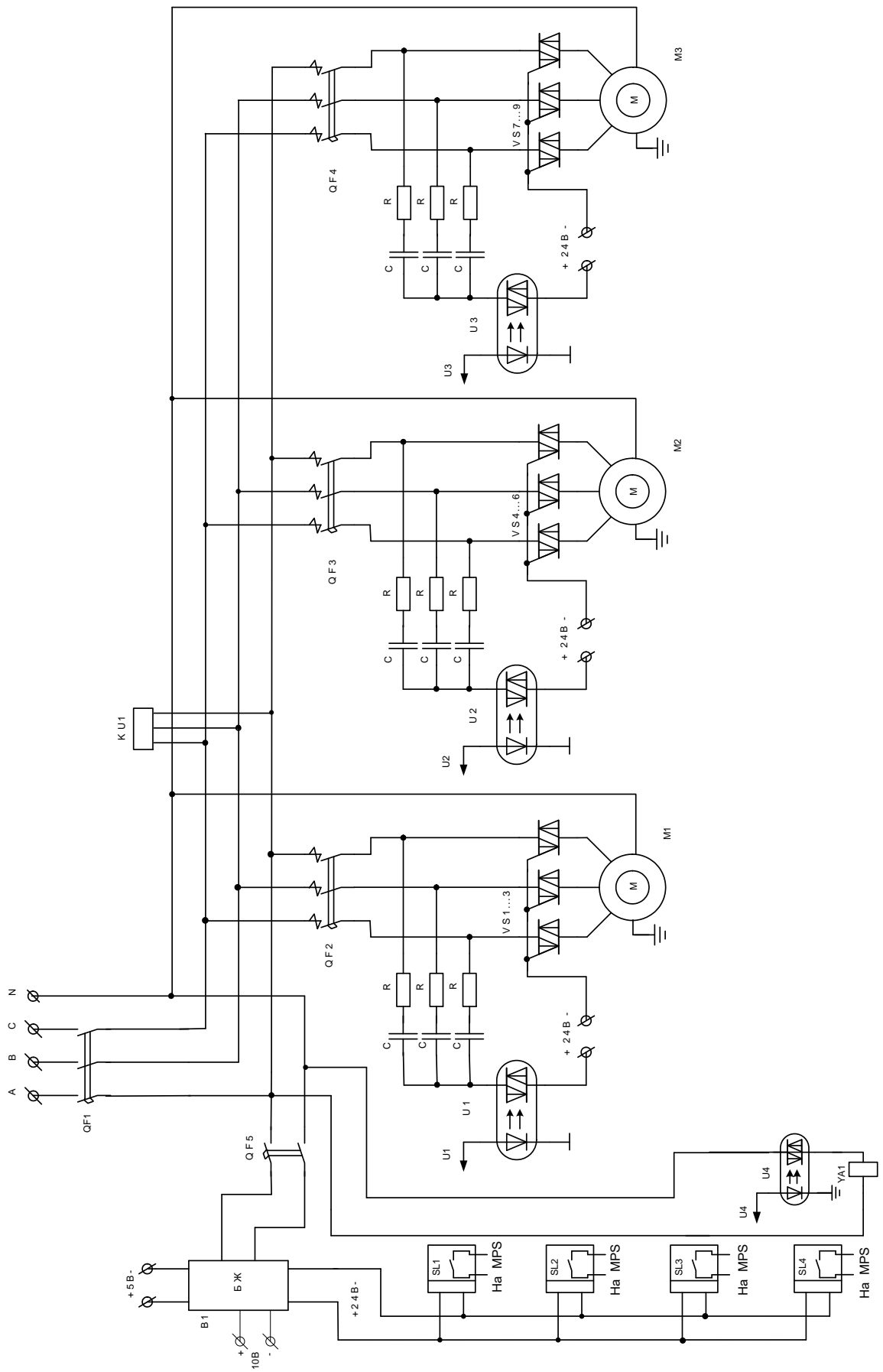


Рисунок 3.9 - Схема електрична принципова силова

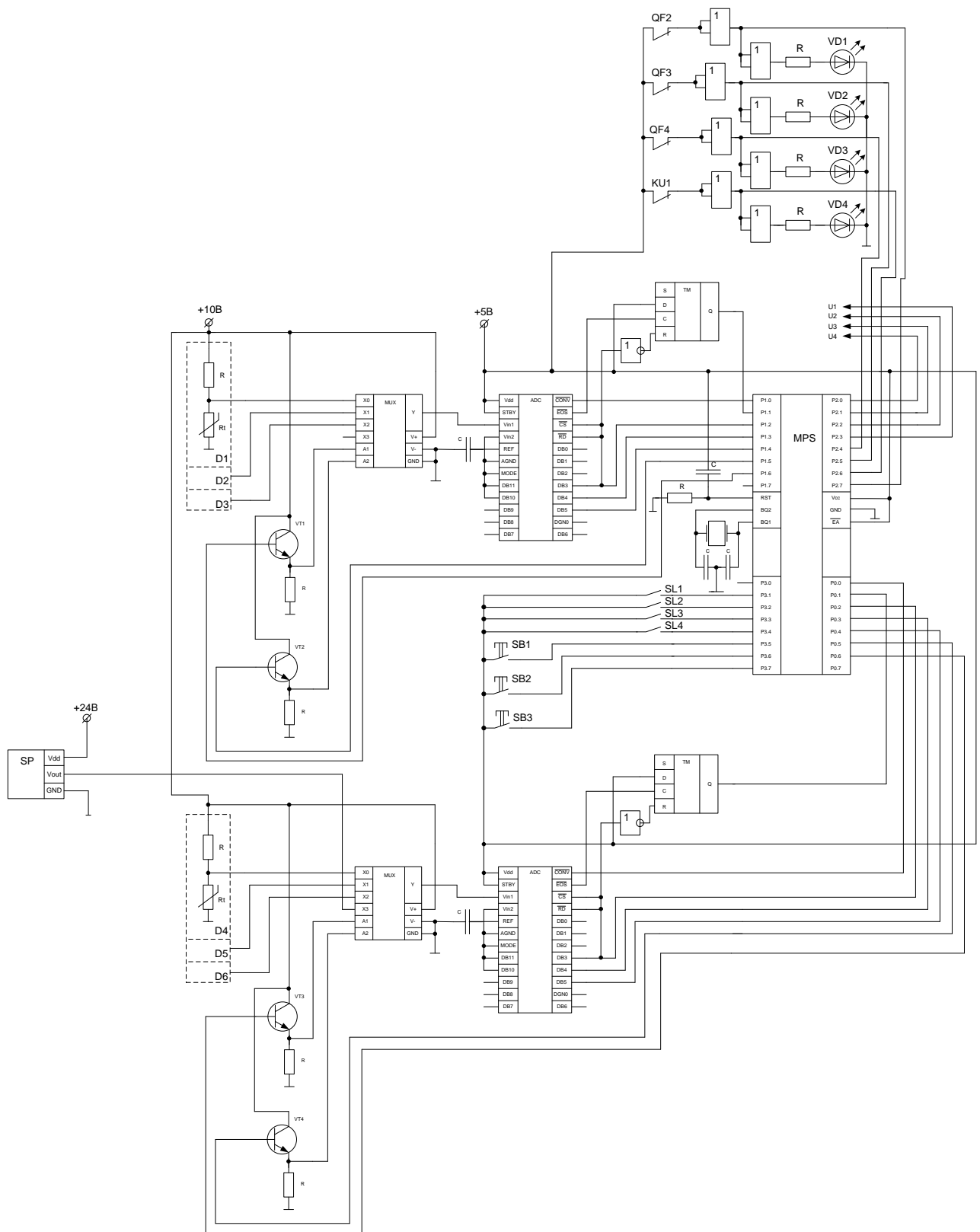


Рисунок 3.10 - Схема електрична принципова управління

## Розрахунок надійності системи

Ефективне функціонування складних радіоелектронних систем неможливе без впровадження спеціальних заходів, спрямованих на підвищення їхньої надійності та оптимізацію умов експлуатації. У сучасній технології проектування радіоелектронних засобів забезпечення надійності розглядається як невід'ємна частина процесу створення виробу. Такий підхід дозволяє підвищити готовність, довговічність і ремонтпридатність систем, а також акцентує увагу на найбільш уразливих з точки зору надійності компонентах.

Розрахунок показників надійності окремих радіоелементів проводиться на основі Єдиного довідника надійності або за американським військовим стандартом MIL-HDBK-217F (для імпортованих комплектуючих).

### Поняття надійності

Надійність автоматизованих систем керування визначається як ймовірність безвідмовної роботи елементів та всієї системи протягом заданого часу, обумовленого технологічним процесом.

У більшості інженерних розрахунків використовується експоненціальний закон надійності, який вимагає знання інтенсивності відмов реальних елементів. Значна кількість статистичних даних щодо цих характеристик вже накопичена, проте вони отримані в умовах, що відповідають номінальним режимам роботи:

- нормальна температура;
- нормальна відносна вологість;
- електричне навантаження, що дорівнює номінальному;
- відсутність механічних впливів та негативних факторів (вібрація, хімічні речовини, радіація тощо).

Інтенсивність відмов, визначена в цих умовах, називається номінальною.

### Урахування умов експлуатації

Для реальної оцінки надійності необхідно враховувати відхилення умов експлуатації від номінальних. Це впливає як на окремі елементи, так і на систему в цілому. Залежність інтенсивності відмов  $\lambda$  від температури,

навантаження, вологості та механічних впливів визначається або аналітично (на основі фізики відмов), або експериментально.

У більшості випадків використовують два коригуючих коефіцієнти:

- $K_e$  - враховує вплив температури, вологості та електричного навантаження;
- $K_m$  - враховує механічні навантаження (корабельні, авіаційні системи тощо).

Для серійних компонентів (резистори, конденсатори, транзистори, мікросхеми) ці коефіцієнти наведені в таблицях стандартів. Під впливом реальних умов інтенсивність відмов може змінюватися на 1–2 порядки.

Надійність системи

Для складної системи, що складається з  $n$  послідовно з'єднаних елементів, загальна інтенсивність відмов визначається сумою інтенсивностей відмов кожного елемента.

Надійність програмних засобів

Програмне забезпечення можна умовно поділити на три основні групи:

1. Програми для інженерних і науково-дослідних задач. Використовуються періодично, мають короткий життєвий цикл. Питання надійності тут майже не застосовуються.

2. Інформаційно-довідкові та обчислювальні системи, що працюють поза реальним часом. Експлуатуються довше, можуть оновлюватися та розвиватися. Показники надійності змінюються з часом (нестационарні).

3. Програми автоматичного та автоматизованого керування реального часу. Використовують ресурси апаратури максимально повно, працюють роками. До них повною мірою застосовуються принципи теорії надійності.

Надійність програмних комплексів визначається:

- надійністю апаратури,
- помилками у проектуванні ПЗ.

Оскільки зберігання програм на носіях є достатньо надійним, основним джерелом відмов є саме помилки проектування. Виявлення помилок залежить

від навантаження, різноманітності вхідних даних та непередбачених ситуацій.

Інтенсивність програмних помилок змінюється в часі подібно до інтенсивності відмов апаратури:

- на початку відмови часті (етап налагодження),
- далі інтенсивність стабілізується,
- після модернізацій можуть з'являтися вторинні помилки,
- із часом ПЗ «старіє» і потребує заміни.

### **Фактори, що впливають на надійність програмного забезпечення**

Хоча труднощі у створенні програмного забезпечення існують з моменту появи ЕОМ, лише останнім часом активно досліджуються процеси його розробки та подальшого розвитку. Аналіз отриманих результатів показує, що існує чимало факторів, які стримують ефективне створення та впровадження складних систем.

