

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Інститут ЕСК Кафедра АВКТ
Спеціальність 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри АВКТ
д.т.н., проф. Федір МАТІКО
“___” _____ 20___ р.

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Васін Віктор Юрійович

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизація системи кондиціонування повітря виробничих приміщень технологічного процесу виготовлення аміачної селітри
затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р., № 1766-4-08
2. Термін здачі студентом закінченої роботи “ 13 ” червня 2025 р.
3. Вихідні дані для роботи:
 1. Технологічна схема
 2. Опис технологічного процесу
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які належить розробити):

Вступ

 1. Аналіз технологічного процесу, як об’єкта керування
 2. Техніко-економічне обґрунтування функціональної схеми автоматизації
 3. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації
 4. Розроблення та опис розгорнутої функціональної схеми автоматизації
 5. Програмне забезпечення системи автоматизації
 6. Принципові електричні схеми з’єднань засобів автоматизації
 7. Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання температури повітря у виробничому приміщенні
 8. Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації
 9. Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації

Висновки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):
 1. Функціональна схема автоматизації
 2. Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації
 3. Принципова електрична схема з’єднань засобів автоматизації
 4. Моделювання системи автоматичного регулювання температури повітря у виробничому приміщенні

6. Консультанти роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економіки</i>	<i>доц. Наталія МИХАЙЛИК</i>		
<i>Охорони праці</i>	<i>доц. Юрій КІТ</i>		
<i>Моделювання</i>	<i>доц. Ганна КРИХ</i>		
<i>Мікропроцесорних програмованих засобів автоматизації</i>	<i>доц. Ігор КОСТИК</i>		

7. Дата видачі завдання: 19 травня 2025р.Керівник роботи: _____ / Ігор ДЕМКІВ /
(підпис)Завдання прийняв до виконання: _____ / Віктор ВАСІН /
(підпис)

Календарний план

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ</i>	<i>21.05.2025р.</i>	
2.	<i>Аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування</i>	<i>21.05.2025р.</i>	
3.	<i>Техніко-економічне обґрунтування функціональної схеми автоматизації</i>	<i>22.05.2025р.</i>	
4.	<i>Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації</i>	<i>23.05.2025р.</i>	
5.	<i>Розроблення та опис розгорнутої функціональної схеми автоматизації</i>	<i>26.05.2025р.</i>	
6.	<i>Програмне забезпечення системи автоматизації</i>	<i>28.05.2025р.</i>	
7.	<i>Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання температури повітря у виробничому приміщенні</i>	<i>30.05.2025р.</i>	
8.	<i>Принципові електричні схеми з'єднань засобів автоматизації</i>	<i>02.06.2025р.</i>	
9.	<i>Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації</i>	<i>05.06.2025р.</i>	
10.	<i>Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації</i>	<i>10.06.2025р.</i>	
11.	<i>Висновки</i>	<i>12.06.2025р.</i>	

Студент: _____ / Віктор ВАСІН /
(підпис)Керівник роботи: _____ / Ігор ДЕМКІВ / (підпис)

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто комплексне завдання автоматизації системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях технології виготовлення аміачної селітри. Робота спрямована на проектування сучасної автоматизованої системи керування мікрокліматом із використанням програмованого логічного контролера Vision V570, з метою забезпечення стабільної температури повітря, енергоефективної та безпечної експлуатації обладнання на виробництві з підвищеним рівнем вибухо- та пожежонебезпеки.

У першому розділі проведено аналіз технологічного процесу кондиціонування повітря як об'єкта керування. Надано опис технології виробництва аміачної селітри, виявлено чинники, що впливають на зміну температури у приміщенні, сформульовано вимоги до якості регулювання температурного режиму та побудовано структурну схему взаємозв'язку параметрів.

У другому розділі обґрунтовано вибір координат автоматизації — регульованої величини, збурення та керуючої дії. Розглянуто можливі варіанти реалізації системи керування, визначено техніко-економічні показники.

У третьому розділі обрано технічні засоби автоматизації: первинні вимірювальні перетворювачі температури, приводи жалюзі, компресорно-конденсаторний агрегат, а також ПЛК Vision V570, що підтримує Modbus та має вбудовані комунікаційні інтерфейси. Надано короткий опис та технічні характеристики обраного обладнання.

У четвертому розділі представлено розгорнуту функціональну схему автоматизації системи кондиціонування з описом контурів регулювання, взаємозв'язків між елементами системи, а також принципу її функціонування. Схема наведена на аркуші 1 графічних матеріалів.

У п'ятому розділі розроблено програмне забезпечення ПЛК з урахуванням алгоритму ПД-регулювання, керування виконавчими механізмами, аварійним моніторингом. Програмна реалізація представлена на аркуші 2 графічної частини.

У шостому розділі наведено принципову електричну схему підключення обладнання системи кондиціонування, з урахуванням норм електробезпеки, захисту та надійного з'єднання між приладами. Схема зображена на аркуші 3 графічних матеріалів.

У сьомому розділі виконано математичне моделювання системи регулювання температури повітря у виробничому приміщенні в середовищі MATLAB/Simulink. Побудовано модель об'єкта, визначено функцію передачі, змодельовано перехідні процеси й розраховано оптимальні параметри ПД-регулятора, а також проведено перевірку моделі на адекватність.

У восьмому розділі розглянуто питання охорони праці на хімічному виробництві, зокрема враховано вибухонебезпечність аміачної селітри. Наведено технічні рішення щодо вибухозахисту, електробезпеки, освітлення, вентиляції, пожежогасіння та безпечної експлуатації автоматизованої системи.

У дев'ятому розділі обґрунтовано економічну ефективність впровадження автоматизованої системи кондиціонування. Проведено кошторис витрат, розраховано економію енергії, зниження витрат на оплату праці та строк окупності проєкту.

ANNOTATION

The bachelor's thesis addresses the complex task of automating the air conditioning system in the production facilities of the ammonium nitrate production technology. The work is aimed at designing a modern automated microclimate control system using the Vision V570 programmable logic controller to ensure stable air temperature, energy-efficient and safe operation of equipment in production facilities with an increased level of explosion and fire hazard.

The first chapter analyzes the technological process of air conditioning as a control object. It describes the ammonium nitrate production technology, identifies the factors that affect the temperature change in the room, formulates the requirements for the quality of temperature control, and builds a structural diagram of the parameters' interconnection.

The second chapter substantiates the choice of automation coordinates, i.e., the controlled variable, disturbance, and control action. Possible options for implementing the control system are considered, and technical and economic indicators are determined.

In the third chapter, the technical means of automation are selected: primary temperature measuring transducers, louver drives, a compressor and condenser unit, and a Vision V570 PLC that supports Modbus and has built-in communication interfaces. A brief description and technical characteristics of the selected equipment are provided.

The fourth chapter presents a detailed functional diagram of the air conditioning system automation with a description of the control loops, the interconnections between the system elements, and the principle of its operation. The diagram is shown on sheet 1 of the graphic materials.

In the fifth chapter, the PLC software is developed taking into account the PID control algorithm, actuator control, and emergency monitoring. The software implementation is presented on sheet 2 of the graphic part.

The sixth chapter provides a schematic electrical diagram of the air conditioning

system equipment connection, taking into account electrical safety standards, protection and reliable connection between devices. The diagram is shown on sheet 3 of the graphic materials.

The seventh chapter, we performed mathematical modeling of the air temperature control system in a production facility in MATLAB/Simulink. A model of the object was built, the transfer function was determined, transient processes were modeled, and the optimal parameters of the PID controller were calculated, as well as the model was tested for adequacy.

The eighth chapter discusses the issues of labor protection in chemical production, in particular, the explosive hazard of ammonium nitrate. Technical solutions for explosion protection, electrical safety, lighting, ventilation, fire extinguishing, and safe operation of the automated system are presented.

The ninth chapter substantiates the cost-effectiveness of implementing an automated air conditioning system. The cost estimates were made, energy savings, reduced labor costs, and the payback period of the project were calculated.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.	14
1.1. Опис технологічного процесу	14
1.2 Аналіз факторів, що впливають на перебіг технологічного процесу	15
1.3 Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта	17
1.4 Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та їхніх допустимих відхилень	21
1.5 Технологічна карта.....	22
1.6 Складання структурної схеми взаємозв'язків параметрів об'єкта керування ..	23
Висновок:.....	24
РОЗДІЛ 2 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	25
2.1 Аналіз характеристик взаємозв'язку між параметрами об'єкта керування	26
2.2 Обґрунтування та вибір координат регулювання, вимірювання, контролю, сигналізації, захисту та блокування	27
2.3 Визначення функціональних ознак системи автоматизації.....	28
2.4 Порівняльний аналіз існуючих схем керування та розроблення оптимальної функціональної схеми автоматизації спрощеним способом	29
РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	30
3.1 Вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми.....	31
3.1.1 Обґрунтування вибору вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів.....	31
3.1.2 Технічні характеристики вибраних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів.....	33
3.2 Мікропроцесорний програмований засіб автоматизації.....	40
3.2.1 Обґрунтування вибору мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації та опис його технічних характеристик	40
3.2.2 Конфігурація та налаштування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації.....	43
3.3 Специфікація технічних засобів автоматизації	45
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	

РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС	48
РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	50
5.1 Алгоритми функціонування контурів системи автоматизації.....	50
5.2 Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації	58
РОЗДІЛ 6 ПРИНЦИПОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ З'ЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	70
РОЗДІЛ 7 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕННІ	72
7.1 Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів	74
7.1.2 Перевірка адекватності динамічної моделі	80
7.2 Вибір структурної схеми системи регулювання	82
7.3 Параметрична оптимізація системи регулювання	82
7.3.1 Розрахунок параметрів настроювання ПІД-регулятора.....	84
7.4 Моделювання та дослідження системи регулювання	88
Висновок:.....	91
РОЗДІЛ 8 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	92
8.1 Технічні рішення щодо вибухонебезпеки та захисту при роботі з аміачною селітрою.....	93
8.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	94
8.2.1 Виробниче освітлення.....	94
8.2.2 Склад повітря робочої зони.....	96
8.2.3. Мікроклімат виробничого приміщення	97
8.2.4 Шум та вібрація у приміщенні	98
8.3 Пожежна безпека	99
8.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	100
8.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту	100
РОЗДІЛ 9 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	101
9.1 Розрахунок і обґрунтування витрат на здійснення заходів для автоматизації	101

9.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	103
9.3 Розрахунок впливу автоматизації на техніко-економічні показники	104
9.4 Розрахунок кількості основних працівників та їх щорічної заробітної плати	105
9.5 Розрахунок експлуатаційних витрат на автоматизацію	106
Висновок:.....	110
ВИСНОВКИ	111
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	112

ВСТУП

Сучасні виробничі процеси вимагають забезпечення оптимальних умов праці та функціонування технологічного обладнання, що є невід'ємною складовою ефективного та безпечного виробництва. Особливе значення в цьому контексті має система кондиціонування повітря, яка забезпечує стабільний мікроклімат у виробничих приміщеннях. Це особливо актуально для підприємств хімічної промисловості, зокрема у виробництві аміачної селітри, де дотримання строгих параметрів температури є критично важливим для якості продукції, збереження обладнання та безпеки персоналу.

Аміачна селітра, або нітрат амонію — це хімічна сполука, яка широко використовується як мінеральне азотне добриво та компонент для промислових вибухових речовин. Вона є білою кристалічною речовиною, добре розчинною у воді.

Одним із ключових аспектів у виробництві аміачної селітри є контроль за температурним режимом, який може впливати на перебіг хімічних реакцій та властивості кінцевого продукту. Недотримання цього параметру може призвести до зниження якості продукції, збільшення витрат енергії та виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних із утворенням вибухонебезпечних газів.

У даній роботі розглядається розробка та впровадження автоматизованої системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях, що задіяні в технологічному процесі виготовлення аміачної селітри. Основною метою є створення системи, здатної забезпечити точне регулювання та підтримання необхідних параметрів мікроклімату, що є критично важливим для стабільності технологічного процесу та безпеки персоналу.

Результати цієї дипломної роботи можуть мати практичну цінність, оскільки сприятимуть покращенню умов праці, підвищенню енергоефективності підприємства, зменшенню експлуатаційних витрат та мінімізації негативного впливу на довкілля.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Опис технологічного процесу

Система кондиціонування повітря на виробництві аміачної селітри відіграє критично важливу роль, оскільки забезпечує ефективне видалення та нейтралізацію шкідливих газів, що утворюються в процесі хімічних реакцій, а також підтримання необхідних мікрокліматичних параметрів у виробничих приміщеннях. Це, у свою чергу, сприяє дотриманню вимог охорони праці, забезпечує безпеку персоналу та знижує негативний вплив на навколишнє середовище[1].

На даному підприємстві доцільно застосовувати автоматизовану систему припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла, що дозволяє видаляти небезпечні викиди, зокрема аміак та оксиди азоту, з робочого простору, та подавати в приміщення очищене, термічно оброблене повітря. Це забезпечує повітряний баланс і сприятливі умови праці для працівників[20].

Система складається з комплексу обладнання, що виконує очищення, нагрів або охолодження повітря, контроль витрати і температури. Повітря з вулиці надходить у припливний повітропровід, проходить фільтрацію, при необхідності – охолодження за допомогою компресорно-конденсатного агрегату або підігрів у водяному калорифері, після чого за допомогою вентилятора подається в робочу зону. Водночас забруднене повітря з приміщення видалається витяжним вентилятором через фільтри у зовнішнє середовище[20].

З метою зменшення енерговитрат у вентиляційній системі використовується пластинчастий рекуператор, у якому тепло від витяжного повітря передається припливному. Повітря з вулиці додатково підігрівається в калорифері, що живиться магістральною гарячою водою. Регулювання температури здійснюється за допомогою трьох температурних датчиків: в приміщенні, на вході в систему та на зворотному трубопроводі калорифера.

Особливу увагу приділено фільтрації повітря. Система оснащена двома групами фільтрів — на вході припливного та витяжного повітря. Кожна група обладнана давачами перепаду тиску, що дозволяють відстежувати рівень забруднення фільтрів. У разі перевищення граничного значення, спрацьовує сигналізація, а вентилятор аварійно відключається[4].

У процесі виробництва аміачної селітри у повітря надходять шкідливі сполуки, серед яких:

- ✓ Аміак (NH_3) — небезпечний газ, що викликає подразнення дихальних шляхів, очей і шкіри;
- ✓ Оксиди азоту (NO_x) — токсичні сполуки, що впливають на органи дихання;
- ✓ Дисперсний пил та аерозолі, що утворюються при грануляції та упаковці;
- ✓ Вуглекислий газ (CO_2) — контроль його рівня необхідний для забезпечення сприятливого повітряного середовища[3].

Згідно з українськими нормативами охорони праці, гранично допустима концентрація аміаку становить 20 мг/м^3 , оксидів азоту — 2 мг/м^3 при восьмигодинному робочому дні[21].

Система автоматизації виконує контроль усіх вхідних і вихідних потоків. До вхідних належать: повітря з вулиці, витяжне повітря з приміщення, магістральна гаряча вода в калорифер, електроенергія для приводу вентиляторів. До вихідних — очищене та підігріте припливне повітря, витяжне очищене повітря, а також підігріта вода з калорифера. Автоматизований контроль забезпечує точність регулювання, оперативне реагування на зміну умов і стабільність параметрів повітряного середовища в робочих зонах.

1.2 Аналіз факторів, що впливають на перебіг технологічного процесу

З урахуванням теоретичних досліджень встановлено, що на ефективність функціонування системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях цеху виготовлення аміачної селітри впливають як зовнішні, так і внутрішні фактори.

У процесі кондиціонування повітря однією з ключових змінних є зовнішні кліматичні умови — температура, вологість, швидкість вітру. Наприклад, при значному зниженні температури навколишнього середовища взимку система потребує більшого енергоспоживання для підігріву припливного повітря, що впливає на загальну енергоефективність і експлуатаційні витрати[22].

Водночас, значний вплив мають внутрішні характеристики виробничого середовища. До основних внутрішніх факторів, що визначають ефективність роботи системи кондиціонування, належать[22]:

1. Габарити та конфігурація виробничих приміщень. У виробничих цехах, де відбувається грануляція та фасування аміачної селітри, великі об'єми та складна геометрія простору можуть ускладнювати рівномірний розподіл температури та очищеного повітря. Це вимагає грамотного проектування вентиляційної системи та оптимального розміщення її елементів.

2. Внутрішні теплові надлишки. Технологічне обладнання, хімічні реакції та тепловиділення від сировини створюють додаткове навантаження на систему кондиціонування. Це потребує автоматичного коригування температурних параметрів з урахуванням змін у тепловому балансі приміщення.

3. Теплоізоляція будівельних конструкцій. Втрати тепла через неутеплені стіни, дахи та вікна знижують ефективність кондиціонування повітря, що особливо критично для підтримання постійного мікроклімату в умовах виділення аміаку. Тому якісна ізоляція є обов'язковою умовою для забезпечення стабільної роботи системи.

4. Режим роботи системи кондиціонування. Оптимізація режимів функціонування — автоматичне перемикання режимів обігріву, охолодження, рециркуляції — дозволяє оперативно реагувати на зміни

параметрів повітря в цеху, мінімізуючи витрати енергії та забезпечуючи відповідність нормативним значенням вмісту шкідливих речовин.

5. Енергоспоживання та ефективність. Особливу увагу слід приділити застосуванню енергоефективного обладнання — частотних перетворювачів, рекуператорів, водяних калориферів із автоматичним регулюванням. Це дозволяє знизити навантаження на енергосистему підприємства та зменшити викиди парникових газів.

Крім технічних факторів, важливо враховувати і людський фактор — правильна експлуатація обладнання, технічне обслуговування та підвищення кваліфікації персоналу мають прямий вплив на надійність та безперервність роботи автоматизованої системи кондиціонування[22].

Комплексний аналіз зазначених факторів дає змогу виявити можливі вузькі місця у функціонуванні системи, а також обґрунтувати шляхи її модернізації з урахуванням вимог безпеки, енергоефективності, захисту довкілля та комфорту працівників.

1.3 Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта

Для проєктування автоматизованої системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях, де здійснюється технологічний процес виготовлення аміачної селітри, ключовим етапом є розрахунок необхідної витрати повітря, що подається для компенсації надлишків теплоти в середовищі. Такий розрахунок базується на складанні теплового балансу приміщення, який дозволяє визначити потужність системи кондиціонування, необхідну для підтримки допустимих температурних режимів та мікроклімату, відповідно до норм безпеки і технологічних вимог[22].

У виробничих умовах, де активно виділяються токсичні речовини (аміак, оксиди азоту), а також значна кількість теплоти – від обладнання, персоналу, сонячної радіації та інших джерел – об'єктивна оцінка теплового балансу має

критичне значення для точного налаштування автоматизованої системи кондиціонування[4].

1. Теплопостачання від людей:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^{i=m} q_i \cdot n_i, \quad (1.1)$$

Де m – число груп людей у приміщенні з рівною інтенсивністю праці в групі;

q_i – кількість теплоти, що виділяється однією людиною в даній групі;

n_i – число людей у даній групі.

Величина q_i залежно від роду робіт орієнтовно змінюється від 100 до 300 Вт.

2. Кількість теплоти, що виділяється джерелами штучного освітлення:

$$Q_2 = 3600 \cdot \sum_{i=1}^{i=m} w_i \cdot n_i, \quad (1.2)$$

Де m – число груп однорідних світильників;

w_i – потужність одиничного світильника i -ої групи, кВт;

n_i – число однорідних світильників у групі.

3. Кількість теплоти, що виділяє верстатне устаткування:

$$Q_3 = 3600 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \sum_{i=1}^{i=m} w_i \cdot n_i, \quad (1.3)$$

Де m – число груп однорідних верстатів;

w_i – потужність привода одного верстата в i -шій групі;

n_i – число верстатів у даній групі;

k_1 – коефіцієнт одночасності роботи устаткування:

$$k_1 = \frac{n_p}{n_y}, \quad (1.4)$$

Де n_p – число працюючих верстатів;

n_y – число встановлених верстатів;

k_2 – коефіцієнт навантаження устаткування:

$$k_2 = \frac{N_D}{N_H}, \quad (1.5)$$

Де N_D – дійсна споживана потужність електродвигуна;

N_H – номінальна потужність електродвигуна;

k_3 – коефіцієнт виділення теплоти устаткуванням у приміщення:

$$k_3 = \frac{N_B}{N_D}, \quad (1.6)$$

Де N_B – теплова потужність, передана в повітря приміщення;

N_D – дійсна потужність, споживана верстатом або встаткуванням.

4. Кількість теплоти, що виходить або надходить у приміщення через зовнішні й внутрішні стіни:

$$Q_4 = k(t_3 - t_6), \quad (1.7)$$

Де k – коефіцієнт теплопередачі стіни;

t_3, t_6 – температури зовнішнього й внутрішнього повітря.

5. Кількість теплоти, що надходить або виходить із приміщення з повітрям, яке інфільтрується, тобто надходить або виходить із приміщення через віконні й дверні прорізи й інші нещільності:

$$Q_5 = L_H(i_3 - i_6), \quad (1.8)$$

Де L_H – витрата інфільтрованого повітря (визначається за будівельними довідниками залежно від типу відповідної конструкції);

i_3, i_6 – ентальпія зовнішнього й внутрішнього повітря.

6. Кількість теплоти, що виділяється в приміщенні при роботі відкритих вогнетехнічних пристроїв:

$$(1.9)$$

$$Q_6 = M_T \cdot Q_H^p \cdot \eta_i,$$

Де M_T – витрата палива на пальниковому пристрої;

Q_H^p – робоча нижча теплотворна здатність палива;

η_i – КПД пристрою.

7. Кількість теплоти, що надходить від сонячної радіації:

$$Q_7 = C_0 \frac{\sin(h) \cdot \cos \theta}{\sin(h) + 0,33} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (1.10)$$

C_0 — це сонячна стала, яка становить приблизно 4500 кДж/(м²·год) і визначає кількість теплової енергії, що надходить на 1 м² поверхні за годину, якщо ця поверхня розташована перпендикулярно до напрямку сонячного випромінювання.

h — кут висоти Сонця над горизонтом у певний момент доби для заданої місцевості, виражений у радіанах.

α — кут між напрямком сонячного випромінювання та площиною застелення вікон.

Коефіцієнти k_1 , k_2 , k_3 враховують:

- ✓ k_1 — тип скла;
- ✓ k_2 — ступінь його забруднення;
- ✓ k_3 — часткове затемнення світлових прорізів рамами або іншими елементами конструкції.

На основі проведеного теплового аналізу обчислюється результуюче теплове навантаження $Q_{рез}$, яке являє собою алгебраїчну суму всіх джерел теплопоступлень і втрат у приміщенні. Побудова графіка зміни $Q_{рез}$ упродовж доби дозволяє визначити пікове значення, яке приймається, як розрахункова величина надлишкової теплоти для подальшого проектування системи кондиціонування.

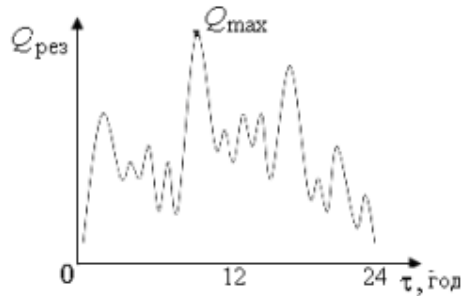


Рисунок 1.5 Зміна надлишків тепла по годинах доби у приміщенні

1.4 Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та їхніх допустимих відхилень

Для забезпечення стабільної та ефективної роботи автоматизованої системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях, де здійснюється технологічний процес виготовлення аміачної селітри, необхідно дотримуватись визначених температурних меж експлуатації обладнання[4]. Зокрема, запуск теплового модуля (підігрівача) рекомендується здійснювати лише за умов, коли температура зовнішнього повітря знаходиться в межах від $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура повітря всередині приміщення — в діапазоні від $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У разі виходу температури за встановлені межі, автоматизована система захисту зупиняє роботу підігрівача для запобігання аварійним або нештатним режимам. У разі якщо температура в приміщенні буде вища ніж ми плануємо у теплий період, ми використовуємо компресорно-конденсаторний агрегат для охолодження повітря

У процесі роботи система кондиціонування з тепловим насосом (підігрівачем) здійснює перенесення теплової енергії із зовнішнього повітря до внутрішнього середовища приміщення. Це дозволяє підтримувати необхідний мікроклімат для стабільного перебігу технологічних операцій. Однак при значному зниженні температури навколишнього середовища ефективність теплоснімання зменшується, що призводить до зниження температури повітря на виході внутрішнього блоку кондиціонера.

Автоматизована система керування повинна враховувати ці зміни та оперативно адаптувати робочі параметри, щоб уникнути теплового дисбалансу у виробничому середовищі та забезпечити стабільні умови для технологічного процесу виготовлення аміачної селітри.

1.5 Технологічна карта

Таблиця 1.1

Технологічна карта

№ п/п	Назва параметру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	2	3	4	5
1	Температура навколишнього середовища	°C	-25 - +40	±2.5
2	Температура повітря в приміщенні	°C	12 - 22	±2
3	Температура теплоносія з мережі	°C	70 - 110	±5
4	Температура проміжного теплоносія перед теплообмінником	°C	12 – 20	±2
5	Перепади тиску на фільтрах	Па	100	±5

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
6	Перепад тиску на вентиляторах	Па	100	± 5
7	Концентрація аміаку	мг/м ³	20	± 1

1.6 Складання структурної схеми взаємозв'язків параметрів об'єкта керування

У процесі автоматизації системи кондиціонування повітря виробничих приміщень, де відбувається виготовлення аміачної селітри, важливе значення має контроль і регулювання ключових технологічних параметрів, що безпосередньо впливають на стабільність та ефективність роботи кондиціонувального обладнання[4].

Основні технологічні параметри:

Вхідні змінні:

- ✓ Температура зовнішнього повітря (T_z) — визначає теплове навантаження на систему кондиціонування та впливає на роботу теплообмінних елементів.
- ✓ Витрата зовнішнього повітря (F_z) — об'єм повітря, що надходить ззовні, необхідний для забезпечення належної вентиляції та підтримки заданих параметрів мікроклімату.

Вихідні параметри (керовані величини):

- ✓ Температура повітря у виробничому приміщенні (T_p) — один із головних показників, що підлягає стабільному автоматизованому регулюванню для підтримки оптимальних умов технологічного процесу.
- ✓ Витрата повітря у приміщенні (F_p) — визначає ефективність

розподілу кондиціонованого повітря в робочій зоні.

Збурюючі фактори (неконтрольовані, але впливові змінні):

- ✓ Температура мережевого теплоносія (T_m) — впливає на ефективність тепловіддачі в нагрівальних елементах системи.
- ✓ Перепад тиску на фільтрах (ΔP_f) — характеризує ступінь забруднення повітряних фільтрів, що може знижувати продуктивність і спричиняти додаткове енергоспоживання.
- ✓ Перепад тиску на вентиляторах (ΔP_v) — відображає навантаження на вентилятори та ефективність подачі повітря, що критично для рівномірного кондиціонування всього об'єму приміщення.

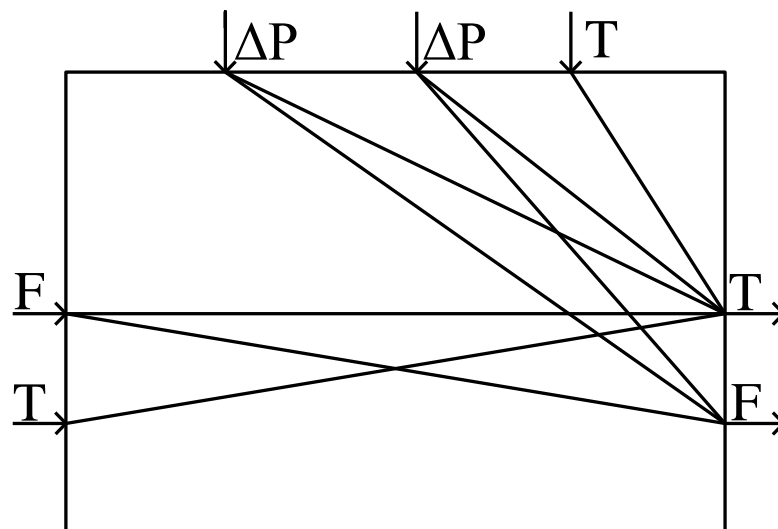


Рисунок 1.6 Структурна діаграма взаємозв'язків параметрів об'єкта управління

Висновок:

Перший розділ бакалаврської роботи присвячений комплексному аналізу системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях технологічного процесу виготовлення аміачної селітри. Розділ починається з детального опису технології виробництва, умов експлуатації та призначення системи кондиціонування повітря. Далі проаналізовано зовнішні та внутрішні фактори, що впливають на ефективність її роботи. Проводяться попередні розрахунки

повітрообміну, теплових надходжень і витрат, на основі яких визначаються номінальні режими роботи і допустимі відхилення. Окремо систематизуються технічні характеристики основного обладнання системи у вигляді технологічної таблиці, будується структурна схема взаємозв'язків між керуючими параметрами. Проведений аналіз створює необхідну інформаційну базу для наступного етапу - проектування автоматизованої системи регулювання параметрів мікроклімату в приміщенні.

СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Аналіз характеристик взаємозв'язку між параметрами об'єкта керування

У процесі автоматизації системи кондиціонування повітря виробничих приміщень з виробництва аміачної селітри спостерігається тісний взаємозв'язок між основними керованими параметрами: температурою, швидкістю повітряного потоку та якістю повітря (вмістом домішок). Зміна одного з них майже миттєво впливає на інші[4].

Наприклад, підвищення температури внаслідок технологічних процесів або зовнішніх впливів вимагає збільшення інтенсивності охолодження, що досягається шляхом регулювання продуктивності охолоджувача або об'єму рециркульованого повітря. У свою чергу зменшення температури сприяє конденсації пари, а надмірне охолодження може викликати дискомфорт або негативно впливати на продукцію. Водночас швидкість подачі повітря впливає не лише на температурне поле в приміщенні, а й на рівномірність розподілу повітря, а отже – на ефективність локального охолодження.

Кондиціонування повітря в таких приміщеннях має справу з інерційними процесами, де стабілізація заданих параметрів потребує часу. Наприклад, при різкій зміні температури в цеху внаслідок технологічного циклу аміачної селітри, система може знадобитися до декількох десятків секунд або хвилин для повернення до встановлених умов. Для компенсації таких затримок доцільним є використання методів керування з випередженням (feed-forward), які дозволяють на основі очікуваних змін оперативно коригувати подачу холодного повітря або змінювати конфігурацію повітряних заслінок[4].

2.2 Обґрунтування та вибір координат регулювання, вимірювання, контролю, сигналізації, захисту та блокування

Основними координатами для вимірювання в системі кондиціонування виробничих приміщень при виробництві аміачної селітри є: температура повітря, швидкість потоку, концентрація небезпечних домішок (наприклад, аміаку), а також параметри роботи компресорного обладнання та теплообмінників[22].

Кожен з цих параметрів контролюється за допомогою відповідних датчиків (термометри, анемометри, газоаналізатори), сигнали з яких надходять до центрального контролера, обробляються і відображаються на пульті оператора. Регулюючі контури оснащені виконавчими пристроями – електроприводами заслінок, частотними перетворювачами для вентиляторів. Наприклад, перевищення заданої температури активує збільшення швидкості вентилятора або відкриття клапана подачі холодоагенту.

Система сигналізації реагує на відхилення параметрів поза встановленими межами, які можуть загрожувати безпеці персоналу або стабільності технологічного процесу. Наприклад, концентрація аміаку вище допустимого порогу викликає аварійне повідомлення та вмикає систему аварійної вентиляції. Світлова і звукова сигналізація надає оператору змогу оперативно втрутитися в процес.

Система захисту реалізується при виявленні витoku аміаку активує аварійне провітрювання з утилізацією забрудненого повітря.

Усі ці функції – регулювання, вимірювання, індикація, сигналізація, захист і блокування – формують комплексну автоматизовану систему, що забезпечує безпечне, енергоефективне та стабільне функціонування мікроклімату у виробничих приміщеннях виробництва аміачної селітри.

2.3 Визначення функціональних ознак системи автоматизації

У цьому розділі наведено таблицю 2, де окреслено функціональні характеристики системи автоматизації процесу кондиціонування повітря виробничих приміщень технологічного процесу виготовлення аміачної селітри.

Таблиця 2

Функціональні ознаки системи автоматизації

№ п/п	Обсяг автоматизації	Індикація	Реєстрація	Визначення відхилення	Сигналізація	Дискретне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання
	Назва параметра								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Температура повітря в приміщенні	+	+		+				+
2	Температура теплоносія зі мережі	+	+		+				
3	Температура проміжного теплоносія перед теплообмінником 5	+	+		+				+
4	Перепад тиску на фільтрах та вентиляторах				+				
5	Ввімкнення/вимкнення вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі					+			
6	Концентрація аміаку	+	+		+	+			

2.4 Порівняльний аналіз існуючих схем керування та розроблення оптимальної функціональної схеми автоматизації спрощеним способом

Останні роки на ринку систем автоматизації спостерігається зростання пропозицій з боку виробників, які презентують різні рішення для кондиціонування та регулювання мікроклімату в промислових приміщеннях. Проте більшість з них мають подібні технічні характеристики й функціональність, що значно ускладнює проведення об'єктивного порівняльного аналізу та вибору оптимальної системи.

На основі аналізу технічної документації та спеціалізованої літератури було розроблено функціональну схему автоматизованої системи кондиціонування повітря для виробничих приміщень, у яких здійснюється технологічний процес виготовлення аміачної селітри. Спрощене зображення цієї схеми представлено на рисунку 2.4.

Запропонована система автоматизації реалізує шість основних контурів регулювання, контролю та сигналізації ключових технологічних параметрів:

- ✓ Контур 1 — автоматичне регулювання та сигналізація температури повітря у виробничому приміщенні для забезпечення стабільних умов технологічного процесу;
- ✓ Контур 2 — керування температурою теплоносія на вході до теплообмінника з метою підтримання ефективного теплообміну;
- ✓ Контур 3 — моніторинг температури теплоносія, що надходить із теплової мережі, з відповідною індикацією та аварійною сигналізацією;
- ✓ Контур 4 — контроль перепаду тиску на повітряних фільтрах та вентиляторах, що дозволяє своєчасно виявляти забруднення або несправності у вентиляційному тракті;
- ✓ Контур 5 — автоматизоване управління вентиляторами та жалюзійними заслінками для регулювання повітрообміну залежно від виробничих умов;

- ✓ Контур 6 — система моніторингу концентрації аміаку в повітрі та аварійного сповіщення у разі перевищення допустимих норм.

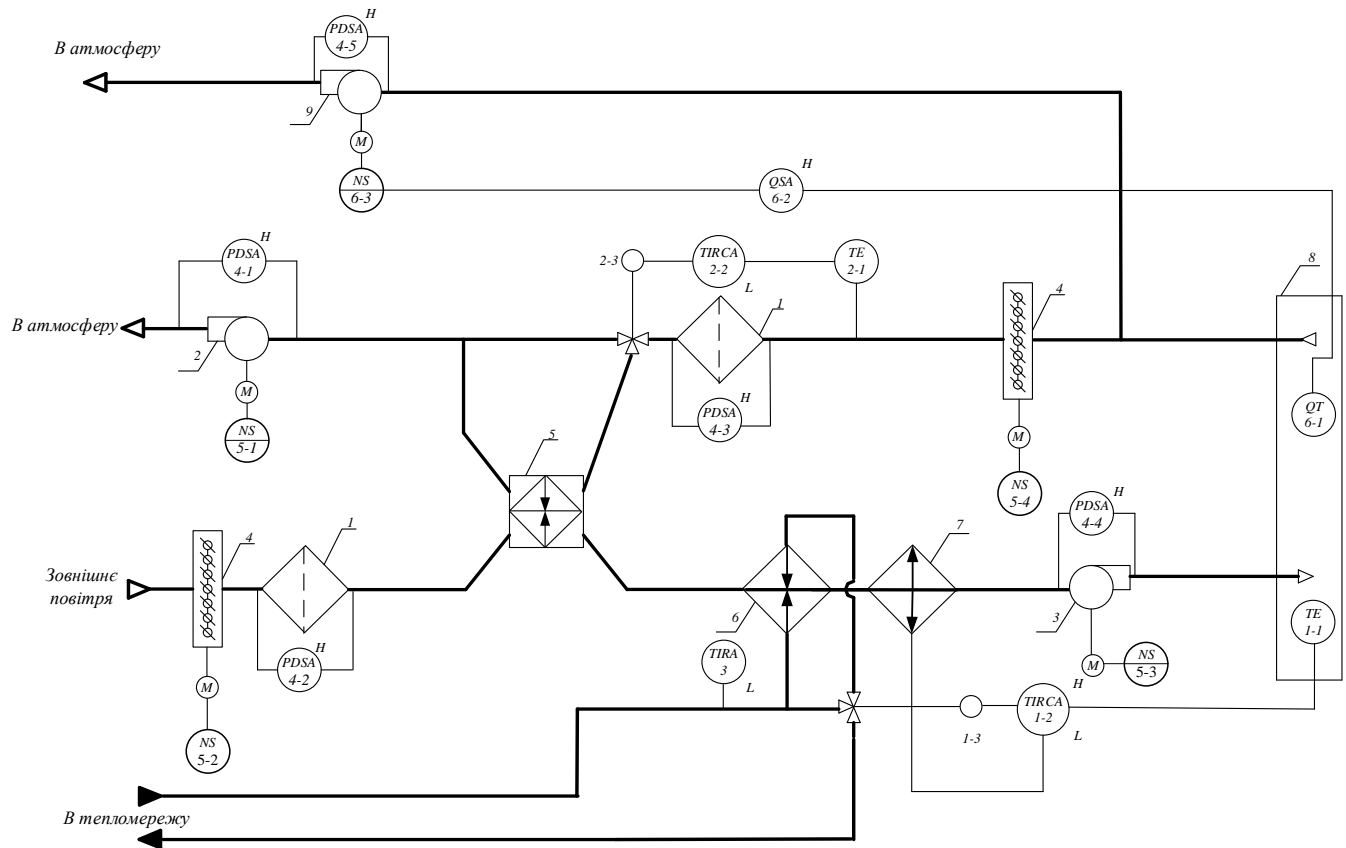


Рисунок 2.1 Спрощена функціональна схема автоматизації кондиціонування повітря виробничих приміщень технологічного процесу виготовлення аміачної селітри

Умовні позначення на рисунку 2.1:

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. Повітряний фільтр; | 2. Вентилятор витяжного повітря; |
| 3. Вентилятор припливного повітря; | 4. Жалюзі; |
| 5. Перехресний рекуператор; | 6. Калорифер |
| 7. Компресорно-конденсаторний агрегат; | 8. Виробниче приміщення; |
| 9. Вентилятор для відведення повітря при збільшенні концентрації аміаку. | |

АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми

3.1.1 Обґрунтування вибору вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

Контур 1. Регулювання та сигналізація температури повітря в приміщенні.

Температура припливного зовнішнього повітря контролюється давачем Autonics THD-R-PT/C (діапазон вимірювання: $-20\dots+60$ °C; аналоговий вихід: 4–20 мА)[23]. Отриманий сигнал надходить до програмованого логічного контролера Vision V570, який, на основі заданих параметрів, формує керуючу дію. Цей керуючий сигнал подається на сервопривід Danfoss AME435[6], який регулює положення трьохходового клапана Danfoss VRB3 (максимально допустимий перепад тиску — 1600 кПа, робоча температура — до 130 °C). Клапан регулює обсяг подачі мережевого теплоносія до теплообмінника №6, що забезпечує підігрів проміжного теплоносія для обігріву повітря, в теплий період року ми перемикаємось та охолоджуємо повітря за допомогою компресорно-конденсаторного агрегату Danfoss Optima Plus INVERTER (холодопродуктивність 6 кВт при 32 °C зовнішній температурі, продуктивність компресора 10 м³/год, максимальна напруга 360–440 В)[24]. Інформація про параметри і тривожні сигнали виводиться на операторську НМІ-панель.

Контур 2. Регулювання та сигналізація температури теплоносія перед теплообмінником.

Для контролю температури проміжного теплоносія перед теплообмінником 5 використовується термоперетворювач опору WİKA TFT35 (діапазон: $-50\dots+200$ °C, вихід: 4–20 мА)[10]. Сигнал надходить до ПЛК Vision V570, який формує відповідну команду на регулюючий привід Danfoss AME335. Цей привід змінює положення трьохходового клапана Danfoss VRB3 (P_{max} —

1600 кПа, T_{\max} — 120 °С), регулюючи обсяг проміжного теплоносія, що подається до теплообмінника.

Контур 3. Вимірювання та сигналізація температури теплоносія зі мережі.

Температура мережевого теплоносія, який надходить до системи, визначається термоперетворювачем WİKA TFT35. Дані передаються на контролер Vision V570, який здійснює моніторинг і виводить температуру на НМІ-панель. У разі перевищення допустимих значень система автоматично подає сигнал.

Контур 4. Сигналізація перепаду тисків на фільтрах та вентиляторах.

Для контролю перепаду тиску на фільтруючих елементах та вентиляторах використовується давач-реле Belimo 22ADP-18Q (робочий діапазон: 0–250 Па). При досягненні критичного перепаду тиску пристрій передає дискретний сигнал на ПЛК Vision V570. Система генерує відповідну візуальну сигналізацію на НМІ для сповіщення оператора про необхідність обслуговування або усунення несправності.

Контур 5. Увімкнення/вимкнення вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі.