Найважливішими серед них є:

- велика кількість помилок, що виникають у процесі створення компонентів системи;
- складність використання програмного продукту;
- висока структурна складність програмних систем і відсутність доступної для аналізу логічної структури;
- недостатня надійність програмного забезпечення.

Основними чинниками, які визначають якість і надійність ПЗ, є вартість розробки та тривалість створення системи. Разом з тим існує багато додаткових факторів, які умовно поділяють на три групи:

1. Загальні фактори;
2. Фактори, пов'язані з процесом розробки ПЗ;
3. Експлуатаційні фактори.

Загальні фактори

До цієї групи належать питання, що визначають перехід до інструментальних методів створення ПЗ.

Архітектура обчислювальної машини також впливає на надійність

програм: інколи підвищення продуктивності апаратури суперечить забезпеченню стабільної роботи ПЗ.

Тенденція до збільшення швидкодії та зменшення вартості призводить до того, що показники надійності часто доводиться жертвувати заради ефективності виконання програм. Наприклад:

- відмова від використання захисних механізмів ПЗ, оскільки вони знижують швидкість роботи;
- небажання застосовувати модульну структуру через додаткові витрати часу на передачу параметрів;
- спрощення або часткове вимикання діагностичних функцій компіляторів.

Вплив мови програмування також є суттєвим. Хоча більшість помилок виникає ще до написання коду, деякі конструкції мов можуть спричиняти двозначність під час трансляції, що може призвести до критичних відмов.

Важливим напрямом підвищення надійності є модульність та керування даними: це зменшує обсяг необхідного коду та спрощує аналіз помилок. Надійність також підвищується за рахунок компіляторів, здатних виявляти максимальну кількість синтаксичних помилок.

#### Фактори, пов'язані з розробкою ПЗ

Ці фактори тісно пов'язані із загальними. Наприклад, модульність напряму залежить від мови програмування, а якість коду — від кваліфікації персоналу.

Багато факторів взаємодіють між собою. Наприклад, покращення зручності супроводу ПЗ часто призводить до збільшення його складності, що, у свою чергу, спричиняє появу більшої кількості помилок, а отже - зменшення надійності.

#### Експлуатаційні фактори

Ці фактори також мають велике значення. Якість документації визначає простоту супроводу, експлуатації та повноту використання функціональних можливостей системи.

У практиці найбільш поширеним є розрахунок надійності за середньогруповою інтенсивністю відмов елементів. Для цього використовують значення інтенсивності відмов  $\lambda_i$  для різних груп елементів та кількість  $N_i$  компонентів кожного типу.

Метою такого розрахунку є визначення:

- $T_0$  - середнього часу безвідмовної роботи системи;
- $P(t)$  - ймовірності безвідмовного функціонування протягом часу  $t$ .

**Рекомендується наступний порядок розрахунку:**

1. Елементи з проектованої системи розбивають на групи приблизно з однаковими інтенсивностями відказів і підрахунку кількості елементів  $N_i$  в кожній групі.

2. По табличним інтенсивностям відказів встановлюють значення  $\lambda_i$  кожної групи елементів.

3. Розраховують добуток  $\lambda_i N_i$  які характеризують долю відказів вносимих елементами кожної групи в загальну інтенсивність відказів системи.

4. Визначають загальну інтенсивність відказів системи.

5. Розраховуємо час напрацювання на відказ  $T_0$

$$T_0 = 1/\lambda_c.$$

6. Визначаємо вірогідність безвідмовної роботи системи

Розрахунок надійності схеми:

$$\text{Мікросхем} - 8 \text{ шт} * 0,3 * 10^{-6} = 2,4 * 10^{-6}$$

$$\text{Опорів постійного струму} - 9 \text{ шт} * 3 * 10^{-6} = 27 * 10^{-6}$$

$$\text{Опорів змінного струму} - 9 \text{ шт} * 13 * 10^{-6} = 107 * 10^{-6}$$

$$\text{Оптронів} - 1 \text{ шт} * 1,5 * 10^{-6} = 1,5 * 10^{-6}$$

$$\text{Двигунів} - 3 \text{ шт} * 30 * 10^{-6} = 90 * 10^{-6}$$

$$\text{Реле обриву фаз} - 1 \text{ шт} * 13 * 10^{-6} = 13 * 10^{-6}$$

$$\text{Автоматів} - 5 \text{ шт} * 8 * 10^{-6} = 32 * 10^{-6}$$

$$\text{Кнопки} - 3 \text{ шт} * 6 * 10^{-6} = 30 * 10^{-6}$$

$$\text{Світлодіодів} - 4 \text{ шт} * 0,8 * 10^{-6} = 7,2 * 10^{-6}$$

$$\text{Ел магніти} - 1 \text{ шт} * 12 * 10^{-6} = 12 * 10^{-6}$$

$$\sum \lambda_i N_i = 323,6 \cdot 10^{-6}$$

$$T_0 = 1 / 323,6 \cdot 10^{-6} = 3090 \text{ год.}$$

В заключному етапі будуємо номограму надійності.

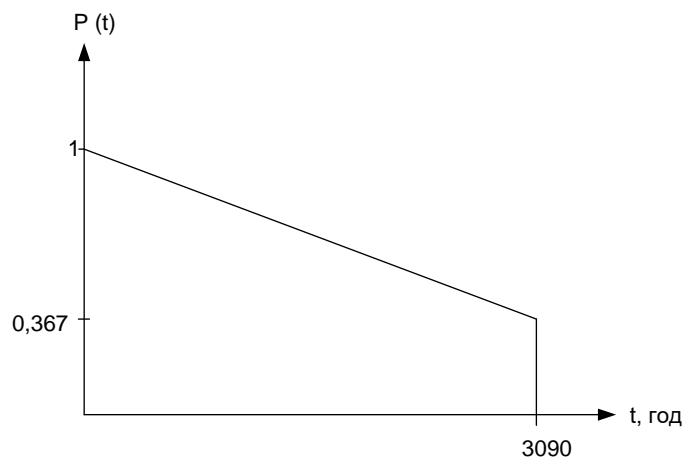


Рисунок 3.11 - Номограма роботи обладнання

## **Розробка програмного забезпечення системи керування на ПК**

### **Інтегроване середовище розробки AVR Studio**

Фірма Atmel створила спеціалізований програмний пакет AVR Studio, призначений для підтримки розробки програм на AVR-мікроконтролерах у середовищі Windows. AVR Studio є інтегрованим середовищем розробки (IDE - *Integrated Development Environment*), яке включає:

- транслятор асемблерних програм AVR-мікроконтролерів;
- високорівневий відлагоджувач;
- засоби підтримки внутрішньосхемного програмування;
- інструменти для роботи з різними внутрішньосхемними емуляторами виробництва Atmel.

Середовище дозволяє виконувати відлагодження програм як у вигляді тексту мовою асемблера, так і у вигляді вихідних кодів мовою C. AVR Studio є безкоштовним, і його останні версії доступні на офіційному сайті компанії Atmel.

### **Запуск і створення нового проєкту**

Щоб запустити програму, необхідно виконати файл AVRStudio.exe,

після чого відкриється головне діалогове вікно (рисунок 4.12). У верхній частині вікна розташоване меню, де слід вибрати команду:

Project → New Project (рисунок 4.13).

У вікні створення проєкту задаються:

- *Project name* — назва проєкту;
- *Location* — шлях до каталогу, у якому буде збережено проєкт;
- *Project type* — тип проєкту.

Для створення асемблерного проєкту необхідно обрати AVR Assembler та натиснути кнопку Next.

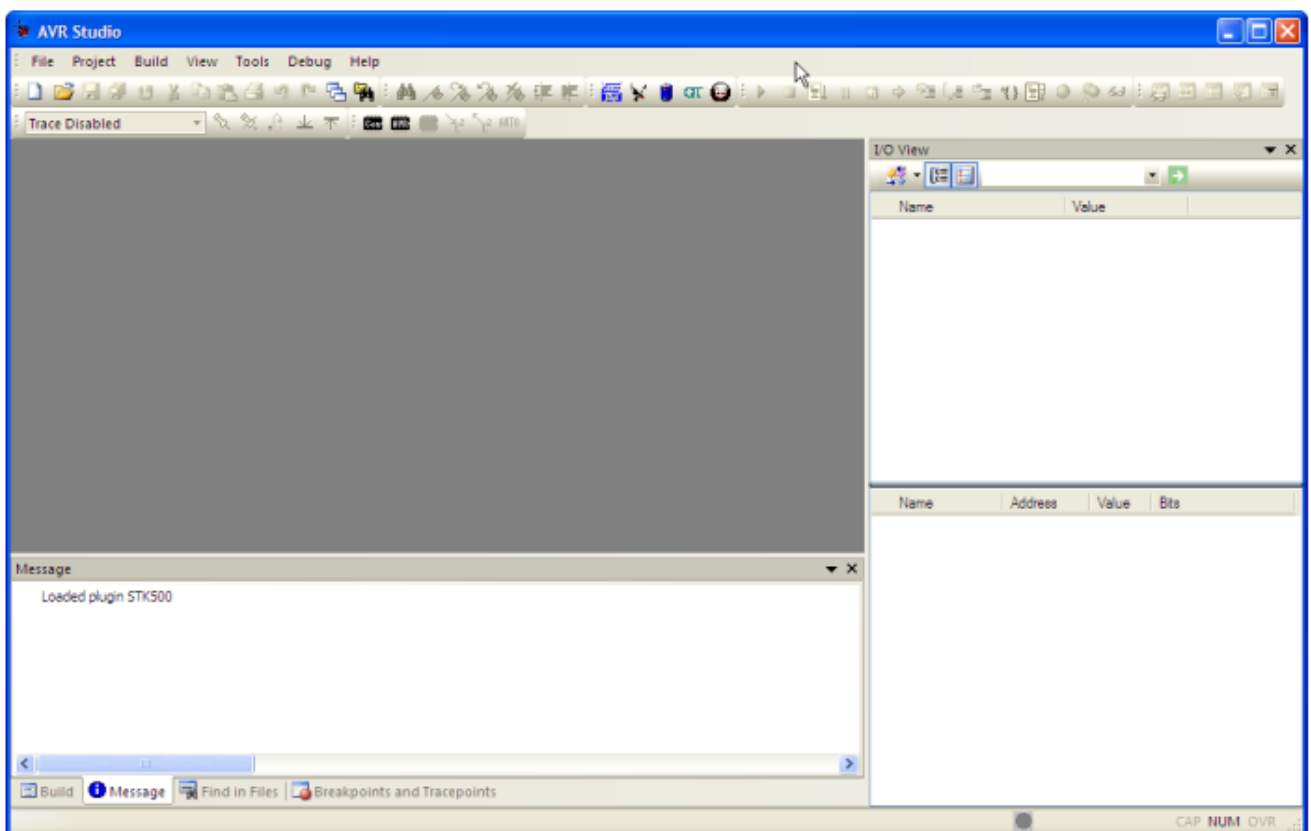


Рисунок 3.12 – Основне вікно програми AVR Studio

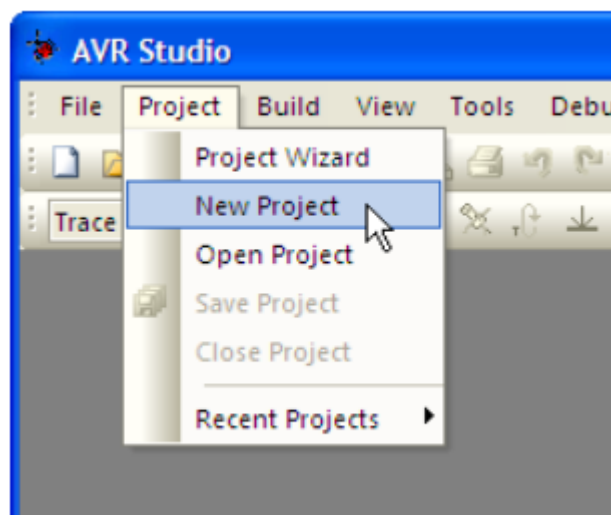


Рисунок 3.13 – Створення нового проекту у програмі AVR Studio

У вікні Select debug platform and device (вибір платформи відлагодження та мікроконтролера) необхідно вибрати AVR Simulator як платформу відлагодження та вказати потрібний мікроконтролер, наприклад ATmega8535. Після цього слід натиснути кнопку Finish, щоб завершити створення проекту (рисунок 3.14).

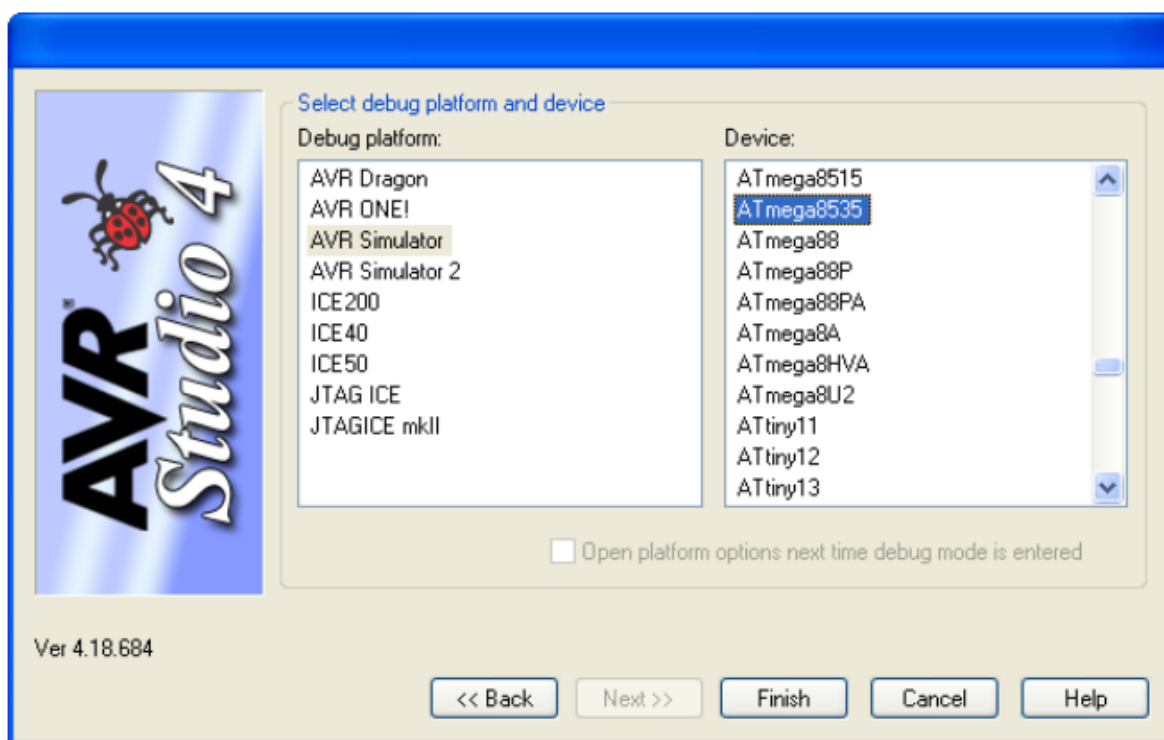


Рисунок 3.14 – Вибір платформи відлагодження та типу мікроконтролера у середовищі AVR Studio

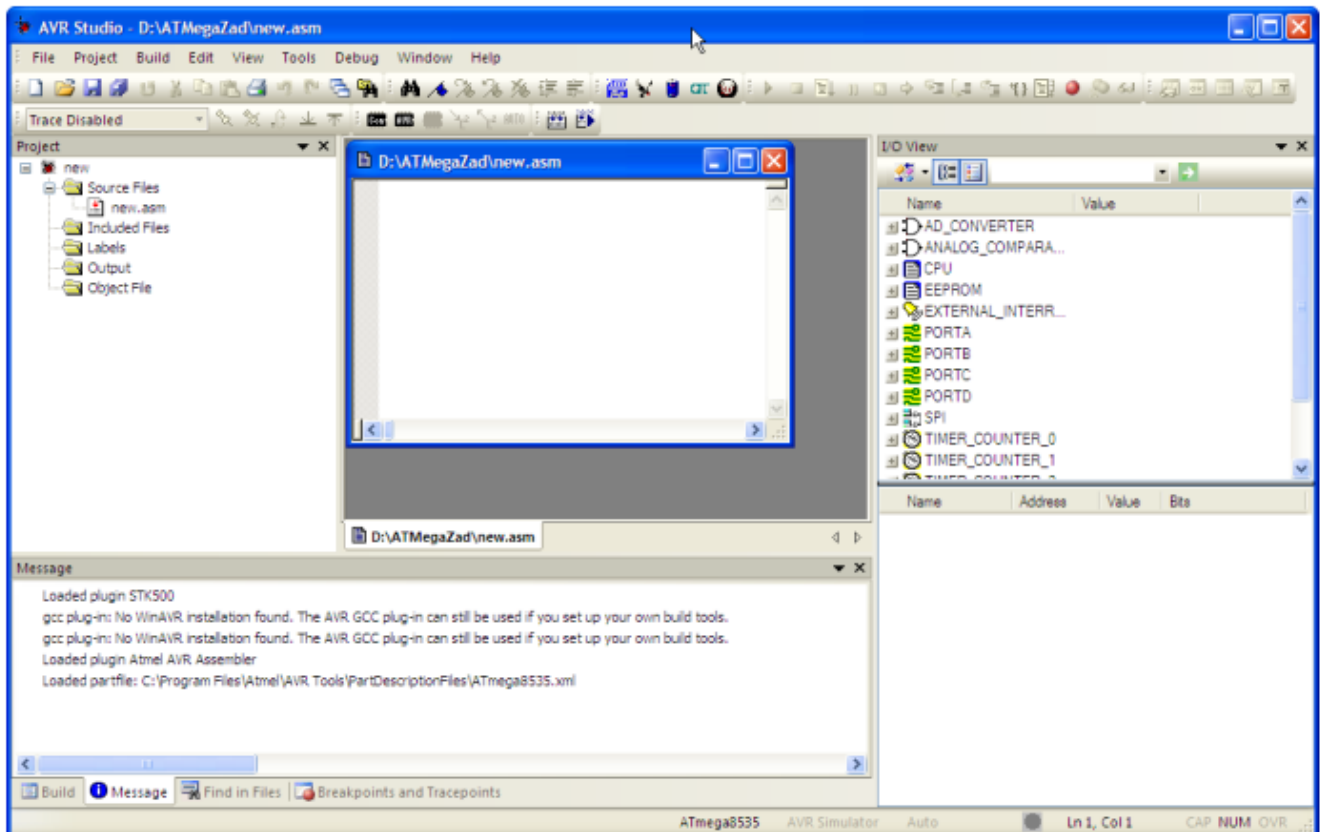


Рисунок 3.15 – Вікно нового проекту у програмі AVR Studio

У вікні Project (рисунок 3.15) необхідно вибрати файл із розширенням .asm і в відкритому редакторі ввести програмний код. Після завершення написання програми у головному меню слід вибрати пункт Build для виконання компіляції. У результаті компіляції формується файл із розширенням .hex, який надалі завантажується в мікроконтролер.

Після завершення компіляції відкривається вікно Build, де відображаються такі дані:

- назва файлу, що асемблюється;
- список бібліотек, які використовуються;
- обсяг програми у машинних словах;
- статус компіляції (наприклад, *Assembly complete with 0 errors, 0 warnings*).

Якщо під час компіляції виникають помилки, у цьому ж вікні вказується:

- тип помилки;
- номер рядка, де вона відбулася;
- загальна кількість помилок.

Для їхнього виправлення потрібно повернутися до редактора, внести корективи та повторити компіляцію.

### Налагодження програми в AVR Studio

AVR Studio дозволяє не тільки компілювати, але й налагоджувати програми на етапі розробки. Під час відлагодження середовище емулює роботу мікроконтролера, включно з:

- портами введення/виведення,
- таймерами та лічильниками,
- перериваннями,
- ШІМ-каналами,
- АЦП.

Це дає змогу побачити поведінку програми так, ніби вона вже записана в реальний мікроконтролер. Однак важливо пам'ятати: емуляція можлива лише тоді, коли програма не містить синтаксичних помилок. Тому перед початком налагодження AVR Studio автоматично виконує компіляцію.

Для запуску налагодження потрібно:

1. У меню Build вибрати команду Build and Run.
2. Відкрити вікно налаштувань емулятора через меню Debug → AVR Simulator Options.
3. У полі Device вибрати мікроконтролер ATmega8535,
4. У полі Frequency встановити частоту 8 МГц,
5. Натиснути ОК (рисунок 4.16).

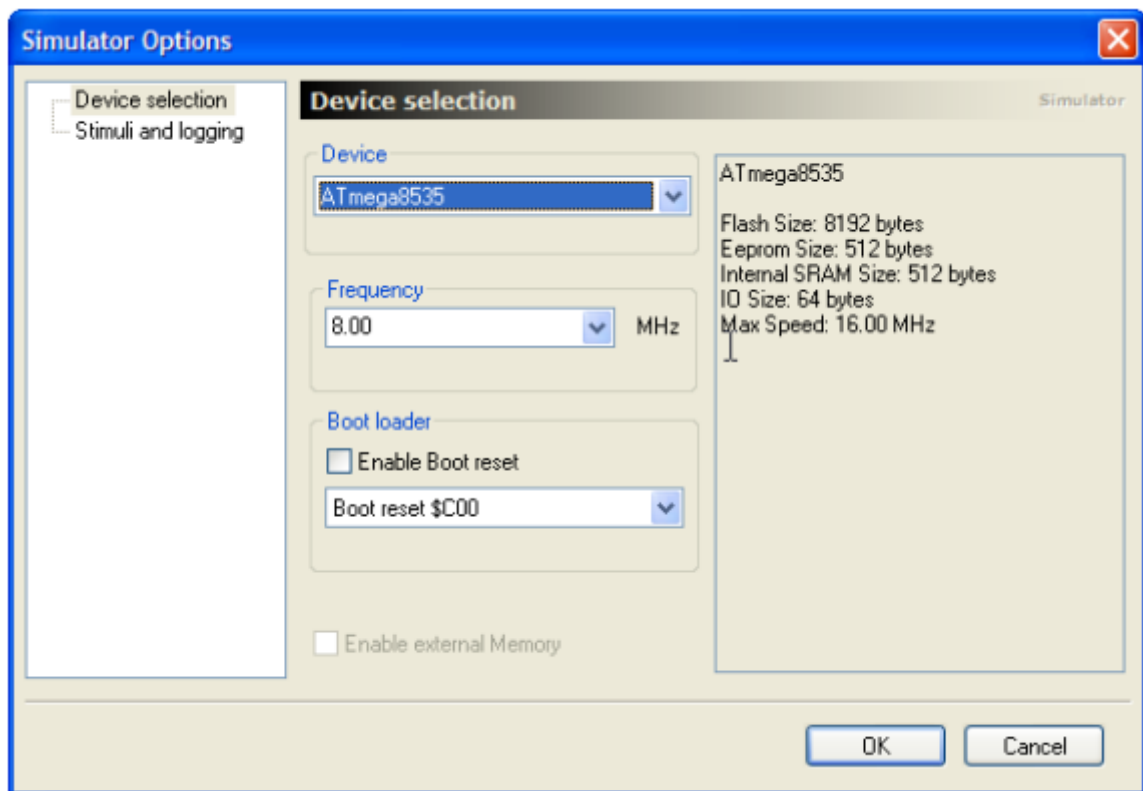


Рисунок 3.16 – Опції емулятора (Simulation Options) середовища AVR Studio

Після виконання попередніх налаштувань відкриється вікно редактора, де вводився програмний код. Початковий рядок програми буде позначено жовтою стрілкою, що вказує на адресу першої інструкції. Вище зазвичай розташовані директиви компілятора.