Увімкнення/вимкнення припливних і витяжних вентиляторів, а також відкриття/закриття жалюзі виконується через кнопки на інтерфейсі НМІ. За командою ПЛК подається сигнал на електромагнітні пускачі Schneider LZ1H6X5BD (для вентиляторів) та електроприводи Belimo LM24A-S-TP які відкривають або закривають жалюзі. Це забезпечує повноцінне керування повітряними потоками у системі кондиціонування.

Контур 6. Перемикання та сигналізація концентрації аміаку в приміщенні

Для вимірювання концентрації аміаку в приміщенні було обрано промисловий давач концентрації аміаку в повітрі INTEC PolyGard DT5-1125 V1. Давач встановлений в робочому приміщенні який при досягненні критичного

значення подає сигнал на електромагнітний пускач Schneider LZ1H6X5BD, який приводить в рух вентилятор.

3.1.2 Технічні характеристики вибраних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

3.1.2.1 Давач температури у виробничому приміщенні Autonics THD-R-PT/C[23]

Давач температури у виробничому приміщенні Autonics THD-R-C призначений для вимірювання температури в приміщенні. Діапазон вимірювання (-19.9 до 60 °C) [23].

Загальний вигляд та схема електричного приєднання давача температури Autonics THD-R-C до ПЛК показана на рисунку 3.1.

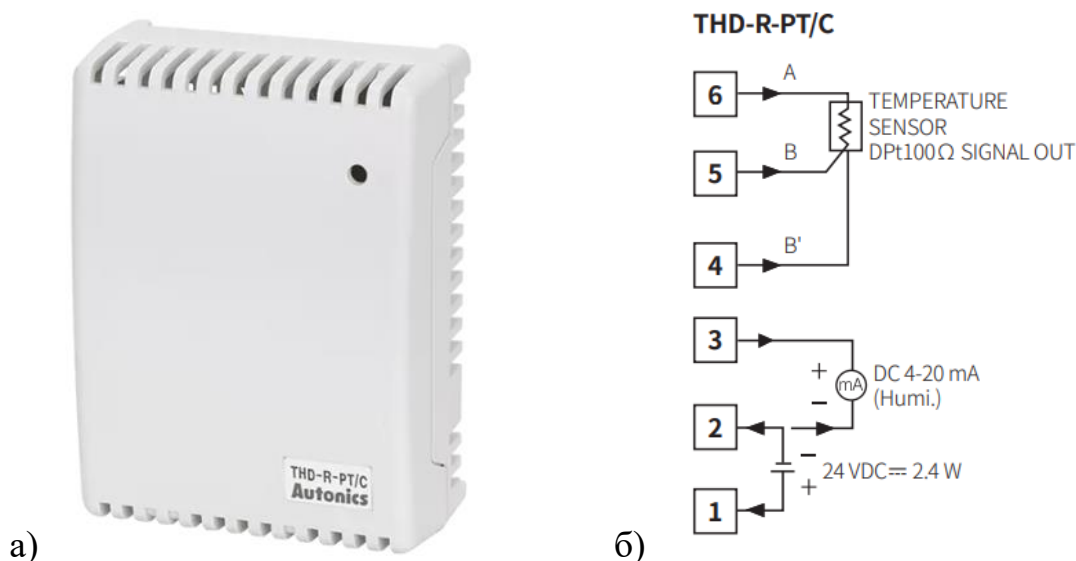


Рисунок 3.1. Давач температури у виробничому приміщенні Autonics THD-R-PT/C:

а) Загальний вигляд давача; б) Схема електричних з'єднань

3.1.2.2 Редукторний електропривід Danfoss AME435[6]

Редукторний електропривід Danfoss AME435 призначений для керування роботою регулювальних клапанів VRG2 та VRG3, VRB2 та VRB3, VF2 та VF3 діаметром від 15 до 80 мм, та в складі регуляторів типу АВ-QM діаметром від 40

до 100 мм.

Загальний вигляд та схема електричних приєднань редукторного електроприводу Danfoss серії AME435 показана на рисунку 3.2.

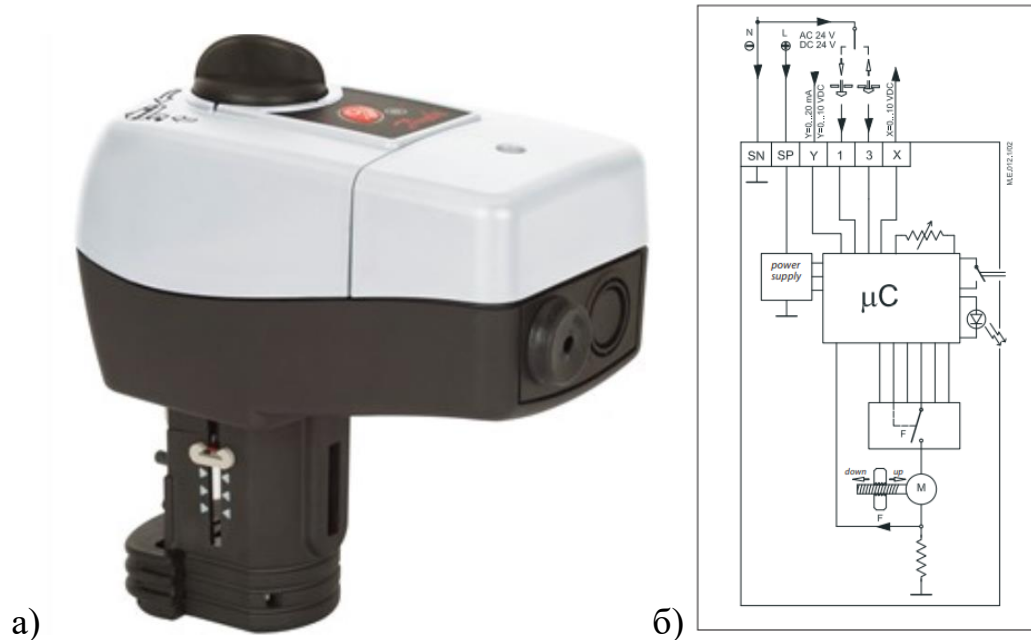


Рисунок 3.2. Редукторний електропривід Danfoss AME435:
 а) Загальний вигляд електроприводу; б) Схема електричних з'єднань

3.1.2.3 Регулюючий триходовий клапан Danfoss VRB3[28]

Регулюючий триходовий клапан Danfoss VRB3 застосовується в теплових пунктах будівель, системах опалення, гарячого та холодного водопостачання[28].

Допустимий перепад тисків P_{\max} 1600 кПа, робоча температура від -10 до 130°C.

Зовнішній вигляд регулюючого триходового клапану Danfoss VRB3 показаний на рисунку 3.3



Рисунок 3.3. Зовнішній вигляд регулюючого триходового клапану Danfoss VRB3

3.1.2.4 Компресорно- конденсаторний агрегат Danfoss Optima Plus INVERTER[24]

Компресорно-конденсаторний агрегат Danfoss Optima Plus INVERTER широко застосовується у холодильних системах[24].

Холодопродуктивність агрегату 6 кВт при 32 °С зовнішній температурі, продуктивність компресора 10 м³/год.

Зовнішній вигляд та схема електричних з'єднань компресорно-конденсаторного агрегату Danfoss Optima Plus INVERTER показані на рисунку 3.4.



а)

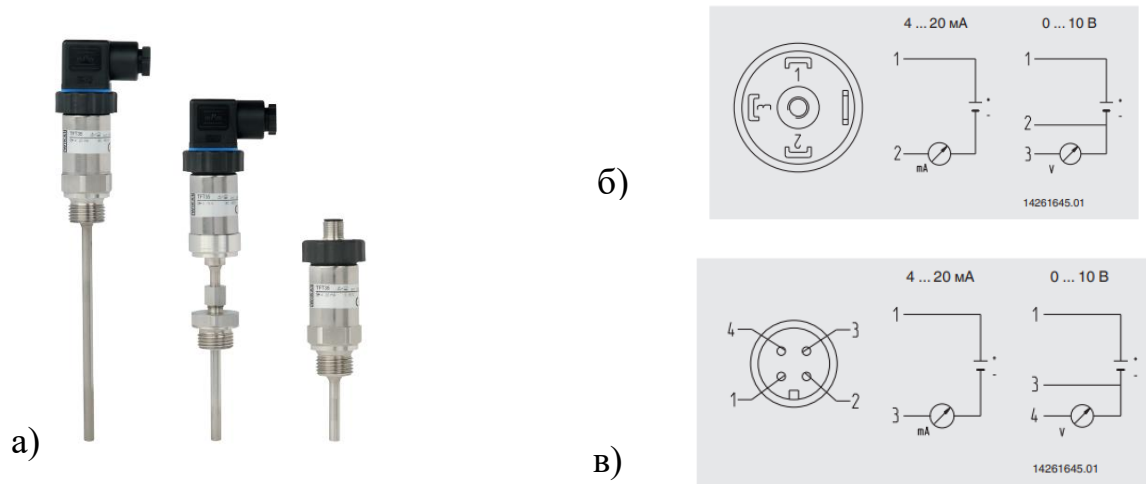


Рисунок 3.5. Термоперетворювач опору WIKА TFT35

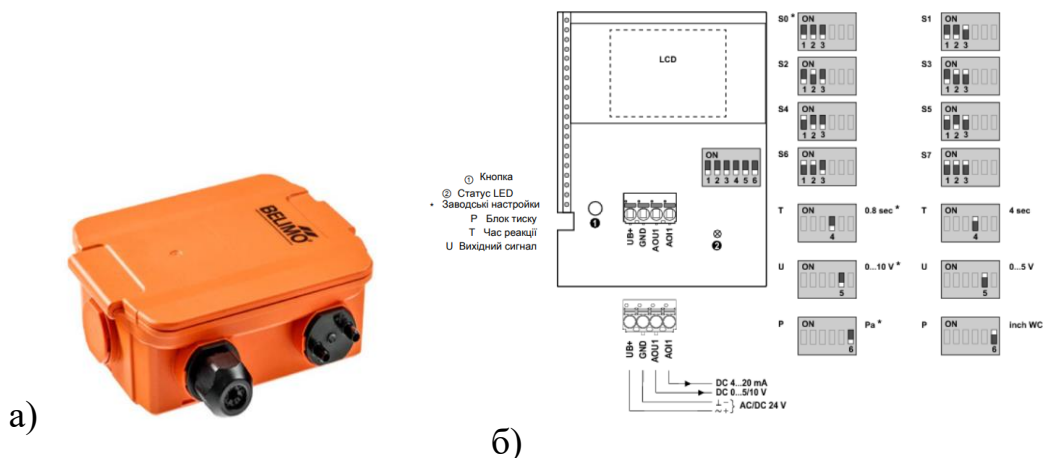
а) Зовнішній вигляд термоперетворювача; б) Схема електричних з'єднань кутового роз'єму; в) Схема електричних з'єднань круглого роз'єму

3.1.2.6 Вимірювальний перетворювач перепаду тиску Belimo 22ADP-18Q

Вимірювальний перетворювач перепаду тиску Belimo 22ADP-18Q призначений для вимірювання надлишкового тиску, розрідження або перепадів тиску повітря. Він вимірює перепади тиску на вентиляторах/кондиціонерах/системах опалення, їхню об'ємну витрату, а також перепади тиску між різними приміщеннями[11].

Вихідний сигнал 0-10В, діапазон вимірювання тиску 0-250 Па, температура повітря -10 - 50°C.

Зовнішній вигляд та схема електричного приєднання давача-реле тиску Belimo 22ADP-18Q показана на рисунку 3.6.



*Рисунок 3.6. Вимірювальний перетворювач перепаду тиску тиску Belimo
22ADP-18Q*

а) Зовнішній вигляд реле тиску; б) Схема електричних з'єднань

3.1.2.7 Ультракompактний пускач Schneider LZ1H6X5BD[26]

Ультракompактний пускач Schneider LZ1H6X5BD призначений для приведення в рух електроприводів вентиляторів приливної та витяжного повітря[26].

Номінальна робоча напруга 500 В змінний струм, клас теплового навантаження 10А, робоча температура навколишнього середовища -40-80 °С.

Зовнішній вигляд та схема електричного приєднання ультракompактного пускача Schneider LZ1H6X5BD показана на рисунку 3.7.

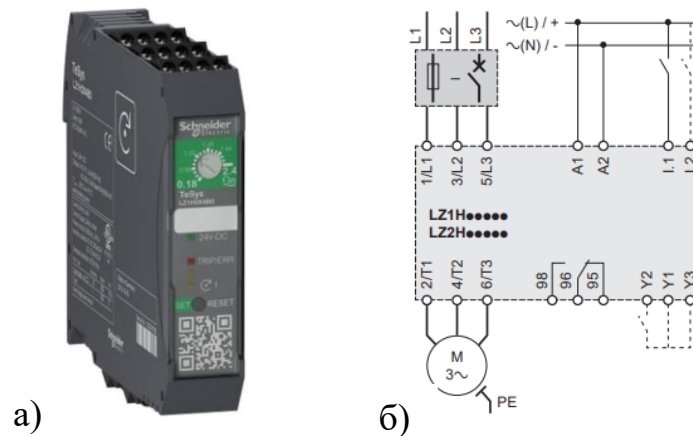


Рисунок 3.7. Ультракompактний пускач Schneider LZ1H6X5BD

а) Зовнішній вигляд ультракompактного пускача; б) Схема електричних з'єднань

3.1.2.9 Електропривід повітряної заслінки Belimo LM24A-S-TP[27]

Електропривід Belimo LM24A-S-TP призначений для відкриття та закриття жалюзі які встановлені на повітропроводах припливного та витяжного повітря.

Час ходу електропривода складає 150с, робоча напруга 24В, робоча температура від -30 до +50 °С.

Зовнішній вигляд та схема електричного приєднання електропривода Belimo LM24A-S-TP показана на рисунку 3.9.

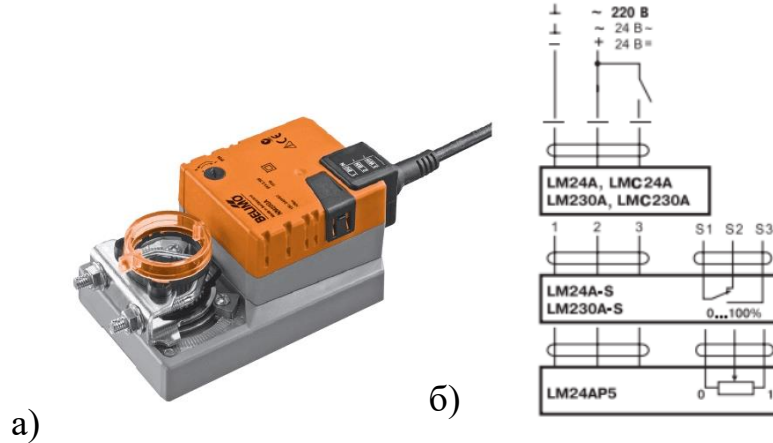


Рисунок 3.9. Електропривід повітряної заслінки Belimo LM24A-S-TP
 а) Зовнішній вигляд електропривода; б) Схема електричних з'єднань

3.1.2.10 Давач концентрації аміаку в повітрі INTEC PolyGard DT5-1125 V1

Давач концентрації аміаку в повітрі INTEC PolyGard DT5-1125 V1 застосовується для вимірювання концентрації аміаку в повітрі робочої зони при виготовленні аміачної селітри[25].

Вимірювана концентрація: від 0 до 1000 ppm, похибка при концентрації 0-1000 ppm ± 30 ppm, вихідний сигнал 4-20mA, час відгуку при концентрації 0-1000 ppm < 120 с

Зовнішній вигляд та електрична схема приєднання давач концентрації аміаку в повітрі INTEC PolyGard DT5-1125 V1 показана на рисунку 3.10.

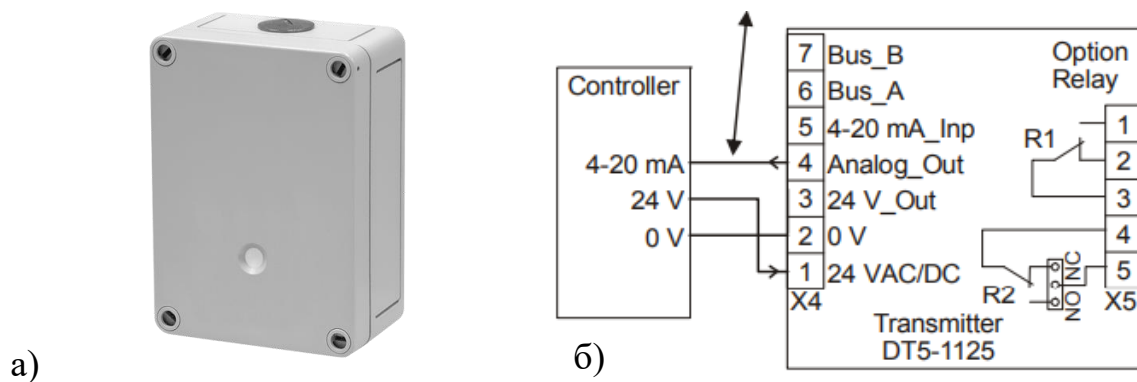


Рисунок 3.10. Давач концентрації аміаку в повітрі INTEC PolyGard DT5-1125

VI

а) Зовнішній вигляд давача; б) Схема електричних з'єднань

3.2 Мікропроцесорний програмований засіб автоматизації

3.2.1 Обґрунтування вибору мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації та опис його технічних характеристик

Для розробки автоматизованої системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях технологічного процесу виготовлення аміачної селітри було обрано мікропроцесорний програмований логічний контролер Unitronics Vision V570.

Це рішення зумовлене низкою технічних та функціональних переваг цього пристрою. Потужна обчислювальна платформа контролера Vision V570 забезпечує надійне керування складними процесами, зокрема підтримку стабільної температури та концентрації аміаку у виробничому середовищі. Наявність вбудованих комунікаційних інтерфейсів, включаючи RS-485 з підтримкою протоколу Modbus RTU, а також RS-232, Ethernet TCP/IP та USB, дозволяє легко інтегрувати Vision V570 з периферійними пристроями, такими як компресорно-конденсаторні агрегати Danfoss Optima Plus INVERTER, давачі температури та концентрації аміаку. Сенсорна кольорова панель HMI розміром 5,7 дюйма забезпечує зручне керування системою з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, що значно полегшує моніторинг параметрів та оперативне реагування оператора. Підтримка аналогових та дискретних входів і виходів дає змогу з'єднувати систему з різноманітними давачами температури, тиску, вологості, вентиляторами та електроприводами. Гнучкість у програмуванні дозволяє реалізувати до 24 контурів ПІД-регулювання та створювати до 1024 користувацьких графічних екранів, що особливо важливо при візуалізації складних технологічних процесів[8].

Надійність і промислове виконання контролера підтверджено класом захисту IP66, що гарантує стійкість до впливу пилу, вологи та агресивного середовища. Крім того, масштабованість пристрою, з можливістю підключення до 1000 периферійних елементів, дає змогу адаптувати систему до розширення виробництва[8].

Враховуючи всі ці переваги, Vision V570 є оптимальним вибором для реалізації автоматизованої системи кондиціонування повітря на хімічному виробництві з підвищеними вимогами до точності, надійності та безпеки керування.

Зовнішній вигляд ПЛК Unitronics Vision V570 представлено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 Зовнішній вигляд ПЛК серії Vision V570 виробництва корпорації Unitronics[8]

Будова та принцип приєднання вставного модулю вводу/виводу до ПЛК серії Vision V570 виробництва корпорації Unitronics показана на рисунку 3.12.

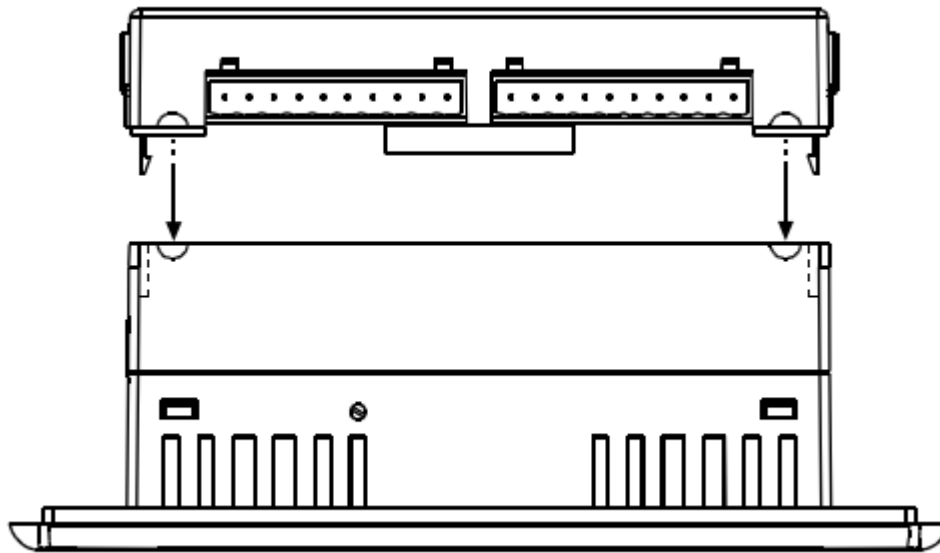


Рисунок 3.12. Принцип приєднання вставного модулю вводу/виводу до ПЛК серії Vision V570 виробництва корпорації Unitronics

Для реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи процесу кондиціонування повітря виробничих приміщень технологічного процесу виготовлення аміачної селітри з урахуванням умов проведення технологічного процесу та кількості функціональних контурів регулювання використовуватимемо сам ПЛК Vision V570 виробництва корпорації Unitronics, а також один вставний модуль вводу виводу для забезпечення необхідної кількості каналів вводу інформації з периферії та виводу керуючих сигналів на виконавчі пристрої.