Для коректної емуляції роботи програми необхідно контролювати стан регістрів, портів введення/виведення та інших ресурсів мікроконтролера (рисунок 3.17).

Перегляд потрібних елементів здійснюється через меню View:

- щоб відкрити вікно з регістрами, слід вибрати View → Registers;
- для контролю стану процесорного ядра використовується панель

Processor

(View → Toolbars → Processor);

- для перегляду портів введення/виведення та периферійних модулів необхідно обрати панель I/O (View → Toolbars → I/O).

Крім того, у меню View доступні й інші інструменти, зокрема пункт Memory, який дозволяє переглядати вміст пам'яті даних і пам'яті програм.

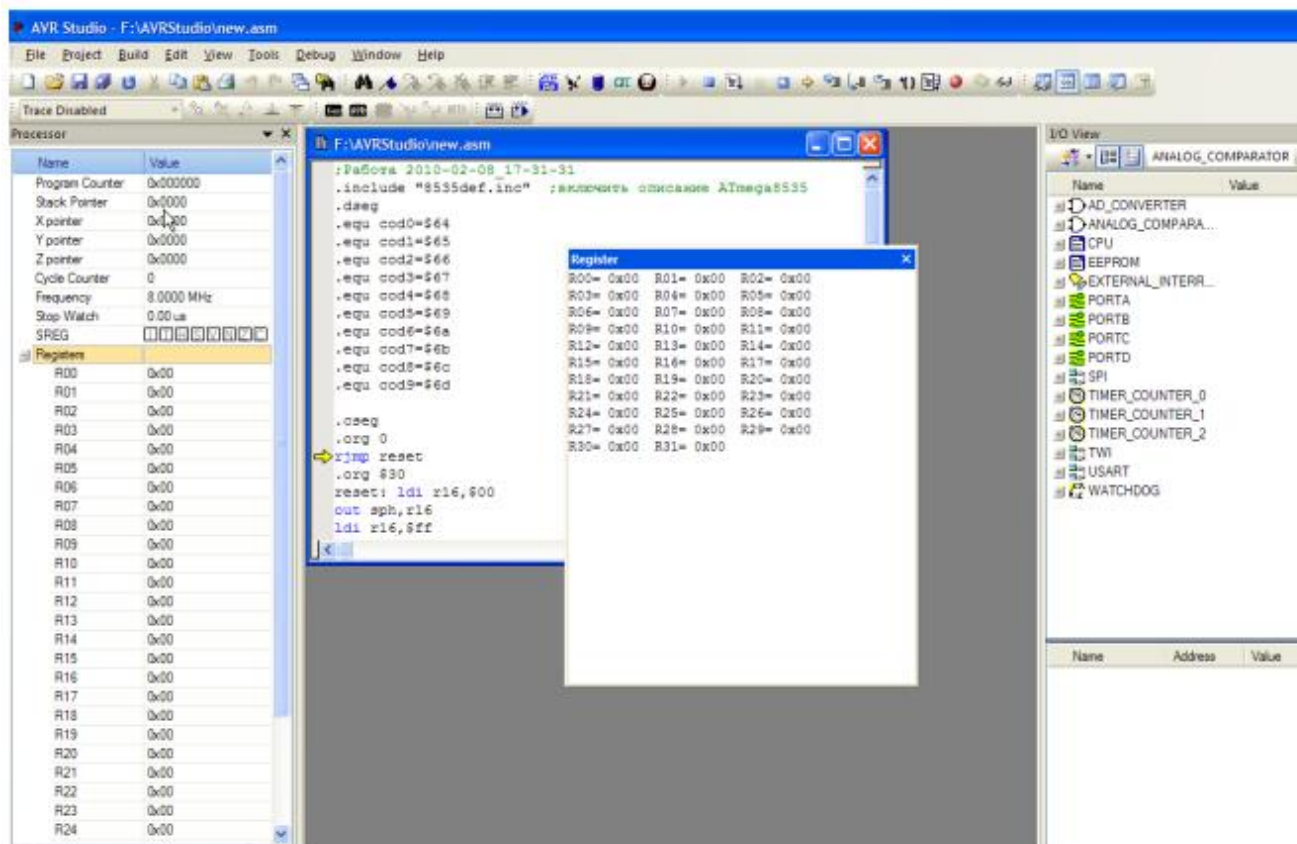


Рисунок 3.17 – Вікно емуляції роботи програми в AVR Studio

AVR Studio надає можливість запускати програму в реальному часі, а також виконувати її покроково до заданого покажчика. У меню Debug зібрані всі режими запуску:

- Reset - перехід на початок програми (жовта стрілка вказує на першу інструкцію).
- Go - запуск у реальному часі; програма виконуватиметься без зупинки, доки не вибрати команду Break.
- Step Over - покрокове виконання; програма виконує одну інструкцію за раз, після кожної команди процес зупиняється, а стрілка вказує на поточний рядок.
- Run to Cursor - виконання до позиції курсора; програма працює, доки не досягне інструкції, на якій встановлено курсор у редакторі.

Під час виконання програми можна контролювати зміну станів регістрів після кожної команди, що дозволяє перевірити правильність виконуваних операцій. Найзручнішим режимом для цього є покроковий (Step Over).

У панелі Input/Output View відображені всі периферійні блоки мікроконтролера. Навпроти кожного пристрою розміщено значок «+»: натиснувши на нього, користувач може переглянути вміст цього модуля - регістри, значення даних тощо. Подвійне клацання по будь-якому регістру дозволяє змінити його стан прямо під час відлагодження.

Для моделювання зовнішніх подій у регістрах портів введення/виведення можна виставляти необхідні біти у логічну «1» - таким чином емулятор повторює дію зовнішнього сигналу.

До складу Atmel Studio 7 входить також бібліотека Atmel Software Framework (ASF) - обширний набір готових модулів, що включає драйвери периферії, комунікаційні протоколи та спеціалізовані бібліотеки. ASF містить понад 1600 готових прикладів, розроблених і протестованих фахівцями, що істотно прискорює створення нових проектів і спрощує роботу розробника.

### **Програмування мікроконтролера в середовищі AVR Studio**

Після встановлення мікроконтролера в роз'єм програматора, підключеного до ПК, і подання на нього живлення, необхідно виконати налаштування з'єднання у середовищі AVR Studio. Для цього слід вибрати команду меню:

Tools → Program AVR → Connect

або натиснути кнопку Display the Connect dialog на панелі інструментів STK500.

Після цього відкриється діалогове вікно Select AVR Programmer, у якому потрібно обрати відповідний програматор і вказати порт, через який він підключений до комп'ютера (рисунок 4.18).

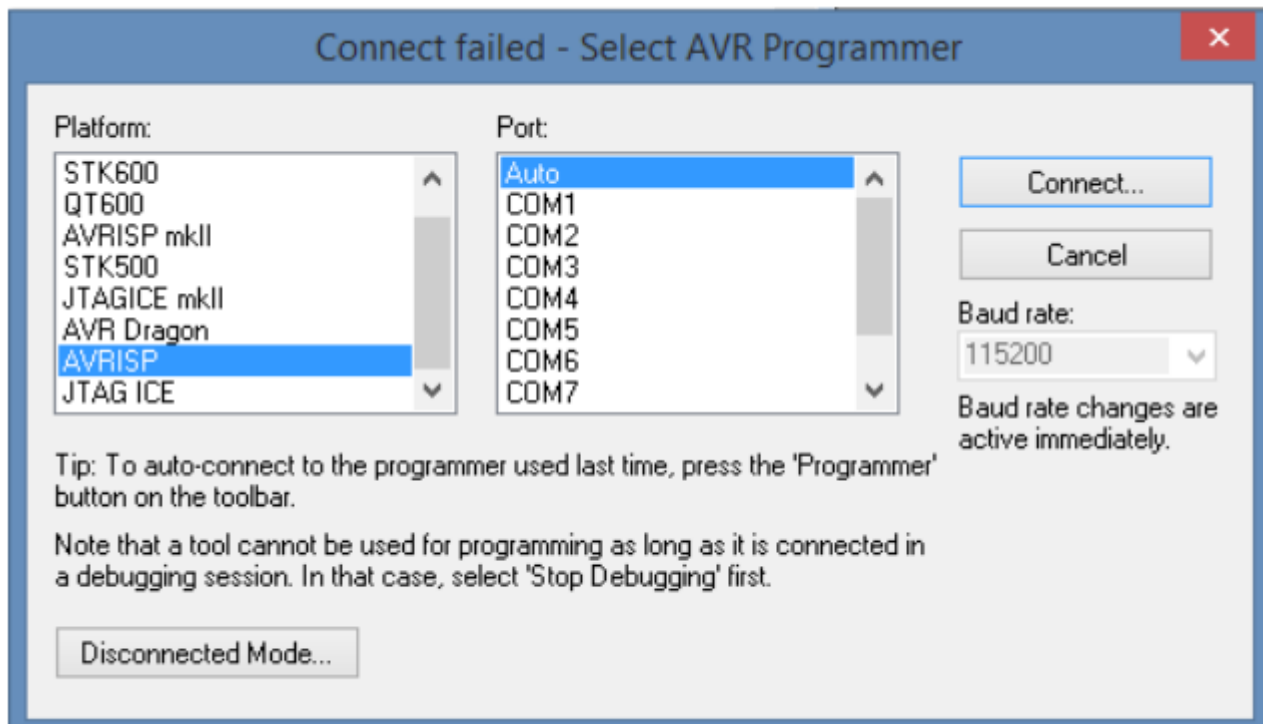


Рисунок 3.18 – Діалогове вікно Select AVR Programmer

Програматори, що підключаються через інтерфейс USB, у списку Platform за замовчуванням представлені такими елементами, як JTAG ICE, AVR ISP та AVR Dragon. Після вибору програматора та відповідного порту необхідно натиснути кнопку Connect. Якщо всі апаратні підключення виконано правильно, на екрані з'явиться діалогове вікно, зображене на рисунку 4.19.

На вкладці Main необхідно:

- вибрати мікроконтролер зі списку Device;
- вказати HEX-файли, які потрібно записати:
- у поле Flash – Input HEX File — файл програми,
- у поле EEPROM - Input HEX File - файл даних, якщо він використовується.

Перед програмуванням для додаткового контролю можна очистити пам'ять мікроконтролера, натиснувши кнопку Erase Device.

Безпосередній запис програми розпочинається після натискання кнопки Program.

Режим програмування (Programming mode) обирається також на вкладці

Main:

- ISP - внутрішньосхемне програмування;
- PP/HVSP - високовольтний режим програмування;
- JTAG - для програматорів AVR Dragon та JTAGICE mkII.

Установлення прапорця Erase Device Before Programming забезпечує автоматичне стирання пам'яті мікроконтролера перед записом нових даних.