Детальніше про концепцію вибору вставного модуля для ПЛК наведено в підрозділі 3.2.2.

Принципові схеми з'єднань для підключення периферійних пристроїв вставного модуля та ПЛК (по Modbus) представлено на рисунку 3.13. Зокрема на цих схемах наведено основні вимоги до підключення периферійних пристроїв, як по аналогових так і по дискретних каналах взаємозв'язку.

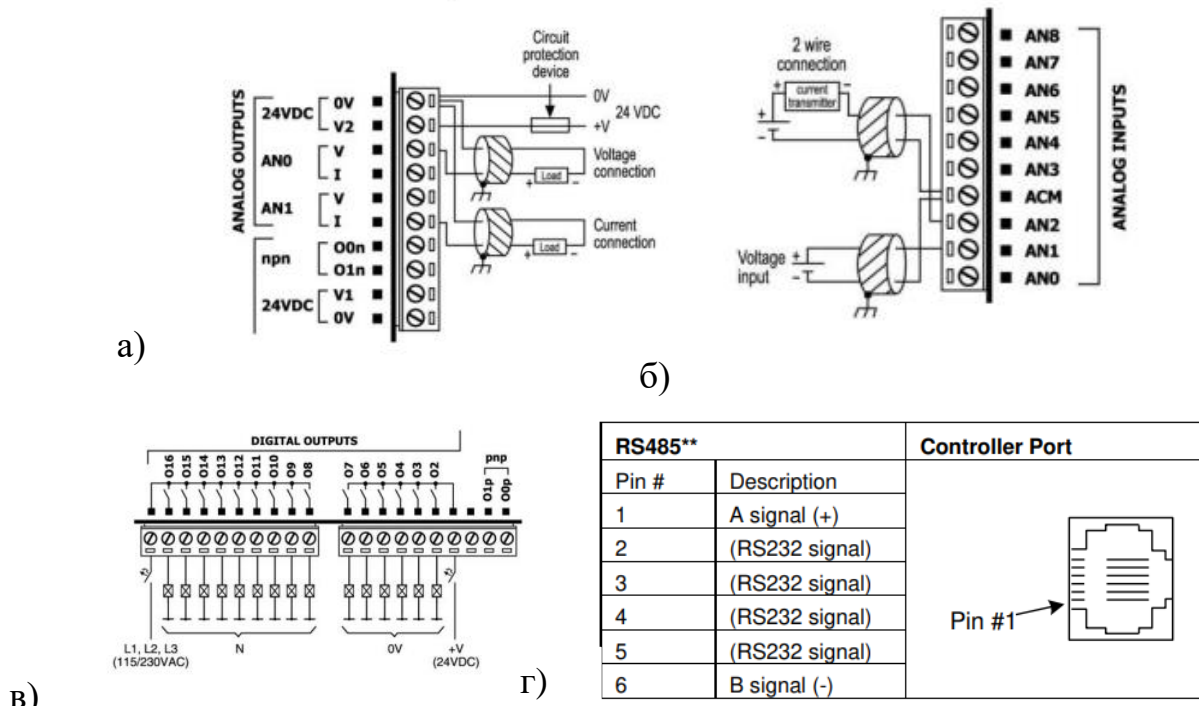


Рисунок 3.13. Схеми електричних з'єднань вставного модуля та ПЛК серії

Vision V570 виробництва корпорації *Unitronics*, зокрема:

- а) для аналогових виходів; б) для аналогових входів; в) для дискретних виходів; г) COM Port контролера для приєднання периферії по Modbus[8]

3.2.2 Конфігурація та налаштування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

У відповідності до функціональної схеми автоматизації процесу кондиціонування повітря виробничих приміщень технологічного процесу виготовлення аміачної селітри яка представлена на рисунку 2.1 для реалізації системи автоматизованого керування необхідно забезпечити:

- Вхідних аналогових сигналів $AIN_{3AD} = 9$;
- Вихідних аналогових сигналів $AOUT_{3AD} = 2$;
- Вхідних дискретних сигналів $DI_{3AD} = 0$;
- Вихідних дискретних сигналів $DO_{3AD} = 5$;

Для забезпечення необхідної кількості каналів вхідних та вихідних

сигналів вибираємо наступні компоненти мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації:

- ✓ мікропроцесорний програмований модуль керування з вбудованою НМІ-панеллю оператора типу *Vision V570* – 1шт.;
- ✓ пристрій вводу/виводу Snap-in типу *V200-18-E46B* – 1шт.;

Конфігурація ПЛК при виборі саме цього вставного модуля забезпечує наступну кількість вхідних/вихідних інформаційних каналів:

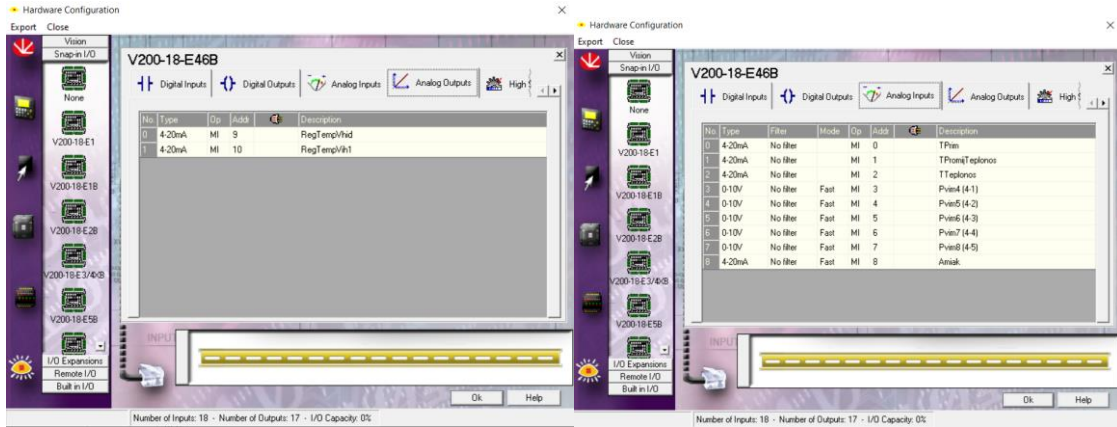
- Вхідні аналогові сигнали $AIN = 9 == AIN_{зАд} = 9$;
- Вихідні аналогові сигнали $AOOUT = 2 == AOOUT_{зАд} = 2$;
- Вхідні дискретні сигнали $DI = 18 > DI_{зАд} = 0$;
- Вихідні дискретні сигнали $DO = 17 > DO_{зАд} = 5$;

Як видно з вищенаведених даних підібрана конфігурація ПЛК забезпечує необхідну кількість каналів вводу / виводу інформації для реалізації системи кондиціонування повітря виробничих приміщень технологічного процесу виготовлення аміачної селітри.

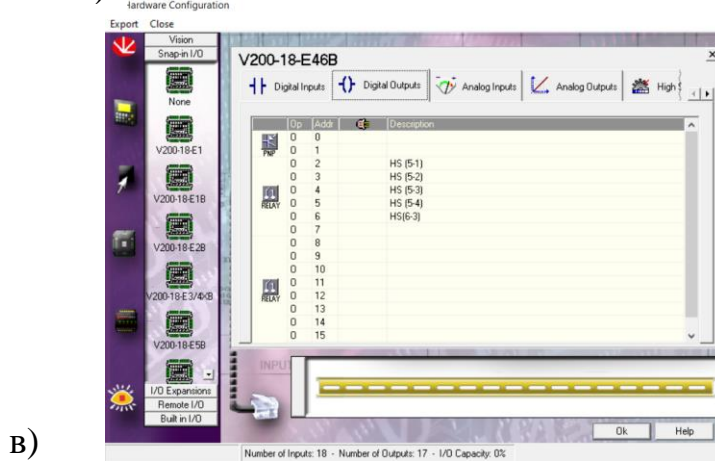
Згідно наведених матеріалів з використанням програмного забезпечення Unitronics VisiLogic здійснюємо створення нового проекту для програмування ПЛК серії VisionV570 виробництва корпорації Unitronics обираємо необхідний вставний модуль вводу/виводу V200-18-E46B (рисунок 3.14), та налаштовуємо канали аналогового вводу/виводу (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15. Вибір необхідного вставного модуля вводу/виводу



a) б)



в)

Рисунок 3.16. Скриншоти вікон налаштування каналів аналогового вводу та виводу, а також дискретних виходів для вставного модуля V200-18-E46B а) адресація та призначення вихідних аналогових сигналів; б) адресація та призначення аналогових вхідних сигналів; в) адресація та призначення вихідних дискретних сигналів;

3.3 Специфікація технічних засобів автоматизації

Таблиця 3.1

Специфікація технічних засобів автоматизації

№ п/п	№ позиції	Назва параметра	Місце встановлення	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип	К-ть
1	2	3	4	5	6	7

1			На щиті	Модуль блоку живлення. Вхідна напруга 220 В АС; Вихідна напруга 24 В DC; Номінальний струм 2 А.	БП-50- 1к	1
2			На щиті	Мікропроцесорний програмований модуль керування з вбудованою НМІ-панеллю оператора. Вихідна напруга 24 В DC.	Vision V570	1
3				Пристрій вводу/виводу Snap-in. Аналогові входи (AI) – 9; Аналогові виходи (AO) – 2; Дискретні входи (DI) – 18; Дискретні виходи (DO) – 17;	V200- 18- E46B	1
4	1-1	Температура повітря в приміщенні	По місцю	Первинний вимірювальний перетворювач температури Діапазон вимірювань -20 °С – 60 °С. Вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА	THD- R-PT/C	1

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
5	1-3, 2-3		По місцю	Електропривід Danfoss призначений для керування роботою регулювальних клапанів.	AME435	2

				<p>Номинальна напруга – 230 В; Клас захисту – IP54; Температура навколишнього середовища - -40 °С до 70 °С</p>		
6	2-1, 3	Температура мережевого теплоносія; Температура проміжного теплоносія	По місцю	<p>Термоперетворювач опору WKA для вимірювання температури рідких та газоподібних середовищ в діапазоні від – 50 °С до 200 °С, вихідний сигнал 4-20 мА.</p>	TFT35	2
7	4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5	Перепад тиску	По місцю	<p>Вимірювальний перетворювач перепаду тиску Velimo. Діапазон вимірювання від 50 Па до 500 Па. Температура вимірювального середовища - -20 °С до 85 °С.</p>	22ADP- 18Q	5

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
8	5-1, 5-3, 6-3		На щиті	<p>Ультракомпактний пускач Schneider. Номинальна робоча напруга – 24 В;</p>	LZ1H6X5 DBD	3

				Номінальний струм – 9 А.		
9	10-1, 11-1		По місцю	Електропривід Belimo призначений для відкриття/закриття жалюзі. Напруга – 24 В. Час ходу 150 с.	LM24A- S-TP	2
10	7	Температура повітря в приміщенні	По місцю	Компресорно- конденсаторний агрегат Danfoss. Пусковий струм 12.1 А. Холодопродуктивність 6 кВт при зовнішній температурі 32 °С	Optima Plus INVERT- ER	1
11	6-1	Концентрація аміаку в приміщенні	По місцю	Давач концентрації аміаку в приміщенні INTEC. Вихідний сигнал 4-20 мА. Вимірювана концентрація: від 0 до 1000 ppm	PolyGard DT5- 1125-V1	1

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС

Функціональна схема автоматизації передбачає реалізацію 6-ти контурів регулювання, вимірювання, індикації та сигналізації технологічних параметрів.

Контур 1. Регулювання та сигналізація температури повітря в приміщенні.

Температура вхідного повітря вимірюється давачем 1-1 сигнал з якого надходить на ПЛК VisionV570, який у відповідності до завдання формує регулюючу дію. Регулюючий сигнал надходить на виконавчий механізм 1-2 регулюючого трьох-ходового клапану 1-3 для регулювання витрати мережевого теплоносія в теплообміннику 6, який підігріває внутрішній теплоносій. У разі задання температури в теплий період року сигнал надходить на компресорно-конденсаторний агрегат (7) 1-4. Сигналізація здійснюється на НМІ-панелі.

Контур 2. Регулювання та сигналізація температури теплоносія перед теплообмінником.

Значення температури проміжного теплоносія перед теплообмінником 5 вимірюється термоперетворювачем опору 2-1 сигнал з якого надходить на ПЛК VisionV570, який у відповідності до завдання формує регулюючу дію. Регулюючий сигнал надходить на виконавчий механізм 2-2 який змінює пропускну здатність трьох-ходового клапану 2-3 встановленого на трубопроводі теплообмінника для регулювання кількості проміжного теплоносія, що надходить в теплообмінник 5.

Контур 3. Вимірювання та сигналізація температури теплоносія зі мережі.

Температура теплоносія з мережі вимірюється за допомогою термоперетворювача опору 3 сигнал з якого поступає на ПЛК VisionV570, який в свою чергу відображає виміряне значення технологічного параметру та сигналізує про досягнення критичного значення на екрані НМІ-панелі

Контур 4. Сигналізація перепаду тисків на фільтрах та вентиляторах.

Як вимірювальний перетворювач перепаду тиску на вентиляторах та фільтрах використовуємо дистанційний давач-реле перепаду тиску 4-2, 4-3, 4-4, 4-5 який при досягненні критичного значення подає дискретний сигнал на ПЛК

VisionV570, на НМІ-панелі якого відбувається процес сигналізації оператора про наявність несправності.

Контур 5. Увімкнення/вимкнення вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі.

Для ручного увімкнення/вимкнення вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі використовуємо відповідні кнопки на людино-машинному інтерфейсі. Сигнал, який формує ПЛК надходить на електромагнітний пускач 5-1, 5-3 який приводить в рух електроприводи вентиляторів припливного та витяжного повітря. Або сигнал надходить на електроприводи 5-2, 5-4 який приводить в рух жалюзі на повітропроводах припливного та витяжного повітря.

Контур 6. Перемикання та сигналізація концентрації аміаку в приміщенні

Для вимірювання концентрації аміаку в приміщенні було обрано промисловий давач концентрації аміаку в повітрі 6-1. Давач встановлений в робочому приміщенні який при досягненні критичного значення подає сигнал на електромагнітний пускач 6-3, який приводить в рух вентилятор.

РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

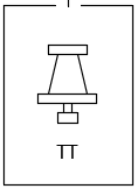
5.1 Алгоритми функціонування контурів системи автоматизації

Для побудови алгоритмів функціонування контурів регулювання, вимірювання, та індикації у відповідності до функціональної схеми автоматизації, спрощений вигляд якої показаний на рисунку 1 використано

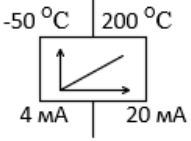
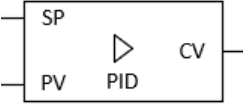
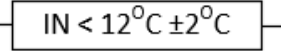


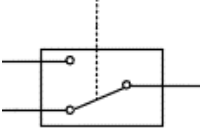
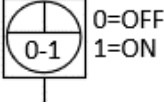
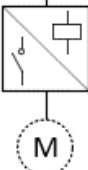
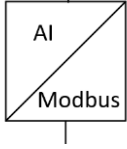
графічні блоки, які представлені у таблиці 5.1[5].

Таблиця 5.1

Графічні зображення функціональних елементів алгоритмів функціонування

Графічне зображення функціонального елемента	Функціональне призначення
1	2
	<p>- первинний вимірювальний перетворювач, давач, чутливий елемент збору інформації про технологічний параметр;</p>
	<p>- виконавчий механізм з аналоговим керуючим сигналом в комплекті з регулюючим органом;</p>
	<p>- аналоговий індикатор технологічного параметру;</p>
	<p>- задавач аналогового сигналу з обмеженням по діапазону;</p>

Продовження таблиці 5.1

1	2
	<p>- лінійне перетворення (масштабювання) вхідного аналогового сигналу</p>
	<p>- функціональний елемент аналогового ПІД закону регулювання;</p>
	<p>- компаратор сигналів з гістерезисом;</p>
	<p>- світловий індикатор по верхній або нижній межі;</p>
	<p>- перемикач режимів роботи регулятора або схеми керування;</p>
	<p>- перемикач аналогових або дискретних сигналів;</p>
	<p>- перемикач 0-1 (ключ);</p>
	<p>- електромагнітне реле, контактор;</p>
	<p>- перемикання між аналоговим входом та Modbus для реалізації періодів холодно- тепло.</p>

Контур 1. Регулювання та сигналізація температури повітря в приміщенні

(Рисунок 5.1)

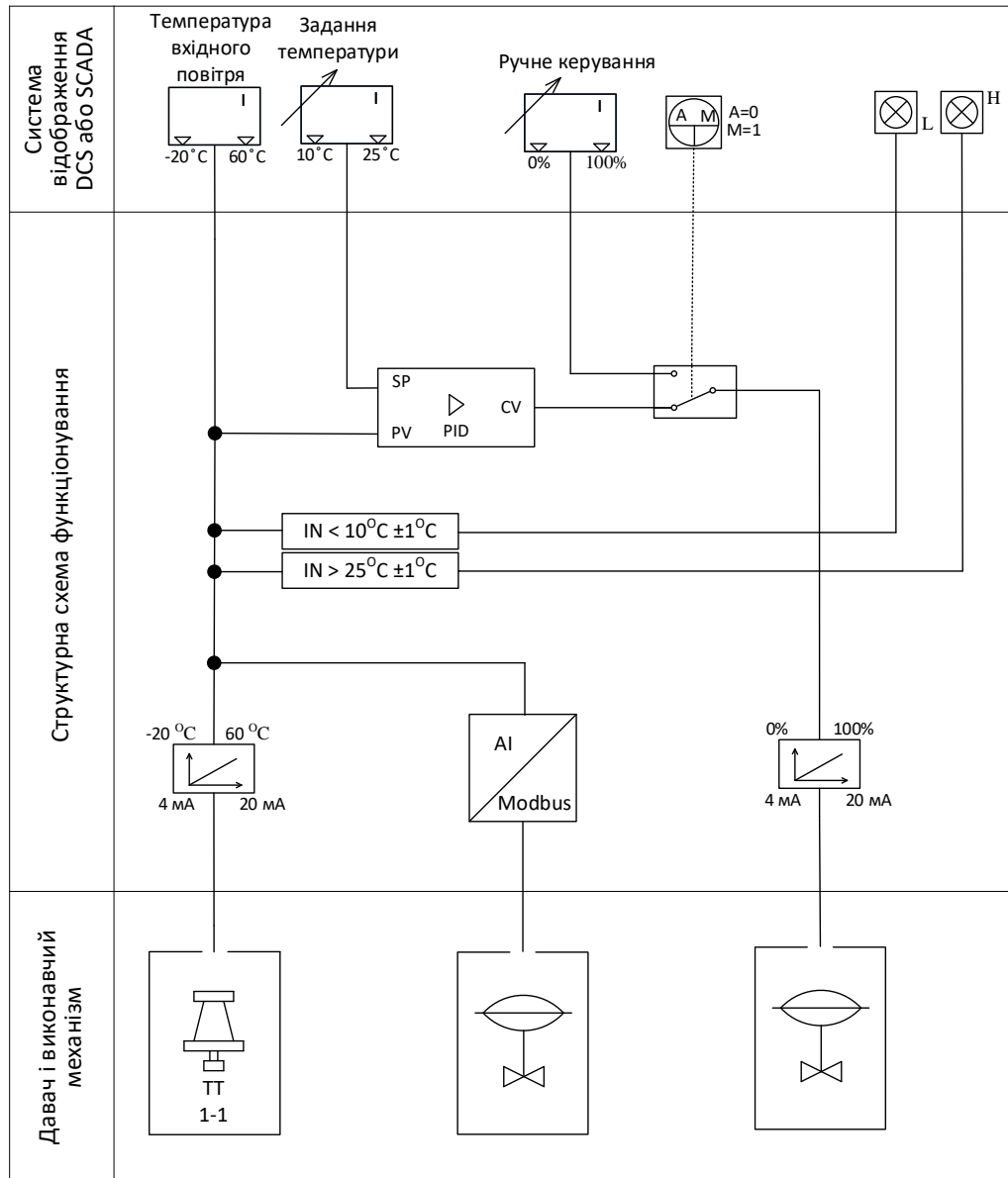


Рисунок 5.1. Алгоритм функціонування контуру 1 «Регулювання та сигналізації температури повітря в приміщенні».