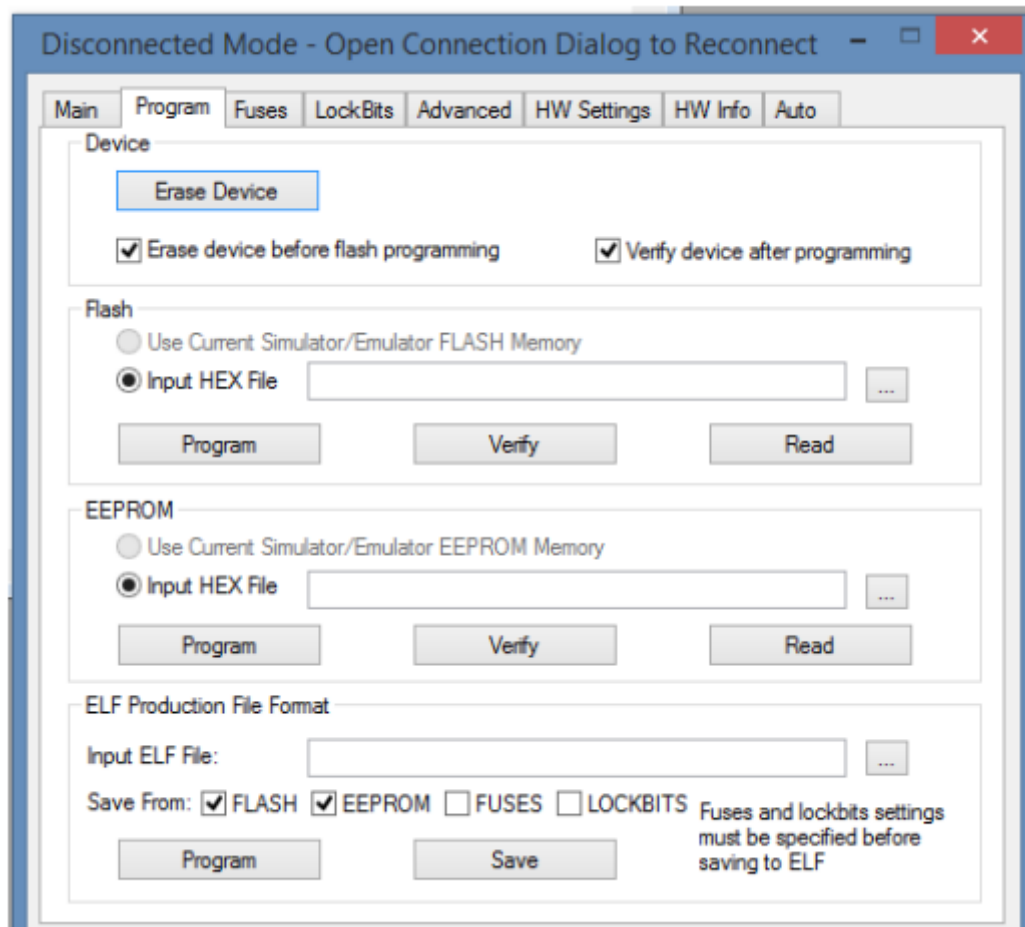


Рисунок 3.19 – Вікно керування процесом програмування

Установлення параметра Verify Device After Programming дає змогу виконати автоматичну перевірку коректності запису даних у пам'ять мікроконтролера після завершення програмування.

Параметр Use Current Simulator/Emulator FLASH (EEPROM) Memory вказує AVR Studio використовувати HEX-файл, що належить до поточного відкритого проєкту.

У вікні програматора доступні такі кнопки:

- Verify - перевірка відповідності записаних у пам'ять Flash або EEPROM даних вхідному *.hex* файлу;

- Read - зчитування вмісту Flash або EEPROM з мікроконтролера.

Окрім запису програми, AVR Programmer дозволяє конфігурувати службові байти мікроконтролера:

- вкладка Fuses використовується для програмування конфігураційних бітів;

- вкладка LockBits - для керування рівнями захисту пам'яті.

На вкладці Advanced можна:

- зчитати сигнатуру мікроконтролера;

- отримати значення калібрування внутрішнього осцилятора;

- виконати запис калібрувального байта за вказаною користувачем адресою Flash або EEPROM.

Вкладка Board дозволяє змінювати параметри роботи плати відлагодження,

а вкладка Auto - налаштовувати автоматичну послідовність виконання типових операцій програмування [2, 12, 13, 24].

## **3.2 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи**

### **Опис роботи основної програми**

На рисунку 3.20 представлено блок-схему алгоритму роботи основної програми мікроконтролера, яка відображає логіку функціонування системи та послідовність виконання її основних операцій.

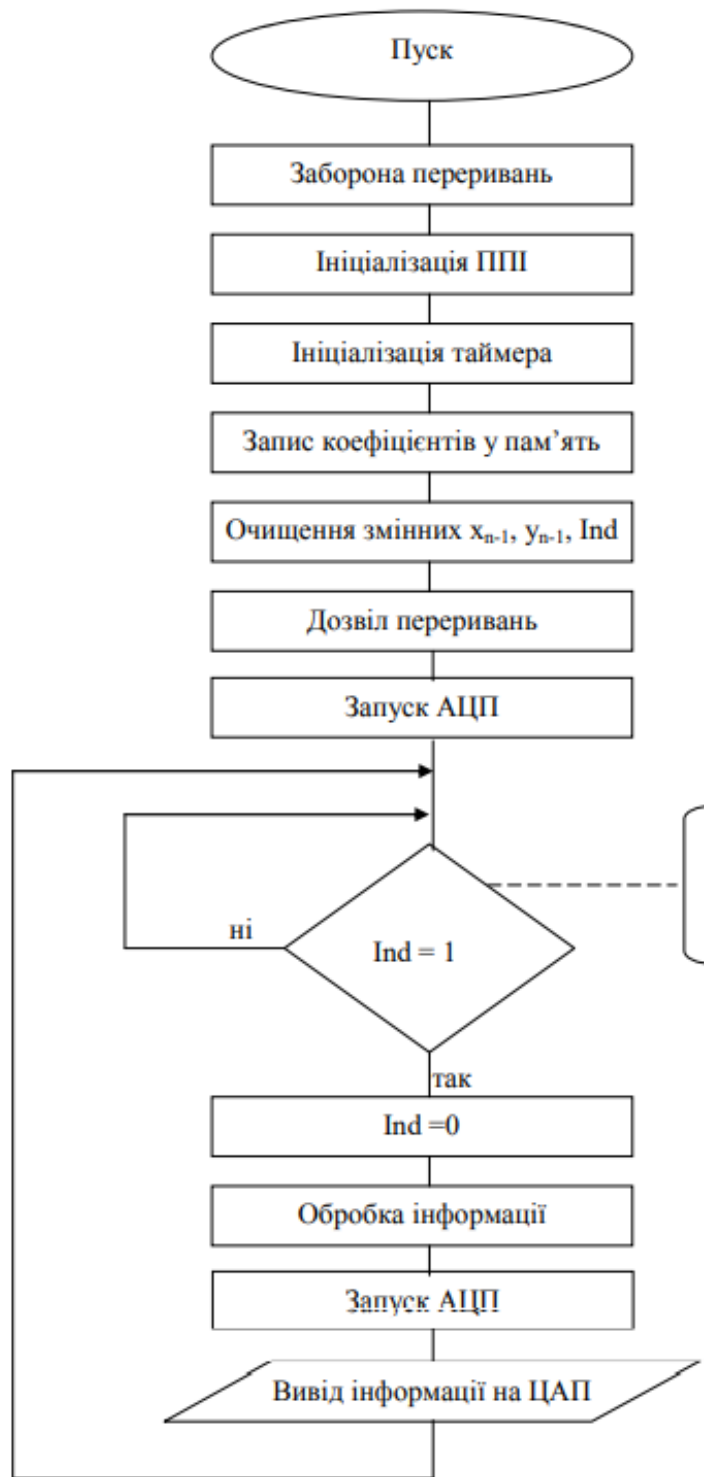


Рисунок 3.20 – Алгоритм функціонування МК

**Робота складається з виконання наступних кроків.**

Основний блок мікропроцесорного комплексу (МПП) забезпечує зчитування даних із зовнішніх пристроїв або пам'яті, виконання арифметичних

і логічних операцій над ними, аналіз отриманих результатів та запис інформації у пам'ять чи на зовнішні модулі.

Генератор тактових імпульсів (ГТІ) формує синхронізуючі сигнали F1 та F2 для роботи мікропроцесора, подає сигнал початкового встановлення RESET, сигнал готовності READY, а також строб STB, що надходить до системного контролера і використовується для фіксації слова стану мікропроцесора.

Системний контролер (СК) призначений для збереження слова стану МП, формування сигналів керування зовнішньою пам'яттю та пристроями вводу-виводу, а також для буферизації шини даних.

Постійна пам'ять (ПЗП) служить для довготривалого зберігання інформації та її зчитування. На відміну від оперативної пам'яті, дані в ПЗП записуються лише один раз, а в подальшій роботі доступні тільки для читання.

Оперативна пам'ять (ОЗП) використовується для запису, зберігання і зчитування даних. У режимі роботи інформація в ній може як змінюватися, так і зчитуватися багаторазово.

Програмований паралельний інтерфейс (ППІ) забезпечує введення і виведення паралельних даних у різних форматах та підтримує більшість стандартних протоколів паралельної передачі інформації.

АЦП перетворює аналогові сигнали у цифрові коди відповідної розрядності, а ЦАП виконує зворотну операцію - формує аналоговий сигнал на основі цифрових даних.

Контролер переривань (ПКП) стежить за надходженням запитів на переривання та у разі їх появи видає адресу підпрограми, яка повинна обробити це переривання.

Шини адреси (ША), даних (ШД) та керування (ШК) забезпечують обмін інформацією між компонентами МПП. Внутрішні шини даних і керування (ВШД, ВШК) використовуються для внутрішніх зв'язків у МП. Дешифратори адрес (ДШП, ДШВ/В, ДАК) дозволяють вибирати необхідні мікросхеми пам'яті та зовнішні пристрої.

Таймер виконує роль подільника частоти, необхідної зокрема для роботи АЦП.

Під час одночасної подачі напруг живлення  $-5\text{ В}$ ,  $+5\text{ В}$  та  $+12\text{ В}$  і надходження тактових імпульсів усі регістри та прапорці мікропроцесора переходять у невизначені стани. Після цього з ГТІ на вхід RESET надходить сигнал високого рівня тривалістю щонайменше три такти. У результаті лічильник команд (PC), тригер дозволу переривань (INTE) і тригер підтвердження захоплення (HLDA) скидаються, після чого мікропроцесор починає вибірку команд із пам'яті, починаючи з нульової адреси.

#### **Алгоритм головної програми включає наступні пункти.**

Виконується ініціалізація зовнішніх модулів, запис коефіцієнтів  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  та початкове занулення робочих змінних. ППІ, до якого підключено АЦП, налаштовується на режим 0, при цьому порти А і В встановлюються в режим введення. ППІ, що працює з ЦАП, також програмується на нульовий режим, але його порти А і В призначені для виведення даних.

У програмованому таймері лічильник 0 конфігурується як двійковий та встановлюється на режим 2 (подільник частоти). До цього лічильника записується число 8, що забезпечує поділ частоти сигналу  $F_2$  (TTL-рівня) на 8.

Змінні ( $x_{n-1}$ ,  $x_{n-2}$  та інші) попередньо обнуляються, оскільки вони виступають множниками у формулі цифрового фільтра, але під час першого звернення ще не мають реальних значень, тому повинні дорівнювати нулю.