Контур 2. Регулювання та сигналізація температури теплоносія перед теплообмінником (Рисунок 5.2)

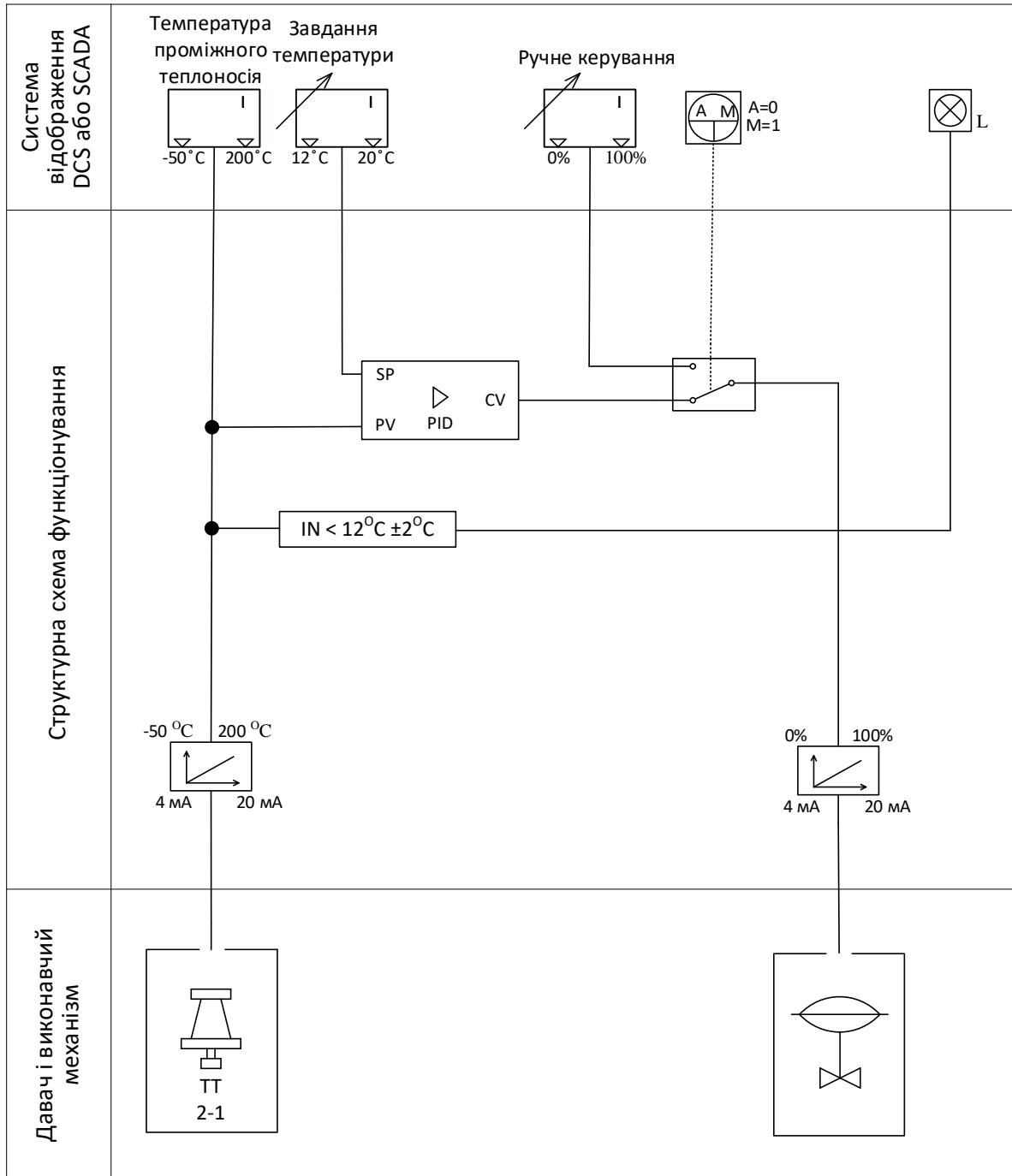


Рисунок 5.2. Алгоритм функціонування контуру 2 «Регулювання та сигналізації температури теплоносія перед теплообмінником».

Контур 3. Вимірювання та сигналізація температури теплоносія з мережі
(Рисунок 5.3 а)

Контур 5. Увімкнення/вимкнення вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі (Рисунок 5.3 б)

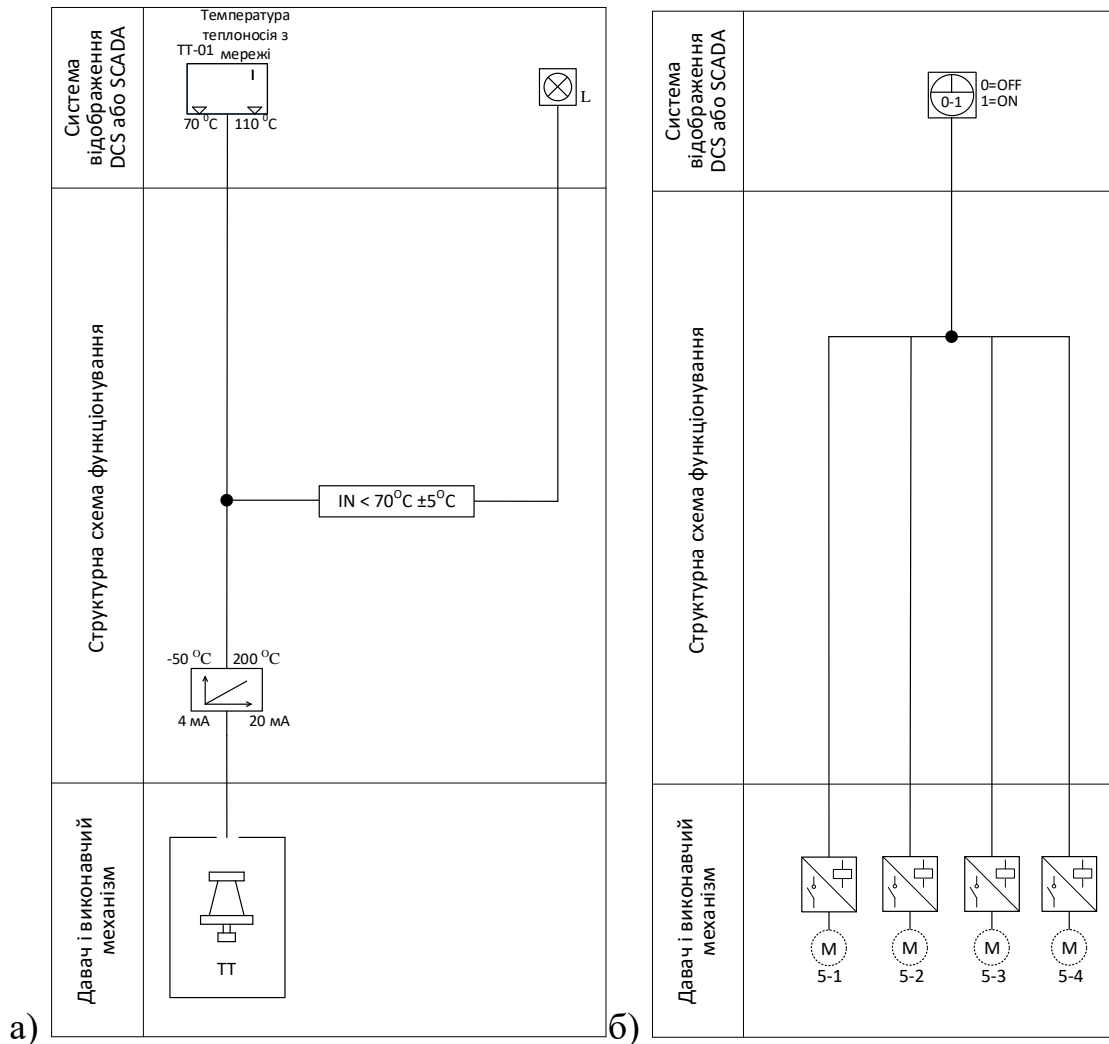


Рисунок 5.3. Алгоритми функціонування:

- а) Контур 3 «Вимірювання та сигналізації температури теплоносія з мережі»;
б) Контур 5 «Увімкнення/вимкнення вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі»;

Контур 4. Сигналізація перепаду тисків на фільтрах та вентиляторах

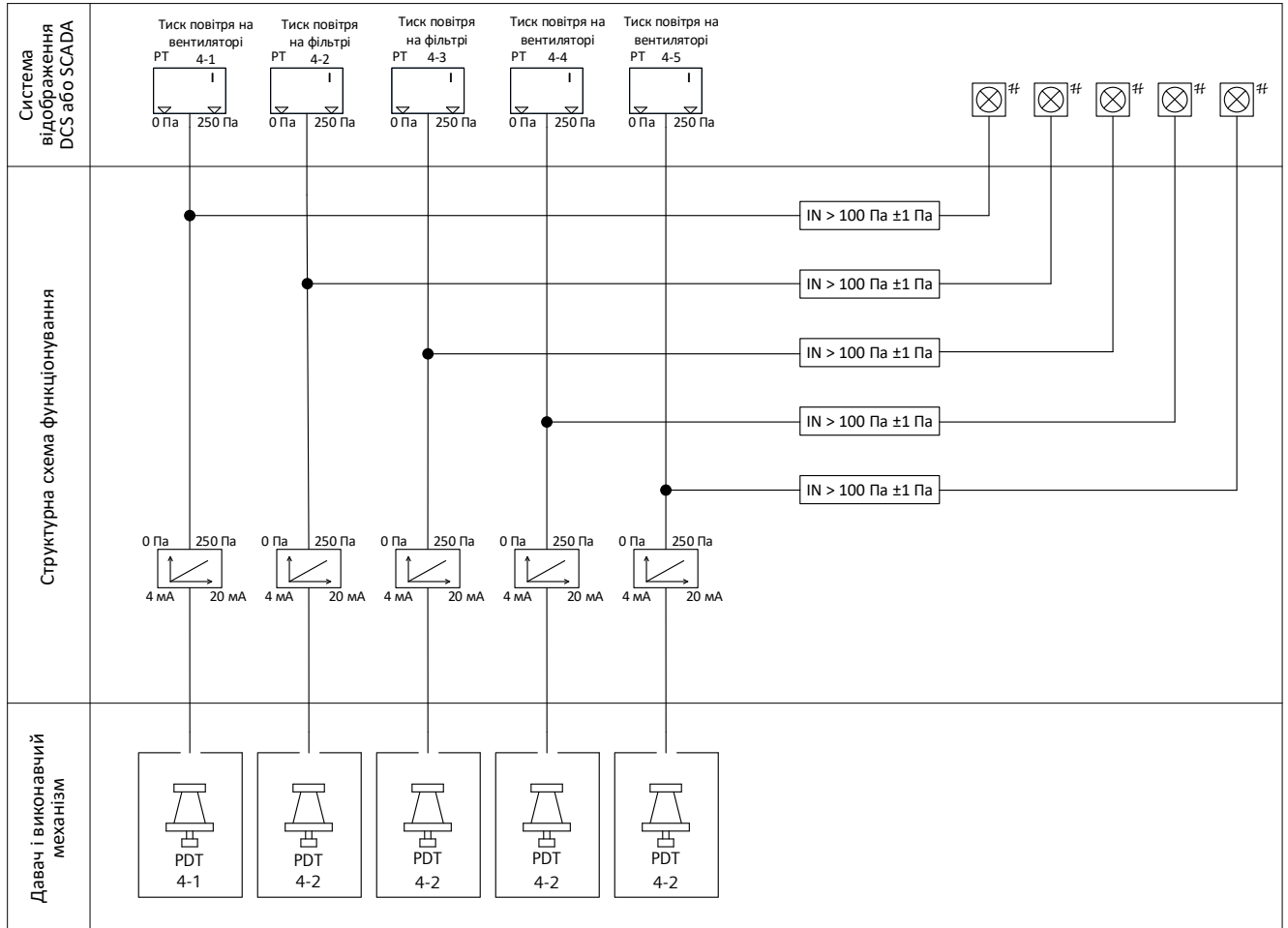
(Рисунок 5.4)

Рисунок 5.4. Алгоритм функціонування контуру 4 «Сигналізації перепаду тисків на фільтрах та вентиляторах»

Контур 6. Перемикання та сигналізація концентрації аміаку в приміщенні

(Рисунок 5.5)

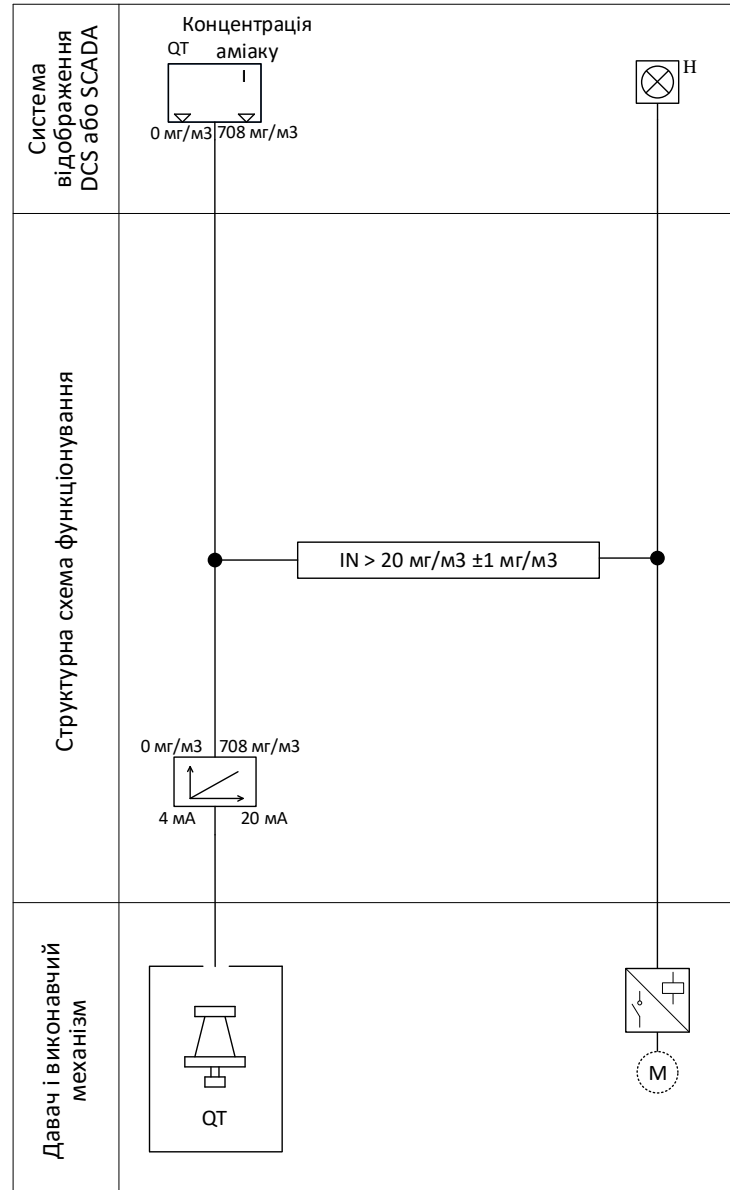


Рисунок 5.5. Алгоритм функціонування контуру 6 «Перемикання та сигналізації концентрації аміаку в приміщенні»

5.2 Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

На підставі розроблених алгоритмів функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесу кондиціонування повітря виробничих приміщень технології виробництва аміачної селітри, що представлені в підрозділі 5.1, здійснюю розробку програми роботи мікропроцесорного програмного засобу автоматизації серії Vision V570 виробництва корпорації Unitronics. Загалом програма складається з типового набору стандартних процедур (підпрограм), зокрема[12]:

1. Процедура обробки та масштабування вхідного аналогового сигналу:



Рисунок 5.2.1. Фрагмент програми функціонування, який відображає масштабування вхідного аналогового сигналу

Для масштабування вхідного аналогового сигналу, зокрема для перетворення його числового значення на значення технічних одиниць використано алгоритм “Linear”. Цей алгоритм за лінійною залежністю перетворює вхідне числове значення від аналогового цифрового перетворювача, в числове значення діапазону вимірювання первинного давача. Приклад налаштування алгоритму наведено на рисунку 5.2.2[13].

Linearization

Note that you cannot use the Linearization function if the value of an input or an intermediate calculation is close to the value FFFFFFFF. Click on the Help button for more information.

Params	Func	Operand	Address	EN	ENC	Format	Description
IN	X1	D#	0			DEC	Linear conversion: X1 Value
	Y1	D#	0			DEC	Linear conversion: Y1 Value
	X2	D#	1023			DEC	Linear conversion: X2 Value
	Y2	D#	100			DEC	Linear conversion: Y2 Value
OUT	X	MI	0			DEC	TPrim
	Y	MI	11			DEC	Lin_TPrim

OK Cancel Help

Рисунок 5.2.2. Налаштування параметрів масштабування вхідного аналогового сигналу

З рисунку 5.2.2 видно, що вісь X показує числове значення вхідного аналогового сигналу від 12-ти розрядного АЦП, а вісь Y відображає діапазон вимірювання первинного датчика.

2. Налаштування ПІД закону регулювання:

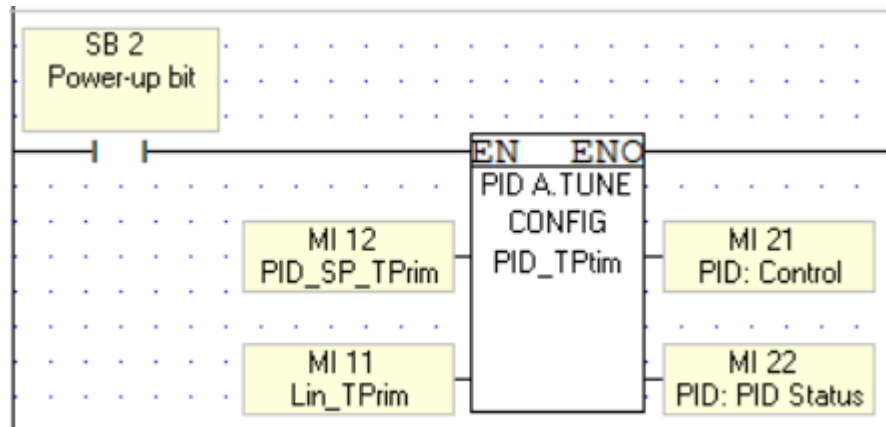


Рисунок 5.2.3. Фрагмент програми функціонування який показує процес налаштування ПІД закону регулювання.

Для налаштування ПІД закону регулювання обираємо блок “PID CONFID”. Він приймає масштабоване значення вхідного сигналу, який порівнює із заданим та обраховує регулюючу дію.

Також обираємо вхідний сигнал SB 2 включення для контролера, після чого здійснюємо налаштування блоку.

PID Auto-tune Configuration Parameters

Name: PID_TPtim

Params	Type	Add		Format	Description
IN	MI	12		DEC	PID_SP_TPrim
	MI	11		DEC	Lin_TPrim
	MI	13		DEC	PID: Proportional band - defined in units of 0.1% (P gain)
	MI	14		DEC	PID: Integral time - defined in units of 1 second (I gain)
	MI	15		DEC	PID: Derivative time - defined in units of 1 second (D gain)
	MI	16		DEC	PID: Sample Time - defined in units of 10 mSec .Recomm
	MB	0			PID: Action: 0: Reverse(Heating-default) 1: Direct(Cooling)
	MI	17		DEC	PID: Input Range - Process Value Low limit
	MI	18		DEC	PID: Input Range - Process Value High limit
	MI	19		DEC	PID: Output Range - Control Value Low limit
OUT	MI	20		DEC	PID: Output Range - Control Value High limit
	MI	21		DEC	PID: Control Value - the PID output
	MI	22		DEC	PID: PID Status
	MI	23		DEC	Auto-tune parameters, 32 MIs - 1 of 32

Ok Cancel Help

Рисунок 5.2.4. Вікно конфігурації параметрів налаштування ПІД закону регулювання

3. Формуємо процес автоматичного налаштування ПІД:

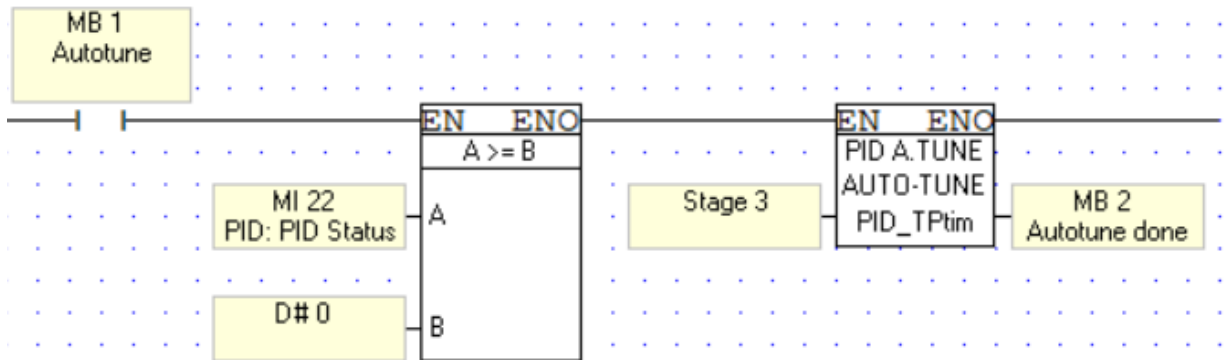


Рисунок 5.2.5. Процес автоматичного налаштування ПІД

Для того, щоб ПІД автоналаштовувався, необхідно обрати стартовий біт після чого прирівняти статус ПІД регулятора до 0, та використати спеціальний блок Auto-tune.