Далі формується сигнал «Запуск» для АЦП. Затримка, реалізована через перевірку змінної Ind на значення 1, необхідна через те, що після подачі команди «Запуск» АЦП певний час не готовий видати сформований цифровий код вхідного аналогового сигналу (для мікросхеми К512ПВ1 час перетворення становить приблизно 110 мкс). Тому мікропроцесор має чекати, доки АЦП не сформує сигнал «готовність» і не викличе переривання. Підпрограма обробки переривання зчитує двійковий код АЦП, заносить його до пам'яті та встановлює змінну Ind у значення 1. Після повернення до основної програми це дозволяє вийти з циклу очікування та переходити до подальших дій.

Обробка отриманих даних та їх передавання на ЦАП полягає у множенні та додаванні величин відповідно до рівняння цифрового фільтра. У результаті обчислюється вихідна величина  $u_n$ , яка подається на ЦАП. Після цього виконується повернення до кроку 2.

Для підвищення ефективної частоти оброблення вхідних даних подача сигналу «Запуск» на АЦП здійснюється перед викликом підпрограми виводу, а не перед самим циклом очікування. Це дозволяє організувати паралельну роботу МП та АЦП у визначені моменти часу.

**Функціонування МПП припиняється після вимкнення живлення.**

Блок-схема роботи обробника переривання наведена на рисунку 4.21. Під час виконання команд цієї підпрограми обробки всі інші переривання блокуються. Після збереження у стеку регістрів, які будуть задіяні в обробці, формується команда на скидання сигналу «Запуск» АЦП та здійснюється зчитування даних із портів ППІ. Отримані значення записуються до пам'яті.

Далі програма встановлює змінну  $Ind$  у значення 1, відновлює регістри зі стеку, знову дозволяє обробку переривань і повертається до основної програми, з якої було викликано переривання.

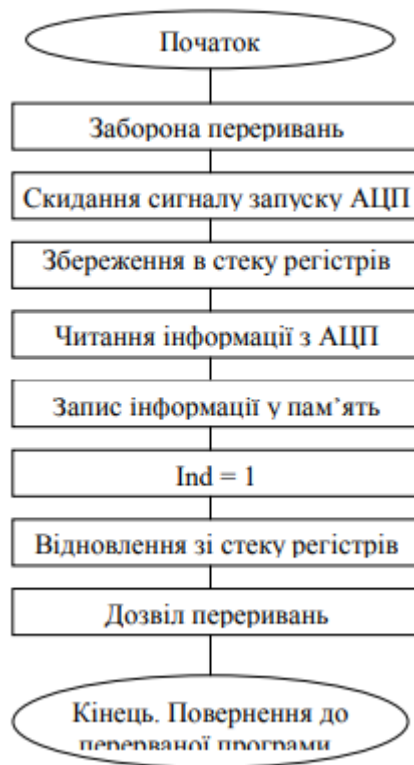


Рисунок 3.21 – Алгоритм програми обробки преривання

Нижче подано алгоритм функціонування КС (рисунок 3.22), а на рисунку 4.23 представлено блок-схему підпрограми, що відповідає за регулювання тиску на виході КС.

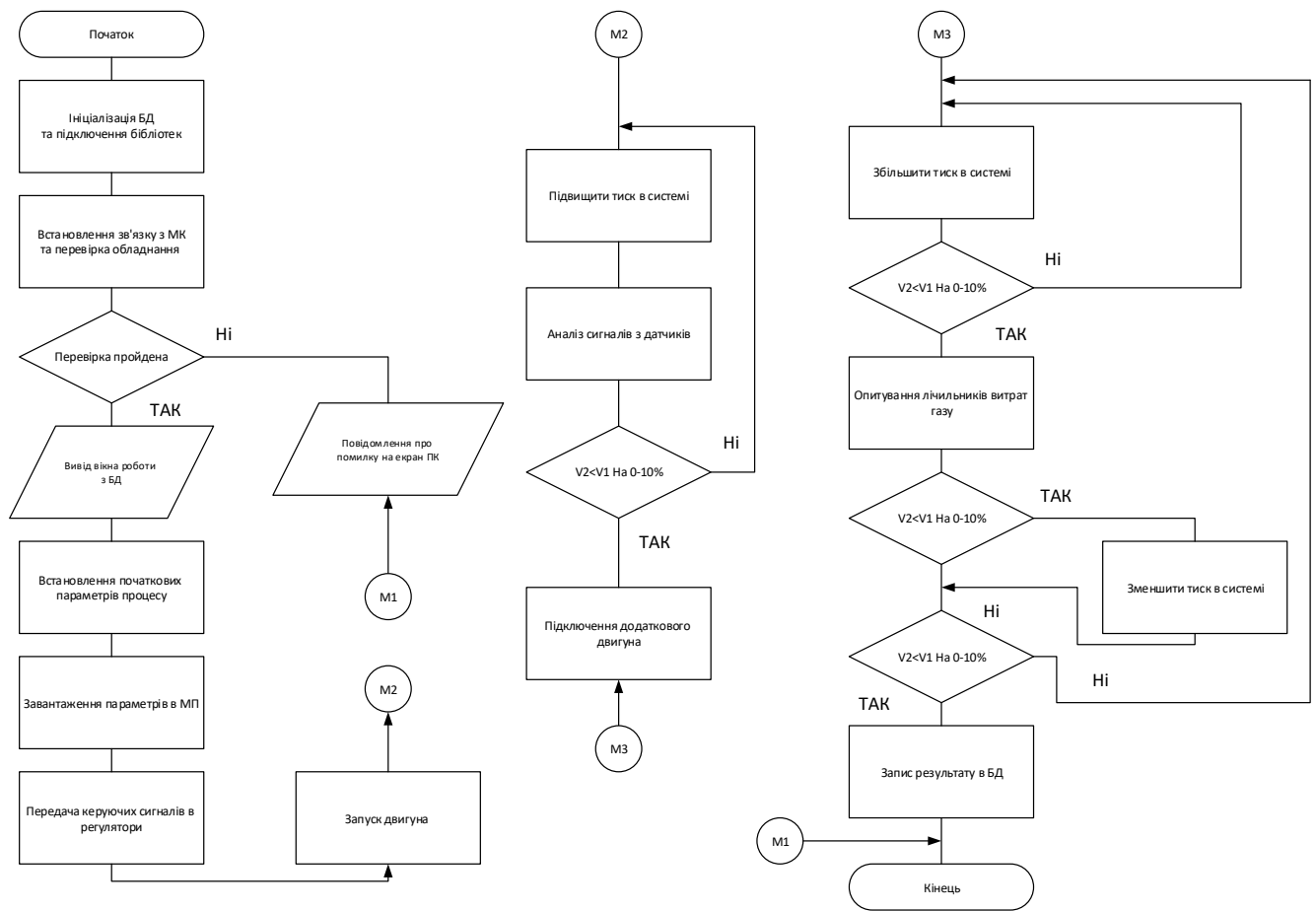


Рисунок 3.22 - Блок-схема алгоритму основної програми керування роботою КС

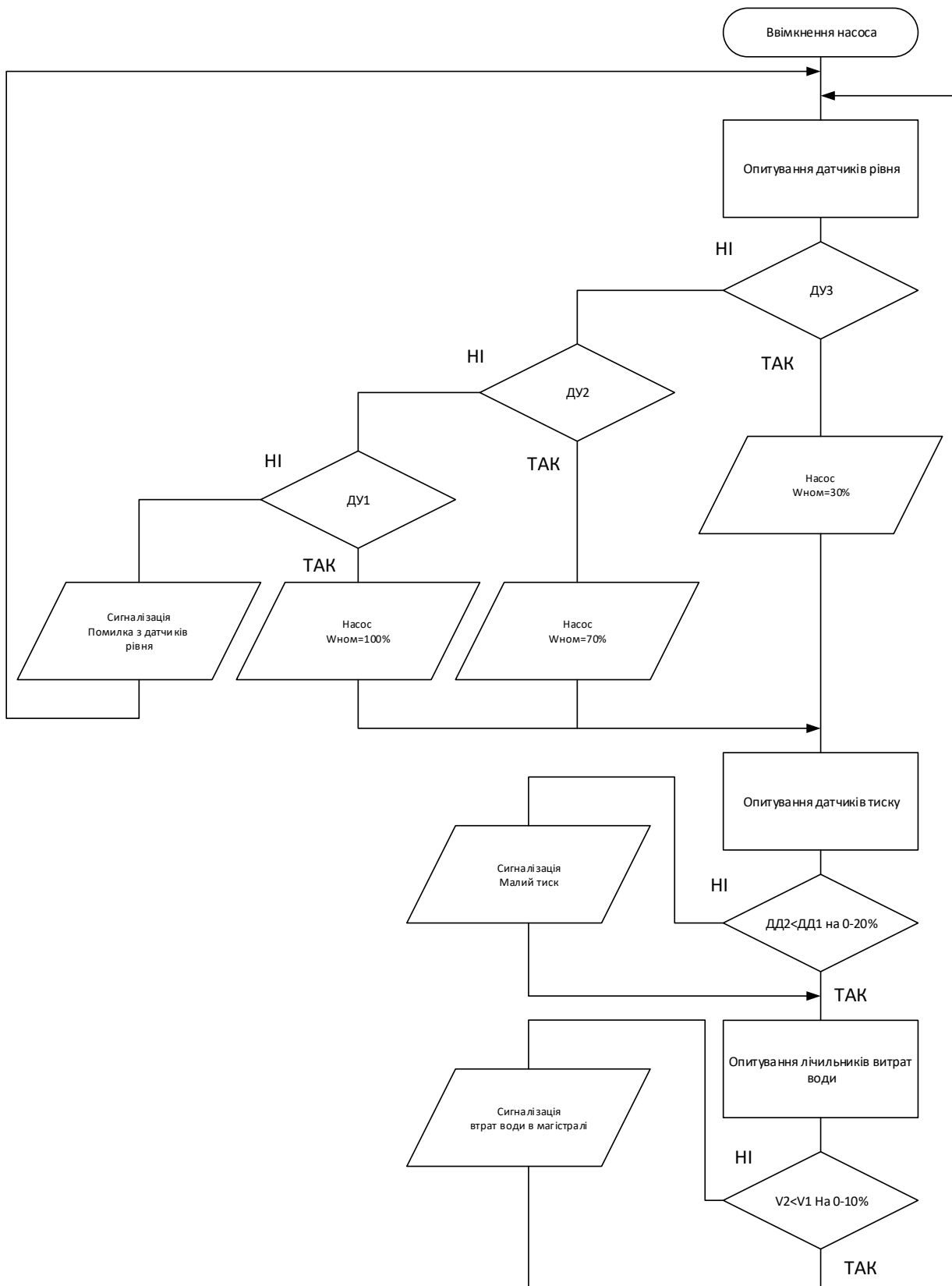


Рисунок 3.23 - Блок-схема роботи підпрограми керування тиском на виході КС

## **Захист розробленого програмного забезпечення**

Забезпечення захищеності розробленого програмного забезпечення є одним із ключових завдань, оскільки воно гарантує безпеку системи та унеможливорює несанкціонований доступ чи зловживання.

Основні підходи до захисту програмного забезпечення включають:

1. Криптографічний захист. Передбачає використання криптографічних методів для забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності даних. До них належать шифрування, застосування цифрових підписів та інші механізми, спрямовані на недопущення підробки чи перехоплення інформації.

2. Аутентифікація та авторизація. Містить перевірку особи користувача та надання відповідних прав доступу до функціональних модулів системи залежно від його ролі чи рівня привілеїв.