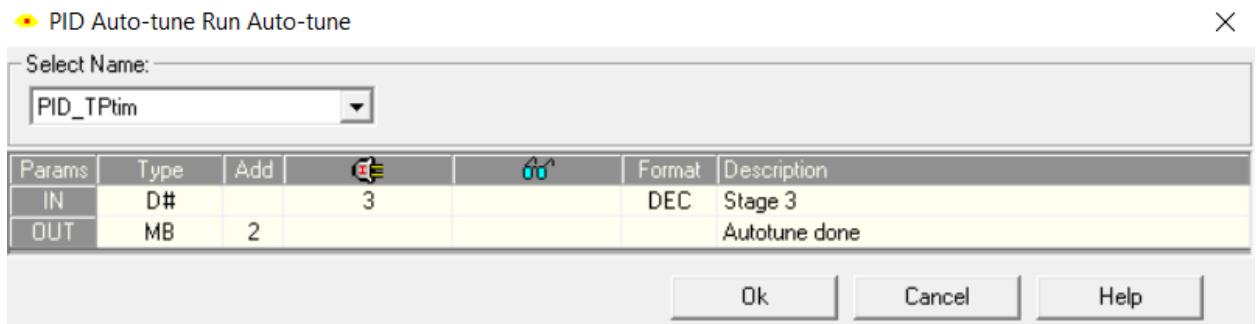


Рисунок 5.2.6. Налаштування блоку Auto-tune

4. Запуск паузи на обчислення І складової ПІД регулятора:

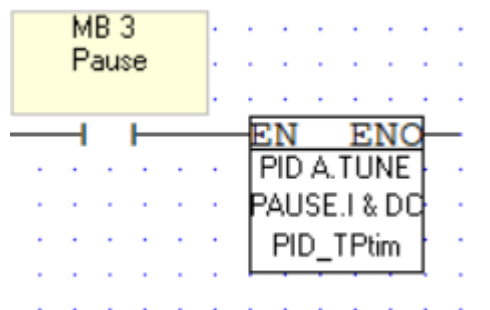


Рисунок 5.2.7 Фрагмент програми, що демонструє запуск паузи для обчислення І складової ПІД регулятора

Для зупинення та проведення розрахунків І складової використовуємо блок “PID PAUSE Integral & Derivative Calculation”

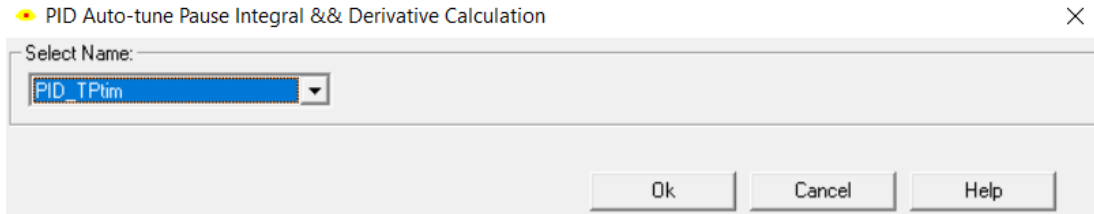


Рисунок 5.2.8 Конфігурація блоку «PID PAUSE Integral & Derivative Calculation» для обчислення I складової

5. Налаштування обмеження верхньої та нижньої межі вхідного та вихідного сигналу ПІД регулятора.

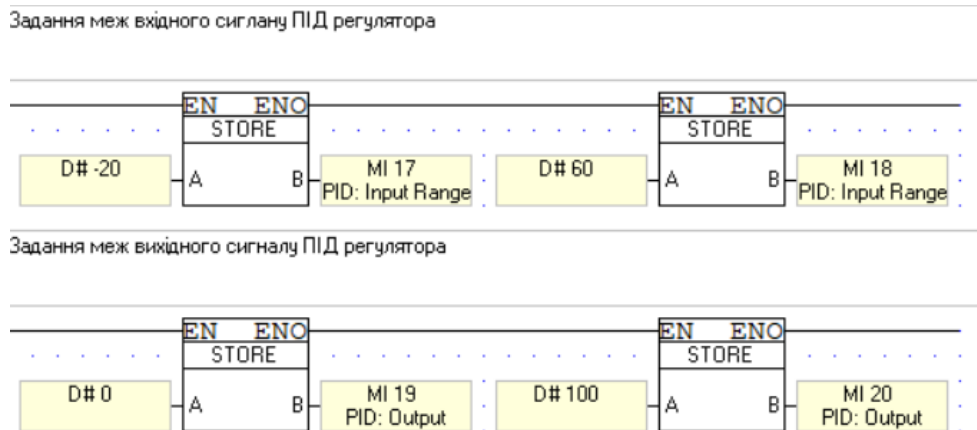


Рисунок 5.2.9. Налаштування обмежень верхньої та нижньої межі вхідного та вихідного сигналу ПІД регулятора

Для налаштування обмежень сигналів регулятора використовуємо функціональні блоки “Store” та налаштуємо межі в яких може змінюватись значення вхідної величини (по пристрою) та вихідної.

6. Запуск ПІД закону регулювання.

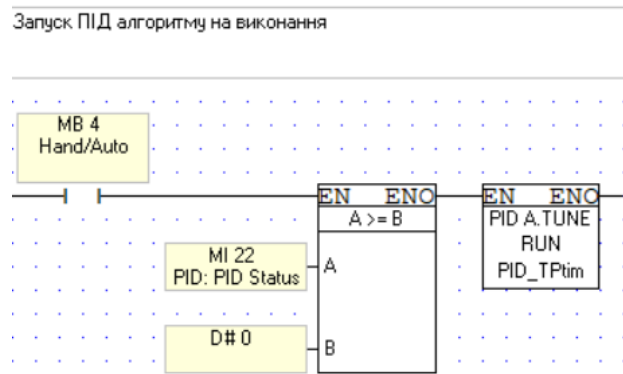


Рисунок 5.2.10. Запуск ПІД закону регулювання

Для того щоб здійснити запуск закону обираємо спеціальний блок “RUN PID” , а також перевіряємо чи статус ПІД регулятора більше 0 за допомогою компаратора.

7. Налаштовуємо безударний перехід між ручним та автоматичним режимами.

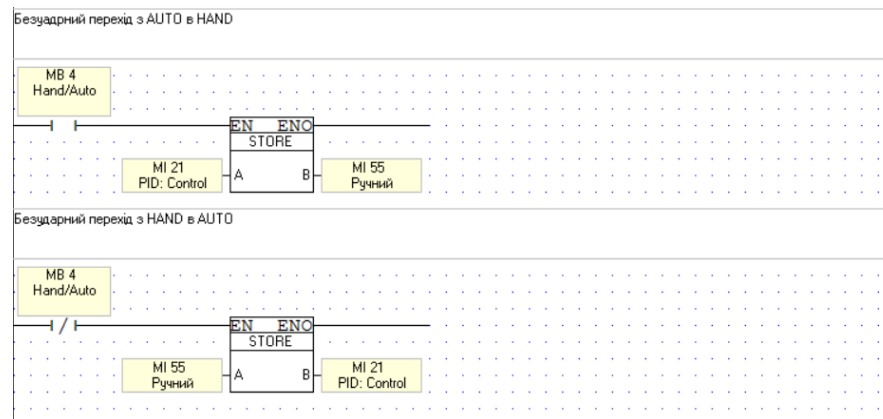


Рисунок 5.2.11. Фрагмент програми безударного переходу між автоматичним та ручним режимами

Для реалізації цього переходу, необхідно використати блок “Store” який перезаписує біт в комірку пам’яті режиму, що ми використовуємо.

8. Задання часу циклу ПІД регулятора та вибір зворотного зв’язку (додатній або від’ємний).

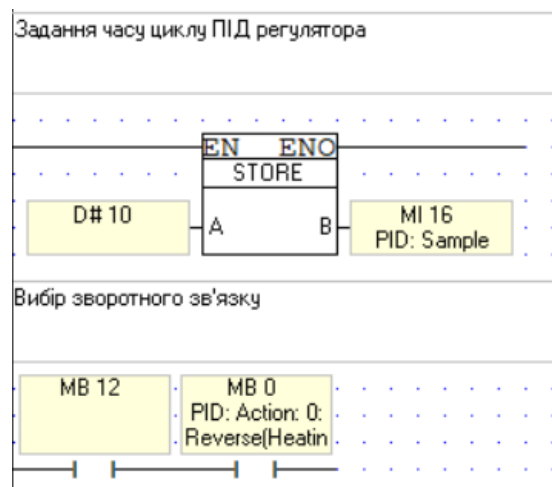


Рисунок 5.2.12. Фрагмент програми, що демонструє задання часу циклу та вибір зворотного зв'язку

9. Ручне задання коефіцієнтів налаштування ПІД регулятора.

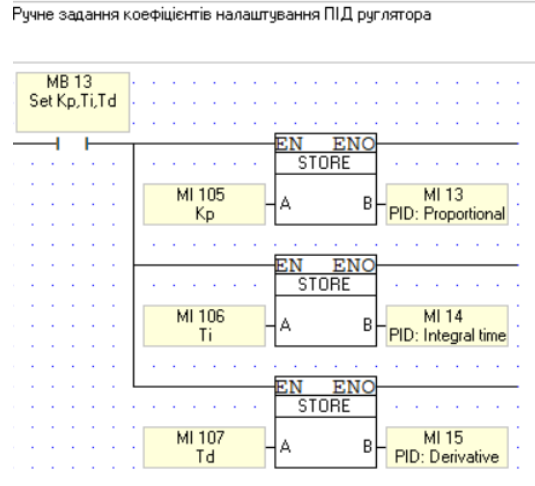


Рисунок 5.2.13. Фрагмент програми, що демонструє ручне задання коефіцієнтів налаштування ПІД регулятора

Для того щоб мати змогу вручну задавати коефіцієнти налаштування ПІД регулятора, обираємо блоки “Store” які перезаписують необхідні нам комірки пам'яті на біти введенні вручну.

10. Сигналізації по верхній та нижній межах.

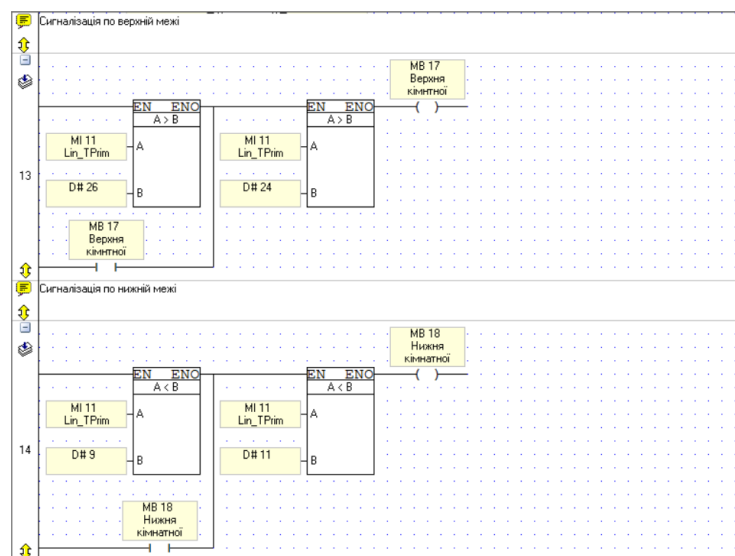


Рисунок 5.2.14. Фрагмент програми, що демонструє сигналізації по верхній та нижній межах

Для реалізації сигналізації по верхньому рівню з гістерезисом ± 1 обираємо два компаратори “ $A > B$ ” В перший та другий компаратор подаємо величину A - наш масштабований вхідний сигнал, а величину B – верхня межа допустимого значення з врахуванням гістерезису. Обов'язково шунтуємо сигнал для стабільної роботи системи та зупинки подальшої активації вразі перевищення сигналом допустимого значення.

Для реалізації сигналізації по нижньому рівню з гістерезисом ± 1 обираємо два компаратори “ $A > B$ ” В перший та другий компаратор подаємо величину A - наш масштабований вхідний сигнал, а величину B – нижня межа допустимого значення з врахуванням гістерезису. Обов'язково шунтуємо сигнал для стабільної роботи системи та зупинки подальшої активації вразі перевищення сигналом допустимого значення.

11. Генератор імпульсів для сигналізації.

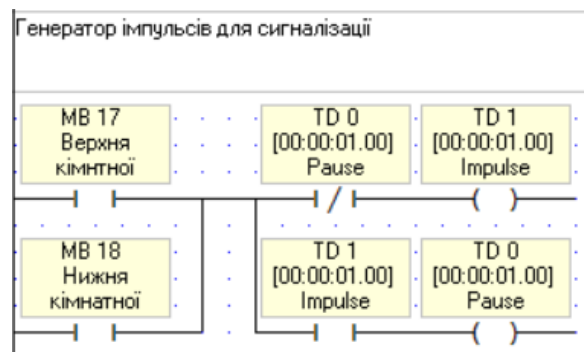


Рисунок 5.2.15. Фрагмент програми, що демонструє реалізацію генератора імпульсів

Для реалізації цього фрагменту використовуємо біти часу Pause (1 сек) та Impulse (1 сек) у ході їх виконання сигнальна лампа на контролері буде блимати раз в 1 секунду.

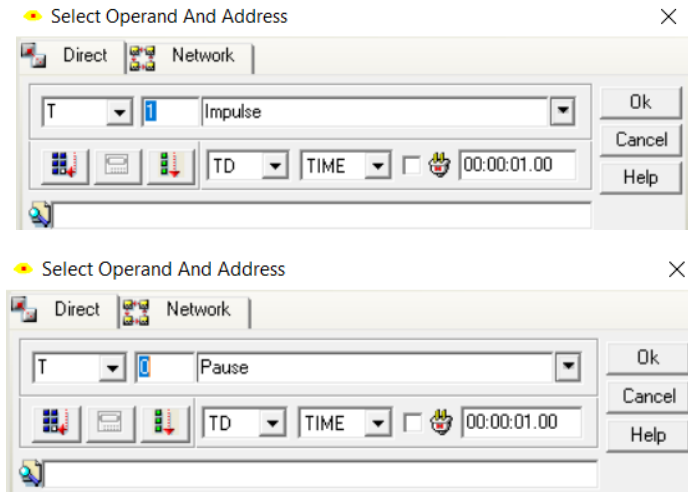


Рисунок 5.2.16. Налаштування бітів часу для реалізації сигналізації

12. Масштабування вихідного аналогового сигналу.



Рисунок 5.2.17. Фрагмент програми, що демонструє масштабування вихідного аналогового сигналу

Для реалізації цього фрагменту використовуємо блок “Linear” щоб сигнал був перетворений в аналоговий, для можливості його передачі в наш регулюючий аналоговий пристрій. Приклад налаштувань показаний на рисунку 5.2.18.

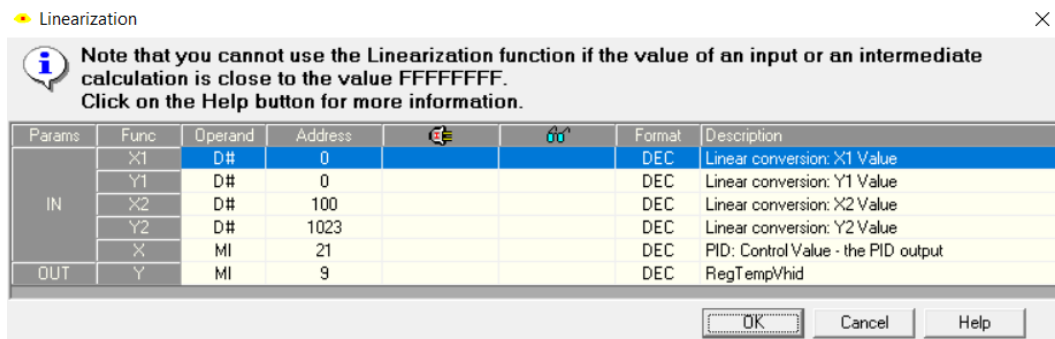


Рисунок 5.2.18. Налаштування параметрів масштабування вихідного аналогового сигналу

З рисунку 5.2.18 видно, що вісь X числове значення регулюючої дії, а вісь Y відображає діапазон зміни аналогового вихідного сигналу 12-ти розрядного АЦП.

13. Вмикання/вимикання вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі

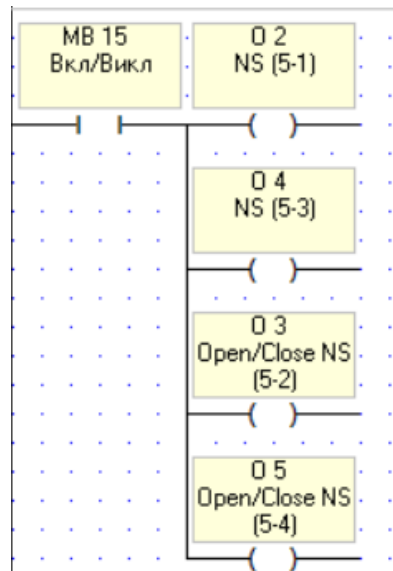


Рисунок 5.2.19. Фрагмент програми, що відображає вмикання/вимикання вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі

Для реалізації цієї програми використовуємо внутрішній біт програми 0-1 та подаємо його на наші дискретні виходи для запуску вентиляторів та відкриття/закриття жалюзі.

14. Налаштування COM 1 щоб контролер міг зчитувати інформацію від підлеглого пристроя

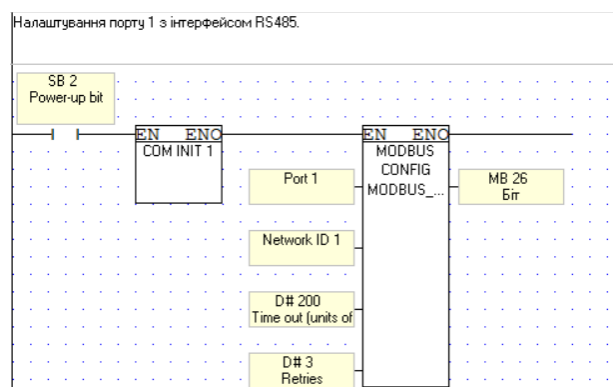


Рисунок 5.2.20 Фрагмент програми, що відображає налаштування COM
Для реалізації цього налаштування було використано блок COM INIT та

Modbus Config. Приклад налаштування показаний на рисунку 5.2.21.

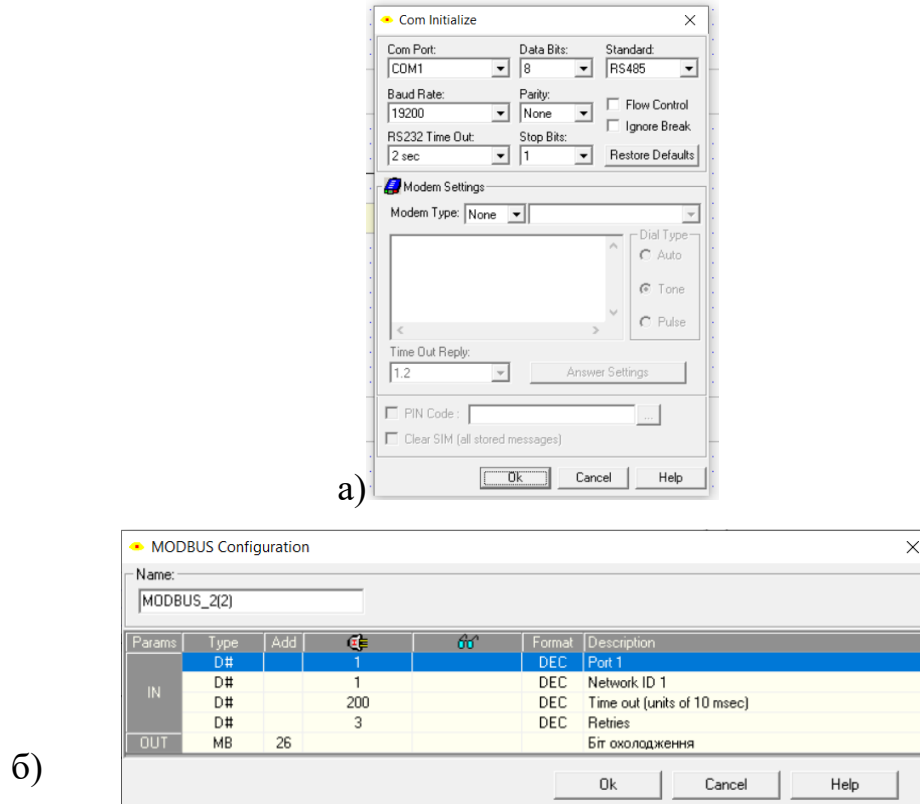


Рисунок 5.2.21 Налаштування блоку COM INIT(a) та Modbus Config(b)

На рисунку 5.2.21(a) обираємо порт COM 1 який ми налаштуємо час зчитування обираємо 19200 що дорівнює 200 – 300 мс, дане значення комфортне для нашого пристрою. На рисунку 5.2.21 (б) налаштуємо порт, обираємо 1, також обираємо мережу, наш пристрій в мережі 1, час опитування 200 мс, та ставимо 3 спроби на повторне опитування, якщо за 3 спроби пристрій не відповість, це буде свідчити про поломку.