3. Перевірка вхідних даних. Спрямована на контроль коректності введеної інформації та запобігання можливим помилкам чи експлуатації вразливостей, які можуть виникнути через некоректно оброблені дані.

4. Усунення та профілактика вразливостей. Включає виявлення слабких місць у програмному коді та їх усунення, щоб зловмисники не могли використати ці недоліки для доступу до системи чи порушення її функціонування.

5. Запобігання зловживанням. Охоплює заходи, спрямовані на захист від небажаного чи некоректного використання програми, зокрема від атак типу відмови в обслуговуванні чи надмірного навантаження на ресурси.

6. Моніторинг і журналювання. Полягає у збиранні та аналізі журналів подій для виявлення спроб несанкціонованого доступу, експлуатації вразливостей чи інших інцидентів безпеки.

7. Регулярні оновлення та патчі. Передбачають своєчасне впровадження оновлень і виправлень, що дозволяють усунути нові вразливості та підтримувати актуальний рівень захисту системи.

## **Алгоритм захисту даних в МК**

Алгоритм захисту даних у мікроконтролері може включати кілька ключових етапів:

1. **Шифрування даних.** Для забезпечення конфіденційності інформації, що зберігається або передається мікроконтролером, застосовуються криптографічні алгоритми, такі як AES, DES, RSA та інші. Використання таких методів дає змогу надійно захистити дані від несанкціонованого доступу.

2. **Контроль цілісності.** Перевірка цілісності гарантує, що інформація не була змінена під час зберігання або передавання. Для цього застосовують хеш-функції (SHA-1, SHA-2, MD5 тощо), які дозволяють виявити навіть незначні зміни у даних.

3. **Обмеження доступу до інформації.** Щоб запобігти несанкціонованому доступу, використовуються механізми автентифікації та авторизації – паролі, ключі доступу, токени, біометричні дані або комбінація методів. Це забезпечує доступ лише для дозволених користувачів або пристроїв.

4. **Фізичний захист мікроконтролера.** На апаратному рівні безпека забезпечується методами криптографічного контролю, захистом від підміни мікросхеми, екрануванням від побічних випромінювань та іншими способами, що ускладнюють фізичне втручання у пристрій.

5. **Оновлення ПЗ.** Регулярне встановлення оновлень та патчів дозволяє усувати знайдені вразливості, підвищувати стійкість до нових загроз і підтримувати актуальний рівень захисту.

Оскільки конкретний набір методів залежить від призначення системи, серед додаткових рекомендацій варто виділити використання вбудованих апаратних криптомодулів. Багато сучасних мікроконтролерів мають апаратну підтримку шифрування (AES, DES), що забезпечує більш високу швидкість та рівень захисту порівняно з програмною реалізацією.

## Коротка характеристика алгоритму AES

AES (Advanced Encryption Standard) - це симетричний алгоритм шифрування, стандартизований NIST у 2001 році. Для шифрування та дешифрування використовується один і той самий ключ, що може мати довжину 128, 192 або 256 біт, відповідно забезпечуючи різний рівень криптографічної стійкості.

Алгоритм AES застосовують для захисту широкого спектра даних — від текстових і графічних файлів до мультимедійної інформації та переданих мережевих пакетів. Він активно використовується у системах електронної пошти, хмарних сервісах, захищених Wi-Fi мережах, VPN-каналах та інших рішеннях, пов'язаних із інформаційною безпекою. Завдяки високій надійності AES є одним із найрозповсюдженіших алгоритмів шифрування у сучасних ІТ-системах.

### Захист програмного коду і даних

Вміст FLASH-пам'яті, де зберігаються програми, а також дані, записані в EEPROM, можуть бути захищені від читання та/або перезапису шляхом встановлення відповідних бітів захисту (Lock Bits) — LB1 і LB2. Режими захисту, що відповідають різним комбінаціям станів цих бітів, подано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Режими захисту коду і даних

№ режиму	Комірки захисту		Опис
	LB1	LB2	
1	1	1	Захист коду і даних відключений
2	0	1	Запис FLASH і EEPROM заборонений
3	0	0	Заборонені запис і читання FLASH і EEPROM

У режимах 2 та 3 додатково блокується можливість зміни конфігураційних комірок. Тому увімкнення захисних механізмів слід виконувати лише після повного програмування всіх інших областей пам'яті мікроконтролера.

У мікроконтролерах AVR серії ATmega (за винятком ATmega48x) передбачені чотири додаткові біти захисту — BLB02, BLB01, BLB12 та BLB11. Біти BLB02 і BLB01 визначають рівень доступу з області завантажувача до коду, розміщеного в основній секції прикладної програми. Натомість біти BLB12 і BLB11 регулюють доступ із прикладної програми до коду, що знаходиться в секції завантажувача.

Режими захисту, що відповідають різним комбінаціям станів цих бітів, наведено у таблицях 3.2 та 3.3. Усі згадані біти захисту об'єднано в один байт. Схема розташування цих бітів у пам'яті для різних моделей мікроконтролерів AVR представлена на рисунку 3.24.

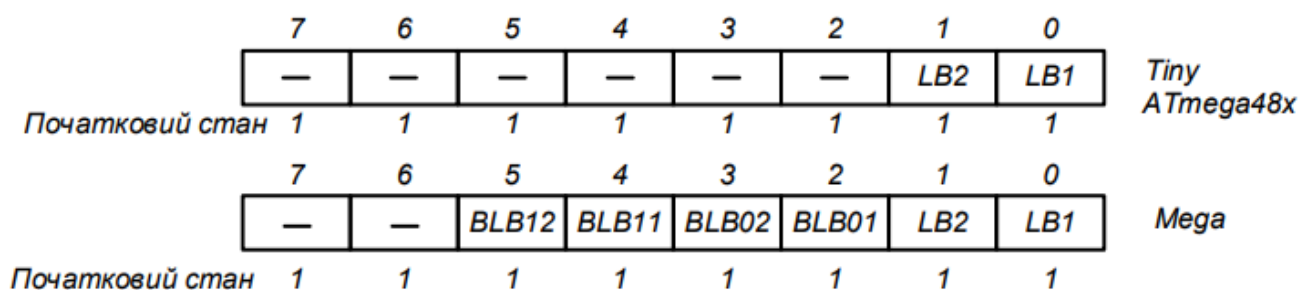


Рисунок 3.24 – Байт комірок захисту

У початковому (непрограмованому) стані всі комірки захисту мають значення 1, а після програмування у них записується 0. Повернення цих бітів у стан 1 можливе лише шляхом виконання команди «Знищення кристала», яка одночасно стирає вміст FLASH- та EEPROM-пам'яті.

### Конфігураційні комірки (Fuse Bits)

Конфігураційні комірки задають основні параметри роботи мікроконтролера. Вони розміщені в окремому адресному просторі, доступному виключно на етапі програмування. Усі Fuse-комірки згруповані у декілька байтів, а їхній склад та призначення залежать від конкретної моделі мікроконтролера.

Зміна цих комірок здійснюється за допомогою спеціальних програмних команд. При цьому команда «Знищення кристала» не впливає на стан

конфігураційних комірок - вони залишаються у попередньому значенні.

Важливо, що під час програмування комірки захисту LB1 запис у Fuse-комірки блокується. Тому всі параметри конфігурації мікроконтролера необхідно встановити перед налаштуванням бітів захисту.

Таблиця 3.2 – Режими захисту секції прикладної програми

№ режиму	Комірки захисту		Опис
	BLB02	BLB01	
1	1	1	Немає жодних обмежень з доступу до коду, що розташований у секції прикладної програми
2	1	0	Команда SPM не може здійснювати запис за адресами, які перебувають у межах секції прикладної програми
3	0	0	Команда SPM не може здійснювати запис за адресами, які перебувають у межах секції прикладної програми; команда LPM (ELPM), що викликається із секції завантажувача, не може здійснювати читання з секції прикладної програми. Якщо таблиця векторів переривань розташована в секції завантажувача, то при виконанні коду з секції прикладної програми переривання заборонені
4	0	1	Команда LPM (ELPM), що викликається із секції завантажувача, не може здійснювати читання із секції прикладної програми. Якщо таблиця векторів переривань розташована в секції завантажувача, то при виконанні коду з секції прикладної програми переривання заборонені

Таблиця 3.3 – Режими захисту секції завантажувача

№ режиму	Комірки захисту		Опис
	BLB12	BLB11	
1	2	3	4
1	1	1	Немає жодних обмежень по доступу до коду, що розташований в секції завантажувача
2	1	0	Команда SPM не може здійснювати запис за адресами, які перебувають у межах секції завантажувача
3	0	0	Команда SPM не може здійснювати запис за адресами, які перебувають у межах секції завантажувача, і команда LPM (ELPM), що викликається із секції прикладної програми, не може здійснювати читання із секції завантажувача. Якщо таблиця векторів переривань розташована в секції прикладної програми, то при виконанні коду із секції завантажувача переривання заборонені
4	0	1	Команда LPM (ELPM), що викликається із секції прикладної програми, не може здійснювати читання із секції завантажувача. Якщо таблиця векторів переривань розташована в секції прикладної програми, то при виконанні коду із секції завантажувача переривання заборонені

## 4. ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

### Розробка схеми з'єднань

Схеми зовнішніх з'єднань демонструють взаємозв'язки між конструктивними вузлами, окремо встановленими приладами та струмоприймачами. В оформленні таких схем у системах автоматизації технологічних процесів та системах керування, які входять до складу поставленого обладнання, можуть зустрічатися певні відмінності.

Зовнішні прилади подають у вигляді контурів, всередині яких розміщують клеми під'єднання (позначені колами) та номери проводів, що до них підходять (розташовані над клемами). Прилади розміщують у ряд незалежно від їхнього фактичного розташування на технологічному обладнанні або у виробничому приміщенні. Під зображеннями приладів розміщують таблицю з технічними характеристиками та способом їх встановлення.

Схеми підключення технологічного обладнання виконують за такими правилами: пульти та інші вузли, для яких уже складено схеми з'єднань, зображають у вигляді прямокутника. Усередині контуру позначають усі клемні набори та штепсельні роз'єми, включно з тим набором, до якого підключено ввід живлення. Вузли (щити, пульти), а також окремо встановлені прилади та струмоприймачі зображають так, ніби вони розташовані відповідно до плану обладнання.

Усередині контурів приладів зображають їх елементи та схеми підключення з використанням умовних графічних позначень. Якщо прилад має складну внутрішню схему, зазвичай обмежуються зображенням лише клем або клемних колодок.

На клемних наборах прикладають номери проводів. Від клем проводять лінії відводів, кількість яких повинна відповідати кількості відходячих проводів (не більше двох для однієї схеми).

У техноробочих проектах окремі види схем можуть бути відсутніми. У таких випадках принципові та елементні схеми повинні містити достатній обсяг інформації для виконання монтажних робіт.

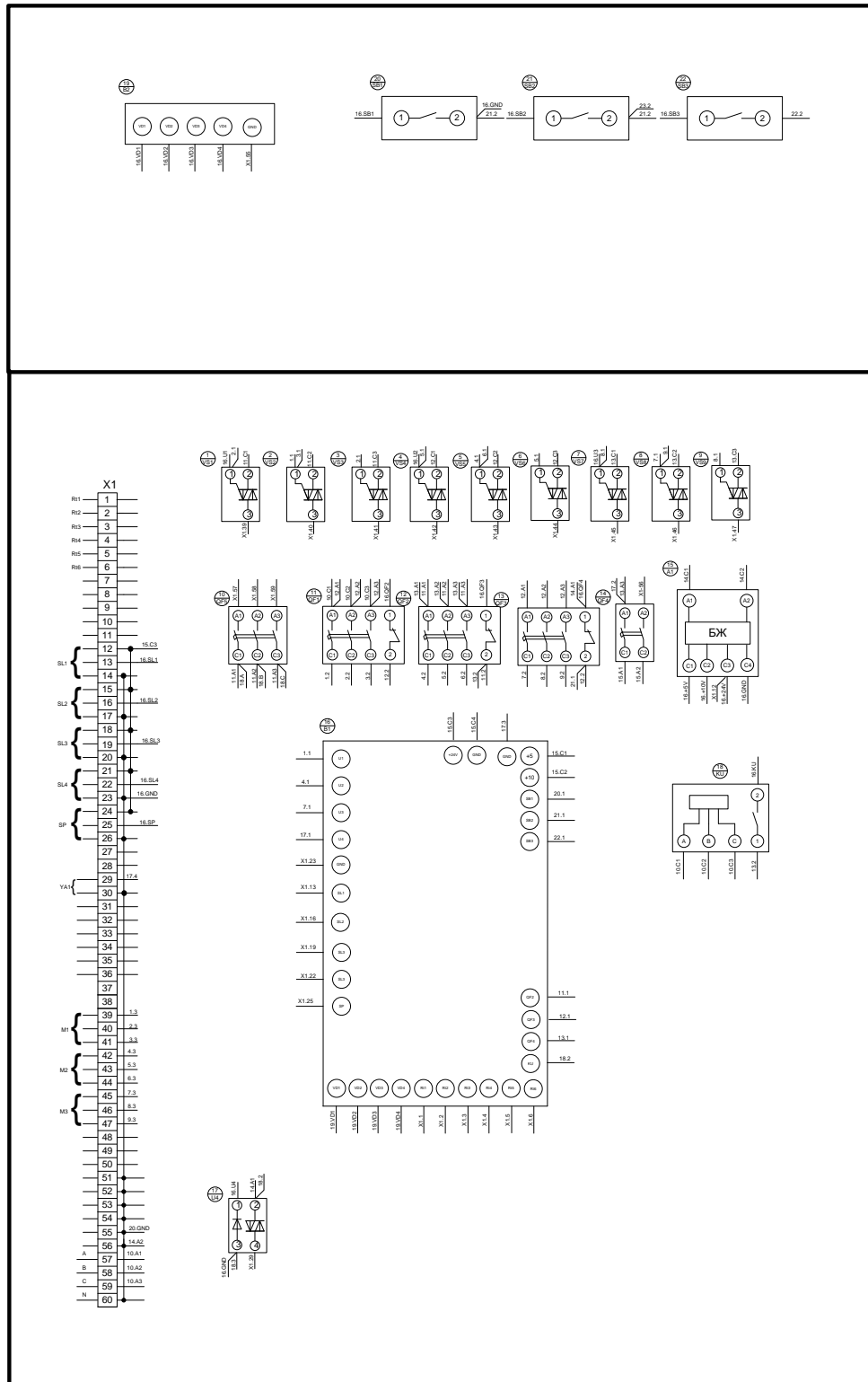


Рисунок 4.1 - Схема з'єднань

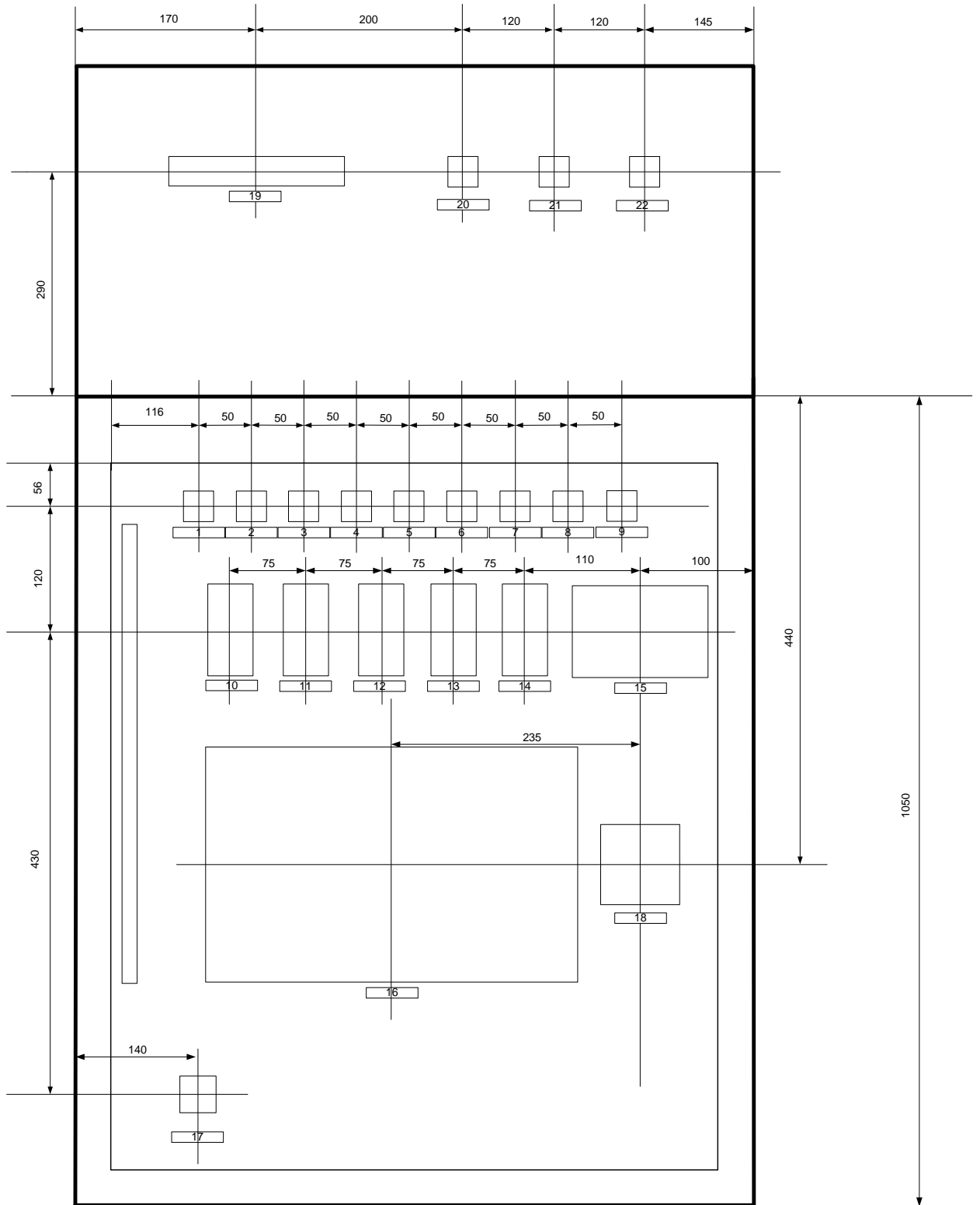


Рисунок 4.2 - Схема пульта управління

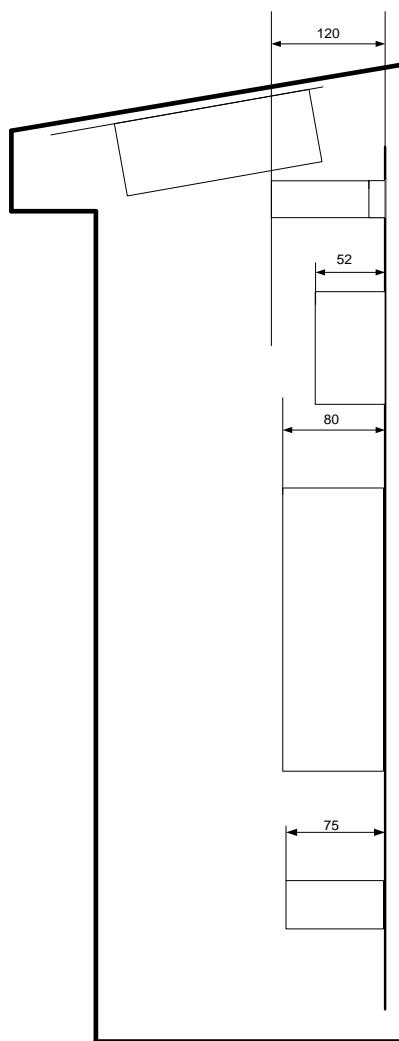


Рисунок 4.3 - Схема розміщень елементів вид збоку

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній магістерській роботі мною було розроблено мікропроцесорну систему керування компресорною станцією з використанням сучасних мікроконтролерних засобів, а також створено програмне забезпечення для візуалізації та управління процесом роботи станції. Крім того, були спроектовані й оформлені такі схеми: функціональна, схема зовнішніх з'єднань, принципова електрична схема та схема монтажу електрокомпонентів. У ході виконання роботи були поставлені та реалізовані такі завдання:

- проведено аналіз принципу роботи компресорної установки та досліджено можливі напрямки її удосконалення;
- на основі експериментальних випробувань визначено недоліки в роботі установки та запропоновано шляхи їх усунення;
- основними напрямками модернізації стали встановлення додаткових датчиків для контролю параметрів пневмосистеми, розроблення мікропроцесорної системи керування та створення відповідного програмного забезпечення;
- виконано необхідні інженерні розрахунки та проведено вибір технологічного обладнання;
- розроблено сучасну мікропроцесорну систему автоматизованого керування роботою компресорної лінії;
- доведено, що впровадження запропонованих заходів підвищує надійність та ефективність роботи компресорної установки, зменшує кількість відмов та аварій, а також скорочує експлуатаційні витрати.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Саліхов М.М. Самокеровані автомобілі та системи їх навігації// Навч. посібник / В. Є. Бахрушин. – Запоріжжя: КПУ, 2011. – 268 с
2. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Дубиняк С.Г. Теорія технічних систем. - К.: Тернопіль, 1998.-310с.
3. Стеклов В.К. Проектування систем автоматичного керування. - К.:Вища школа,1995.-231 с.
4. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. Х.: Майдан, 2018. 262 с.
5. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій.- К.:Вища школа,1995.-519 с.
6. Рудик А. В. Наукові основи та принципи побудови приладової системи.
7. Koval V., Adamiv O., Proc. of the Third IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2005). – Sofia (Bulgaria). – 2005. – P. 120- 124.
8. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Бріцький О.І. Теорія автоматичного управління. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.
9. Довідник по автоматизації с/г виробництва //За ред. І.І. Мартиненка.-К.:Урожай,1985.-212 с.
10. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. Х.: Майдан, 2018. 262 с.
11. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., – К.: Либідь, 2007. - 656 с.
12. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підручник/ Ладанюк А.П.,Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. – К.: Аграрна освіта, 2001 – 224 с.

13. Навігаційні системи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. Спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / С.Л. Лакоза; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 80 с
14. Simulink Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink>.
15. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. Львів : Афіша, 2005. 350 с.
16. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці : навч. посіб. 3-є вид., стереотипн. Львів : «Новий Світ – 2000». 2006. 232 с.
17. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.
18. Конституція України. Київ : Андронум, 2020. 60 с.
19. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 21.10.2024).
20. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 03.11.2024).
21. Про систему громадського здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#n840> (дата звернення 03.11.2024).
22. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 29.10.2024).
23. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14> (дата звернення 24.10.2024).
24. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 17.11.2024).
25. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 07.10.2024).

26. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

27. Вікіпедія. Вільна енциклопедія : веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 31.09.2024).

28. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.

29. Іванов В. Г., Дзюндзюк Б. В., Олександров Ю. М. Охорона праці в електроустановках : навч. посіб. / за ред. В. Г. Іванова. Київ : Око, 1994. 226 с.