15. Налаштування можливості сканування мережі Modbus контролером

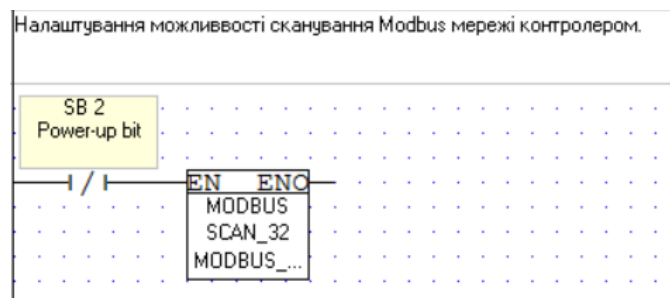


Рисунок 5.2.22 Фрагмент програми що відображає можливість

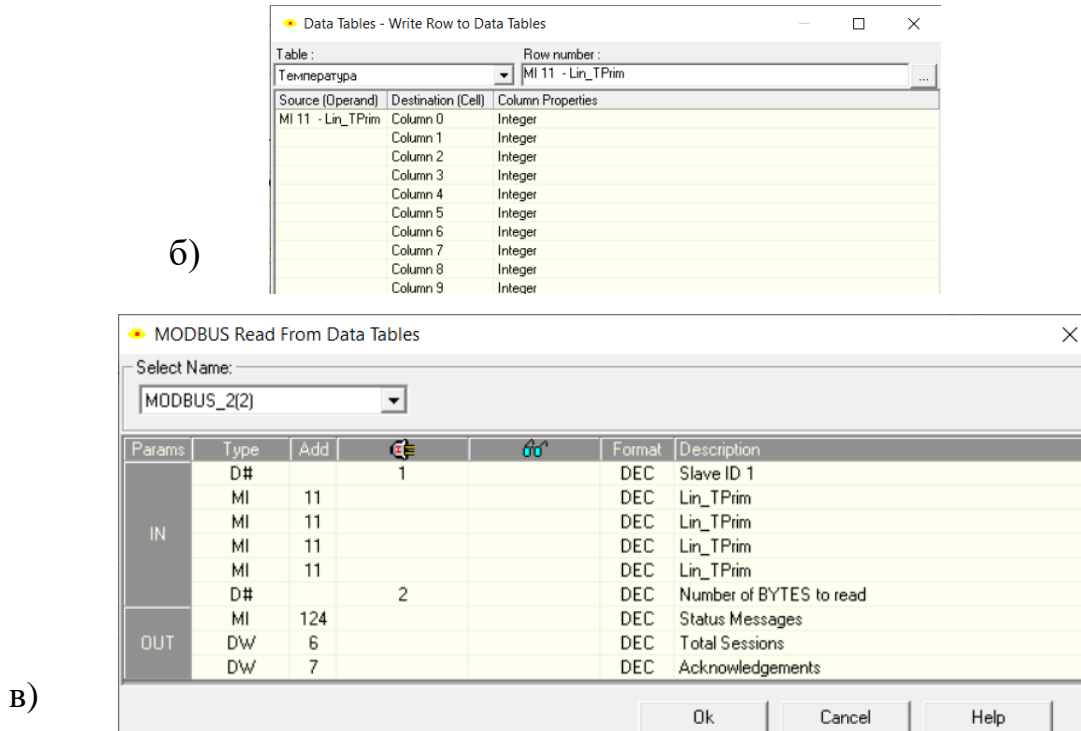


Рисунок 5.2.24 Створення таблиці (а) та налаштування блоків Data Tables Write Row (б) та Modbus Read Data Tables (в)

На рисунку 5.2.24 (а) створюємо таблицю температура, саме це значення потрібне для нашого приладу, на рисунку 5.2.24 (б) налаштовуємо фіксацію в таблицю значень із давача температури MI 11.

На рисунку 5.2.24 (в) обираємо Slave 1, наш пристрій який буде зчитувати дані з таблиці, далі обираємо дані які будуть записані в таблиці давачем, після чого обираємо Number of Bytes to read – 2, адже MI це цілий тип даних, отже 2 байти.

Загальний алгоритм роботи мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації наведено на аркуші №2 графічної частини.

РОЗДІЛ 6 ПРИНЦИПОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ З'ЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

У відповідності до розробленої функціональної схеми автоматизації комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом кондиціонування повітря виробничих приміщень технології виробництва аміачної селітри, спрощений вигляд якої наведений у розділі 1, з урахуванням програми функціонування програмованого логічного контролера серії Vision V570 та експлуатаційних вимог до технічних засобів автоматизації розроблено принципову схему електричних з'єднань периферійних пристроїв з мікропроцесорним програмованим засобом автоматизації (ПЛК). Електрична схема включає наступні основні компоненти:

1. Схема підключення електроживлення для забезпечення роботи програмованого логічного контролера та його модулів розширення (рис. 6.1);

2. Схема підключення первинних засобів вимірювання, що представлена на рисунку 6.2. До таких засобів належать:

- ✓ термоперетворювачі опору WİKA TFT35 для вимірювання температури теплоносія;
- ✓ давач температури повітря Autonics THD-R-PT/C;
- ✓ давачі-реле перепаду тиску Belimo 22ADP-18Q, що фіксують перевищення допустимих значень на вентиляторах і фільтрах;
- ✓ давач концентрації аміаку в повітрі INTEC PolyGard DT5-1125 V1;

3. Схема підключення виконавчих пристроїв (рисунок 6.3), таких як:

- ✓ виконавчі механізми клапанів Danfoss AME435;
- ✓ електроприводи Belimo LM24A-SR для автоматичного регулювання положення жалюзі;

- ✓ компресорно-конденсаторний агрегат Danfoss Optima Plus INVERTER, підключений до контролера через інтерфейс RS-485 (Modbus RTU).

Загальна схема зовнішніх електричних з'єднань системи автоматизованого керування наведена на аркуші №3 графічної частини.

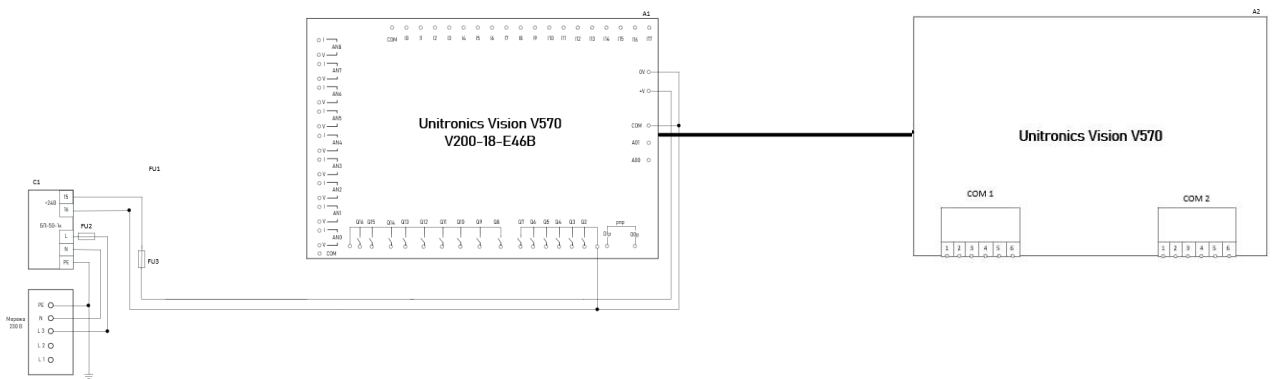


Рисунок 6.1 Вигляд принципової електричної схеми живлення ПЛК Vision V570 та вставного модуля V200-18-E46B

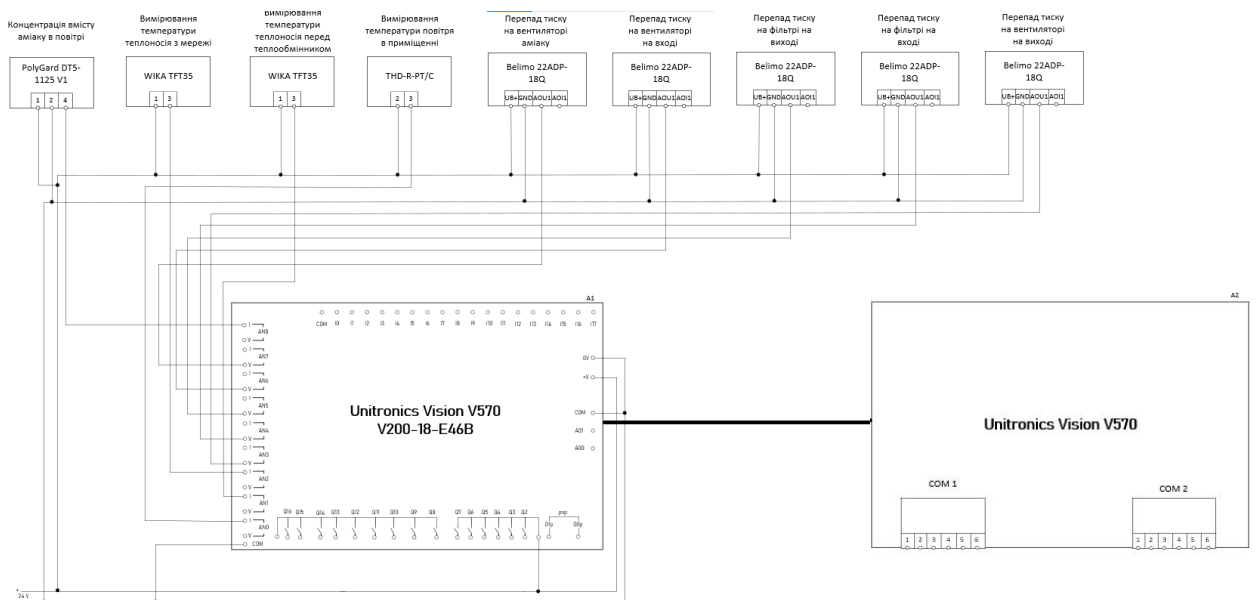


Рисунок 6.2 Уривок електричної схеми підключення вимірювальних та нормуючих перетворювачів

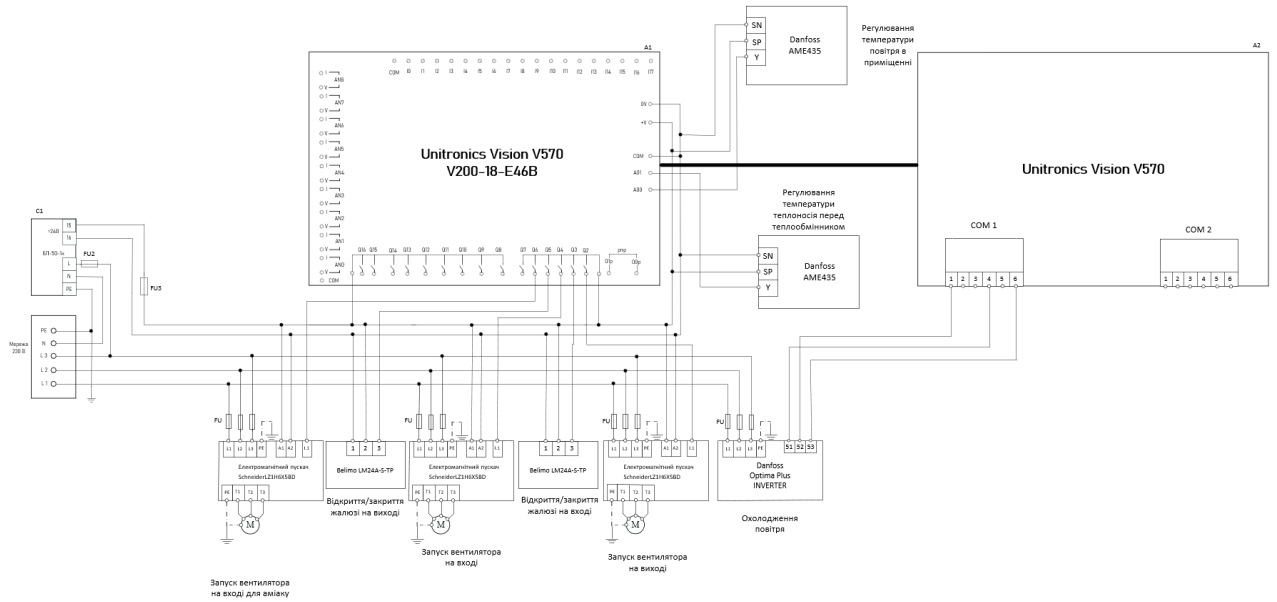


Рисунок 6.3 Уривок електричної схеми підключення виконавчих пристроїв

АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕННІ

Для реалізації цього розділу було виконано моделювання системи автоматичного регулювання температури повітря у виробничому приміщенні. Дана система представлена контуром №1 — «Регулювання та сигналізація температури повітря в приміщенні» на розгорнутій функціональній схемі автоматизації, яка наведена на аркуші №1 графічної частини.

Об'єктом регулювання є саме виробниче приміщення, в якому необхідно підтримувати задане значення температури повітря. Регулювальний вплив на систему здійснюється шляхом зміни положення триходового клапана, що встановлений на трубопроводі мережевого теплоносія після теплообмінника б. Основним збуренням в об'єкті регулювання є зміна температури теплоносія, що нагріває повітря в теплообміннику б. Передавальна функція каналом збурення:

$$W(p) = \frac{0.8^{-80p}}{(91p + 1)^4}, \quad \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} \quad (7.1)$$

Задане значення регульованої величини – 15°C.

Вихідними даними для побудови моделі ОР є експериментальна крива розгону отримана переміщенням РО на 10%, значення якої представлені у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Крива розгону, отримана переміщенням РО на 10 %

Час, с	Температура, °С
0	15.00
60	15.00
120	15.03
180	15.08
240	15.25
300	15.40
360	15.60
420	15.80
480	16.00
540	16.20
600	16.35
660	16.46
720	16.56
780	16.66
840	16.74
900	16.81
960	16.85
1020	16.90
1080	16.93
1140	16.96
1200	17.00

Відповідно до встановлених технологічних норм, система регулювання температури у виробничому приміщенні повинна відповідати таким показникам якості:

- 1) Допустиме максимальне динамічне відхилення $A_1 = 2.5^{\circ}\text{C}$;
- 2) Допустима похибка регулювання $\Delta = 0.3^{\circ}\text{C}$;
- 3) Допустимий час регулювання $t_p = 1400$ с;
- 4) Ступінь коливання $m = 0.38$.

7.1 Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів

Проаналізувавши дані з таблиці 7.1 та побудовану в середовищі Matlab криву розгону, можна зробити висновок, що процес підвищення температури у

приміщенні відбувається повільно. Зростання температури починається з помітною часовою затримкою, що вказує на наявність у моделі об'єкта регулювання ланки запізнення, а також кількох аперіодичних ланок першого порядку. Графічне зображення отриманої експериментальної кривої розгону представлено на рисунку 7.1.

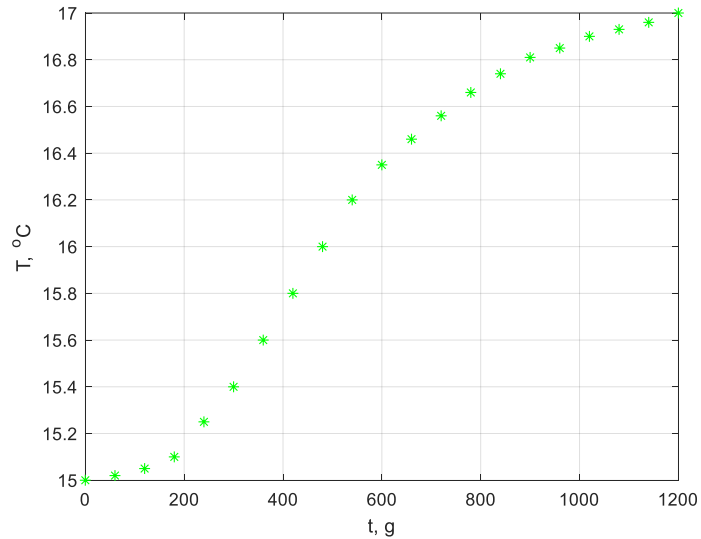


Рисунок 7.1 Експериментальна крива розгону об'єкту регулювання отримана при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 10%

Виберемо передавальну функцію у вигляді послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з різними сталими часу та ланки запізнення[7]:

$$W(p) = \frac{e^{-pt}}{\prod_{i=1}^n (T_i p + 1)} \quad (7.2)$$

де τ – час запізнення;

T_i – стала часу аперіодичних ланок;

n – кількість аперіодичних ланок.

Припустимо, що сталі часу пов'язані між собою таким чином:

$$T_2 = \frac{T_1}{2}; T_3 = \frac{T_1}{3}; \dots T_n = \frac{T_1}{n}; \quad (7.3)$$

Тоді передавальна функція матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{e^{-pt}}{\prod_{i=1}^n \left(\frac{T_1}{i}p + 1\right)} \quad (7.4)$$

Теоретично перехідна функція, що відповідає моделі (7.4), описується рівнянням[7]:

$$h(t) = \begin{cases} 0, & \text{для } 0 < t < \tau \\ \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_1}}\right)^n, & \text{для } t \geq \tau \end{cases} \quad (7.5)$$

Алгоритм знаходження математичної моделі у вигляді (7.4):

1. Щоб спростити обчислення, необхідно нормувати експериментальну криву розгону об'єкта регулювання $y^e(t)$. Це досягається шляхом ділення її значень на максимальне відхилення вихідної величини [7].

$$h^e(t) = \frac{y^e(t) - y_H}{\Delta y}, \quad (7.6)$$

де $\Delta y = y^e(\infty) - y_H$

$y^e(t)$ – значення вихідної регульованої величини

y_H - задане значення;

На рисунку 7.2 зображено нормовану криву розгону:

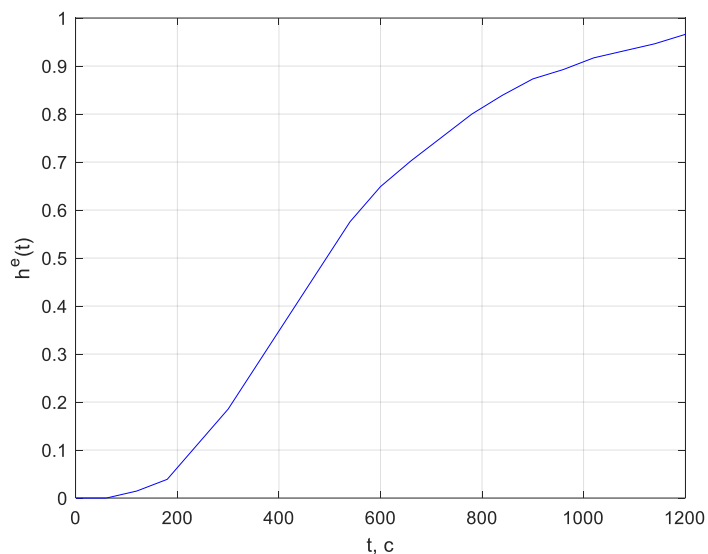


Рисунок 7.2 Вигляд нормованої кривої розгону

2. Час t_1 визначається за значенням експериментальної перехідної функції $h^e(t_1 - \tau) = h_1 = 0.632h(\infty)$. Далі визначаємо момент часу $t_2 = 0.5(t_1 - \tau)$ і відповідне йому значення експериментальної перехідної функції $h^e(t_2) = h^e[7]$.

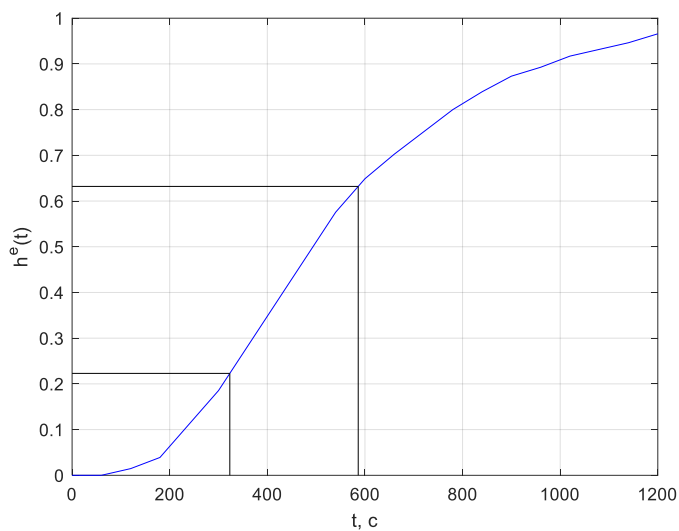


Рисунок 7.3 Графік знаходження $h^e(t_2)$

З рисунку 7.3 отримуємо такі значення:

$$\tau = 60 \text{ с};$$

$$h_1 = 0.632;$$

$$t_1 = 586.24;$$

$$t_2 = 323.12;$$

$$h^e_2 = 0.2229.$$

1. З таблиці 7.2 знаходимо найближче до знайденого h^e_2 розрахункове значення h_2 і відповідне йому значення n [7].

Таблиця 7.2

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_2	0.3934	0.2994	0.2423	0.2024	0.1728	0.1497	0.1311	0.1160	0.1053	0.0926
D_n	0.962	0.642	0.524	0.462	0.421	0.391	0.371	0.354	0.339	0.321

Вибрані значення становлять:

$$n = 3;$$

$$h_2 = 0.2423;$$

$$D_n = 0.524.$$

Також знайдемо значення передавального коефіцієнта передавальної функції виразивши його з формули:

$$x_{\text{вих}}(\infty) = k\Delta x, \quad \text{°C}$$

$$k = \frac{x_{\text{вих}}(\infty)}{\Delta x_{\text{вих}}} = \frac{17.07 - 15}{10} = 0.207 \text{ \% ходу РО}, \quad (7.7)$$

2. Використовуючи знайдені значення показника порядку системи n та постійної часу T_i , за формулою (7.4) розраховуються теоретичні значення функції $h(t)$, які потім зіставляються з експериментальними даними. Порівняльний графік розміщено на рисунку 7.4, де зображено експериментальну криву розгону та модельну, побудовану згідно з рівнянням (7.4)

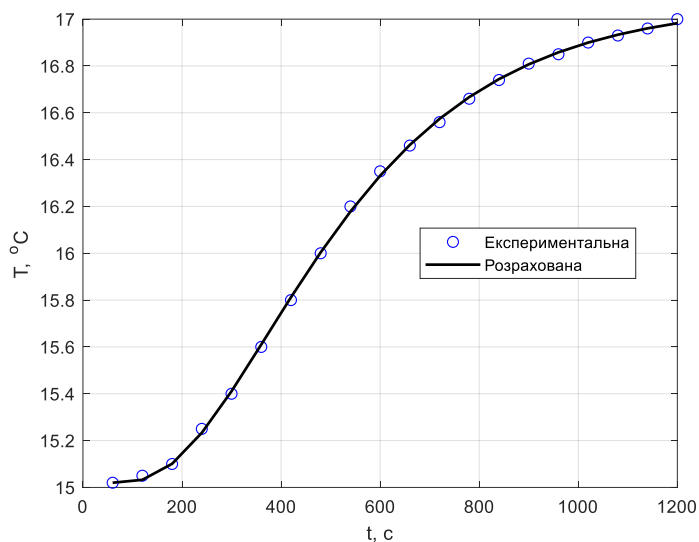


Рисунок 7.4 Графік порівняння знайденої та експериментальної кривих розгону отриманих переміщенням РО на 10%

Програма написана в середовищі Matlab для проведення розрахунків:

```

clc; clear all;
% Вхідні дані
tz = 0:60:1200;
Tz = [15.000 15.020 15.050 15.100 15.250 15.400 15.600 15.800 ...
      16.000 16.200 16.350 16.460 16.560 16.660 16.740 16.810 ...
      16.850 16.900 16.930 16.960 17.000];

pDelay = 2;
tDelay = tz(pDelay);
Te = Tz(pDelay:end);
t = tz(pDelay:end) - tDelay;
% Підбір оптимальних T1, n, endPoint
min_error = inf;
best_T1 = 0; best_n = 0; best_endPoint = 0;

for T1 = 100:1:400
    for n = 1:0.1:3.5
        for endPoint = 17.01:0.001:17.10
            Tz1 = (Te - Te(1)) / (endPoint - Te(1));
            h_model = (1 - exp(-t / T1)).^n;
            err = sqrt(mean((h_model - Tz1).^2)); % RMSE
            if err < min_error
                min_error = err;
                best_T1 = T1;
                best_n = n;
                best_endPoint = endPoint;
            end
        end
    end
end

% Обчислення з оптимальними параметрами
T1 = best_T1;
n = best_n;
endPoint = best_endPoint;
Tz1 = (Te - Te(1)) / (endPoint - Te(1));

```

```

h_t = (1 - exp(-t / T1)).^n;
T_model = h_t * (endPoint - Te(1)) + Te(1);

%Графік 1
figure(1);
plot(tz, Tz, 'g*'); grid on;
xlabel('t, c'); ylabel('T, ^oC');

%Графік 2
figure(2);
plot([0 tDelay], [0 0], 'b-', t + tDelay, Tz1, 'b-'); grid on;
xlabel('t, c'); ylabel('h^e(t)');

%Графік 3
xLim = xlim(); h1 = 0.632;
[x1, y1] = polyxpoly([t(1) t(end)], [h1 h1], t, Tz1);
t1 = x1;
t2 = 0.5 * t1;
[x2, y2] = polyxpoly([t2 t2], [Tz1(1) Tz1(end)], t, Tz1);

figure(3);
plot([0 tDelay], [0 0], 'b-', ...
      t + tDelay, Tz1, 'b-', ...
      [xLim(1) x1 + tDelay], [y1 y1], 'k-', ...
      [x1 + tDelay x1 + tDelay], [0 y1], '-k', ...
      [xLim(1) x2 + tDelay], [y2 y2], 'k-', ...
      [x2 + tDelay x2 + tDelay], [0 y2], 'k-');
grid on;
xlabel('t, c'); ylabel('h^e(t)');

%Графік 4
figure(4);
plot(t + tDelay, Te, 'ob', 'DisplayName', 'Експериментальна'); hold on;
plot(t + tDelay, T_model, '-k', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Розрахована');
grid on;
xlabel('t, c'); ylabel('T, ^oC');
legend('Location', 'best');

h1 = (1 - exp(-t / T1)).^n; del = max(abs(h1 - Tz1));
pb = del * 100

```

7.1.2 Перевірка адекватності динамічної моделі

Для перевірки точності апроксимації необхідно визначити ординати теоретичної перехідної функції $h(t_j)$ і порівняти їх з ординатами експериментальної кривої $h^e(t_j)$ ^[7].

Для цього можна скористатись рівнянням:

$$\Delta = |h(t) - h^e(t)|_{max} \quad (7.8)$$

де $h(t)$ – ординати теоретичної перехідної функції;

$h^e(t)$ – ординати експериментальної кривої.

Допишемо до попередньої програми декілька рядків коду для перевірки адекватності знайденої моделі:

```
h1 = (1 - exp(-t / T1)).^n; del = max(abs(h1 - Tz1));
pb = del * 100
```

Після виконання програми, отримуємо максимальну зведену похибку апроксимації кривої розгону $\delta = 1.0681\%$, яка не перевищує 3% , тому вважаємо, що модель адекватна.

Знайдені значення сталих часу та коефіцієнта передачі:

$$T_1 = 265 \text{ c};$$

$$T_2 = 132,5 \text{ c};$$

$$T_3 = 85.33 \text{ c};$$

$$\tau = 60 \text{ c};$$

$$k = 0.207 \frac{^\circ\text{C}}{\%}$$

Отже передавальна функція об'єкту регулювання матиме вигляд:

$$W_{op}(p) = \frac{k \cdot e^{-pt}}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)(T_3p + 1)} \quad (7.9)$$

$$= \frac{0.207 \cdot e^{-60p}}{(265p + 1)(132.5p + 1)(85.33p + 1)}$$

7.2 Вибір структурної схеми системи регулювання

В умовах експлуатації системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях технології виготовлення аміачної селітри одним із ключових завдань є підтримання стабільної температури повітряного середовища. Температура повітря залежить від інтенсивності роботи компресорно-конденсаторного агрегату та рівня відкриття повітряних заслінок, які регулюються виконавчими механізмами. Таким чином, автоматизована система керування впливає на параметри охолодження або підігріву повітря для досягнення необхідного температурного режиму[22].

З урахуванням інерційного характеру об'єкта регулювання, наявності теплового запізнення та підвищених вимог до точності і стабільності підтримання мікроклімату, для реалізації регулювання обрано одноконтурну САР з ПД-регулятором. Завдяки своїм властивостям – пропорційній, інтегральній та диференціальній складовим – ПД-регулятор забезпечує оперативну реакцію на зміну температури, компенсує постійні зовнішні збурення та мінімізує коливання температурного процесу в системі кондиціонування.

7.3 Параметрична оптимізація системи регулювання

Визначимо межі робочого діапазону частот регулятора. Граничні значення частот ω^* та ω^{**} встановлюються шляхом чисельного або графічного розв'язання відповідних рівнянь.

$$\varphi_{\text{ор}}(m, \omega^*) = -\frac{\pi}{2} + \text{arctg}(m), \quad (7.10)$$

$$\varphi_{\text{ор}}(m, \omega^{**}) = -\pi. \quad (7.11)$$

Скористаємося графічним методом для визначення граничних частот ω^* та ω^{**} . На основі розширених частотних характеристик об'єкта регулювання побудуємо фазочастотну характеристику, за якою визначимо відповідні граничні значення частот[7]:

$$\omega^* = 0.002, \quad \omega^{**} = 0.006.$$

Програма для розрахунку діапазону частот ω^* та ω^{**} :

```

clc; clear all; close all;
T1=265;
T2 = T1/2;
T3 = T1/3;
n = 3;
tau = 60;
k = 0.207 ;
m = 0.38;

w = 0:0.0001:0.01;
p = -w .* m + i .* w;
W = k .* exp(-p * tau) ./ ((T1 .* p + 1) .* (T2 .* p + 1) .* (T3 .* p + 1));
fiOR = phase(W);

fi_w1 = -pi/2 + atan(m);
fi_w2 = -pi;
x1 = [w(1) w(end)];
y1 = [fi_w1 fi_w1];
[w1,yi1] = polyxpoly(x1,y1,w,fiOR);

x2 = [w(1) w(end)];
y2 = [fi_w2 fi_w2];
[w2,yi2] = polyxpoly(x2,y2,w,fiOR);

ylim = ylim();
figure(1)
plot(w, fiOR...
, [w(1) w1], [yi1 yi1], 'r.-', [w1 w1], [yi1 ylim(1)], 'r.-'...
, [w(1) w2], [yi2 yi2], 'r.-', [w2 w2], [yi2 ylim(1)], 'r.-'); grid
xlabel('w, rad/c');
ylabel('fi_{OP}, rad');

```

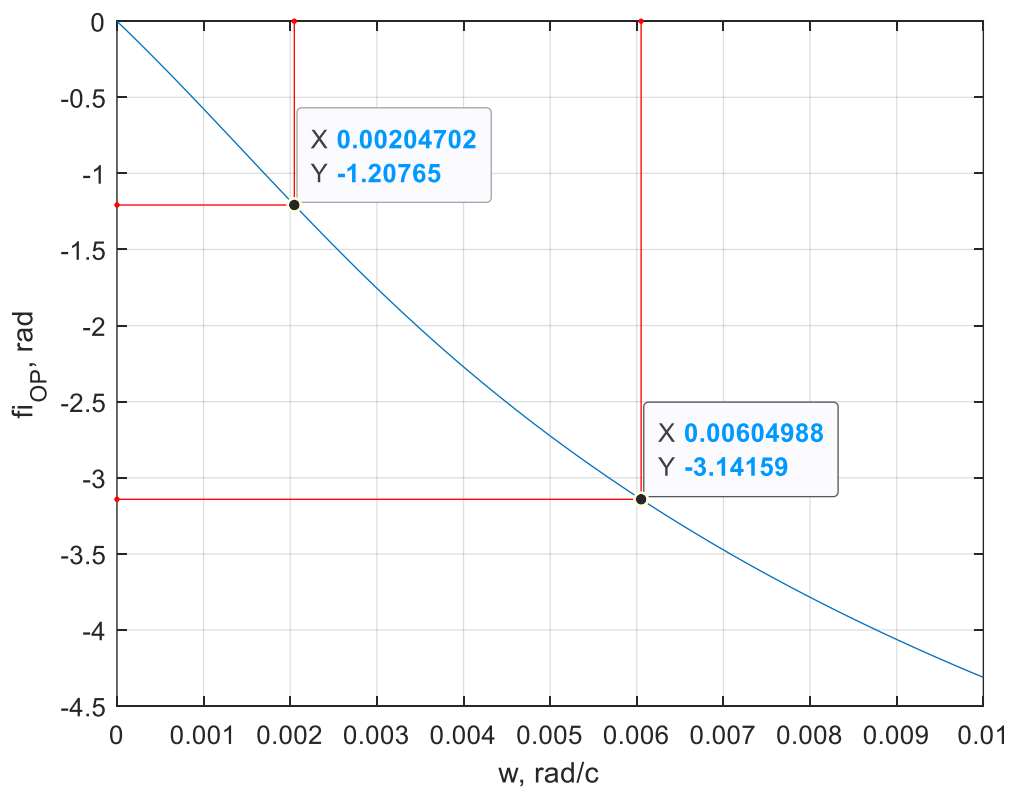


Рисунок 7.5 Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання температури повітря у виробничому приміщенні

7.3.1 Розрахунок параметрів настроювання ПІД-регулятора

Параметри настроювання ПІБ регулятора k_p та $\frac{k_p}{T_{із}}$ розраховуємо за формулами, які визначають для фіксованих значень часу диференціювання T_{δ} [7].

Щоб виконати умову, наведену у формулами, доцільно встановити час диференціювання T_{δ} на рівні 100 с.

$$0 \leq \frac{T_{\delta}}{k_p T_{із}} \leq 0.5. \quad (7.12)$$

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{із}} = \frac{\omega \sqrt{m^2 + 1} (m \cdot \cos \gamma(m, \omega) - \sin \gamma(m, \omega))}{A_{оп}(m, \omega)} + \omega^2 (m^2 + 1) T_{\delta}; \\ k_p = \frac{\sqrt{m^2 + 1} \cos \gamma(m, \omega)}{A_{оп}(m, \omega)} + 2 T_{\delta} m \omega. \end{cases} \quad (7.13)$$

$$\gamma(m, \omega) = |\varphi_{оп}(m, \omega)| + \arctg(m) - \pi.$$

$A_{оп}(m, \omega)$ – амплітудо-частотна характеристика;

$\varphi_{оп}(m, \omega)$ – фазочастотна характеристика;

Щоб застосувати формули для обчислення k_p та $\frac{k_p}{T_{із}}$, необхідно попередньо визначити робочий діапазон частот регулятора. Початкові граничні частоти цього діапазону — ω^* та ω^{**} — можна прийняти рівними значенням, отриманим у попередньому розділі. Після цього їх коригують, орієнтуючись на форму лінії запасу стійкості, з урахуванням виконання умови (7.12). Для випадку, коли $m=0.38$ та $T_{\delta} = 100$ с, граничні частоти становлять: $\omega^* = 0.002$, $\omega^{**} = 0.006$.

Для визначення оптимальних значень параметрів ПД-регулятора, застосуємо як критерій оптимізації другу інтегральну оцінку перехідного процесу за регулюючою дією, яку знаходимо за формулою[7]:

$$J_2 = \int_0^{\infty} [y(t) - y_{\text{зад}}]^2 dt, \quad (7.14)$$

де $y(t)$ – крива розгону замкнutoї САР,
 $y_{\text{зад}}$ – задане значення регульованої величини.

Програма знаходження параметрів ПД-регулятора в середовищі Matlab:

```

clc; clear all;
T1=265;
T2 = T1/2;
T3 = T1/3;
n = 3;
tau = 60;
k = 0.207;
m = 0.38;

w1 = 0.0020; w2 = 0.006;
Td = 100;

w = w1:0.0001:w2;
p = -w .* m + i .* w;
W = k .* exp(-p * tau) ./ ((T1 .* p + 1) .* (T2 .* p + 1) .* (T3 .* p + 1));
AOR = abs(W);
fiOR = phase(W);
y = abs(fiOR) + atan(m) - pi;

kP_Tiz = w .* sqrt(m^2 + 1) .* (m .* cos(y) - sin(y)) ./ AOR + w.^2 .* (m^2 + 1) .* Td;
kP = sqrt(m^2 + 1) * cos(y) ./ AOR + 2 * Td * m * w;

t = 0:2000;
for i = 1:length(w)
    WOR = tf(k, [T1 1], 'InputDelay', tau) * tf(1, [T2 1]) * tf(1, [T3 1]);
    WAR = tf(kP_Tiz(i), [1 0]) + tf(kP(i)) + tf([Td 0], 1);
    Wsar = feedback(WOR, WAR);
    y = step(Wsar, t) * 20;
    q = trapz(t, y.^2);
    S(i) = q;
end

Jmin = min(S);
id = find(Jmin == S);
kPOpt = kP(id)
kP_TizOpt = kP_Tiz(id)

Tiz = kPOpt ./ kP_TizOpt

pb = Td*kP_TizOpt/kPOpt*2

xLim = xlim();

```

```

ylim = ylim();
figure(1)
plot(kP, kP_Tiz, kPOpt, kP_TizOpt, '*'...
); grid;
xlabel('k_{P}');
ylabel('k_{P}/T_{iz}');

figure(2);plot(kP,S,kPOpt,Jmin,'*k');grid;
ylabel('J_{2}');xlabel('k_{P}');

```

У результаті розрахунку програми було визначено межі області запасу стійкості, графічне представлення яких наведено на рисунку 7.6. Крім того, побудовано графік залежності другої інтегральної оцінки від коефіцієнта підсилення ПІД-регулятора, який зображено на рисунку 7.7.

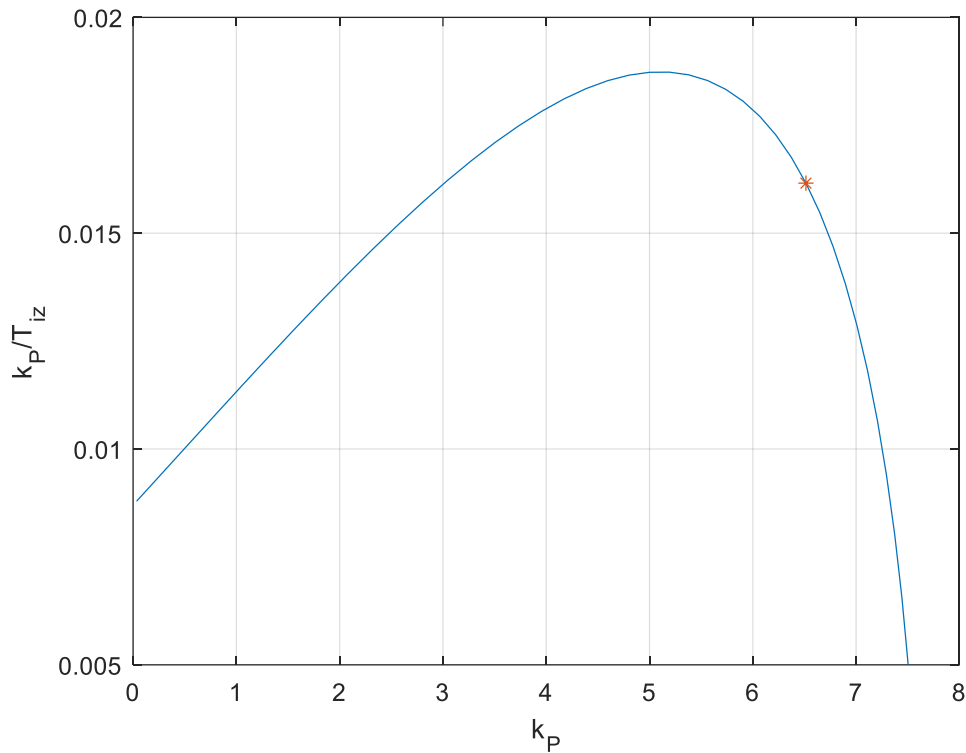


Рисунок 7.6 Межа області запасу стійкості САР з ПІД-регулятором для $t = 0.38$, $T_d = 100$ с системи регулювання температури повітря у виробничому приміщенні

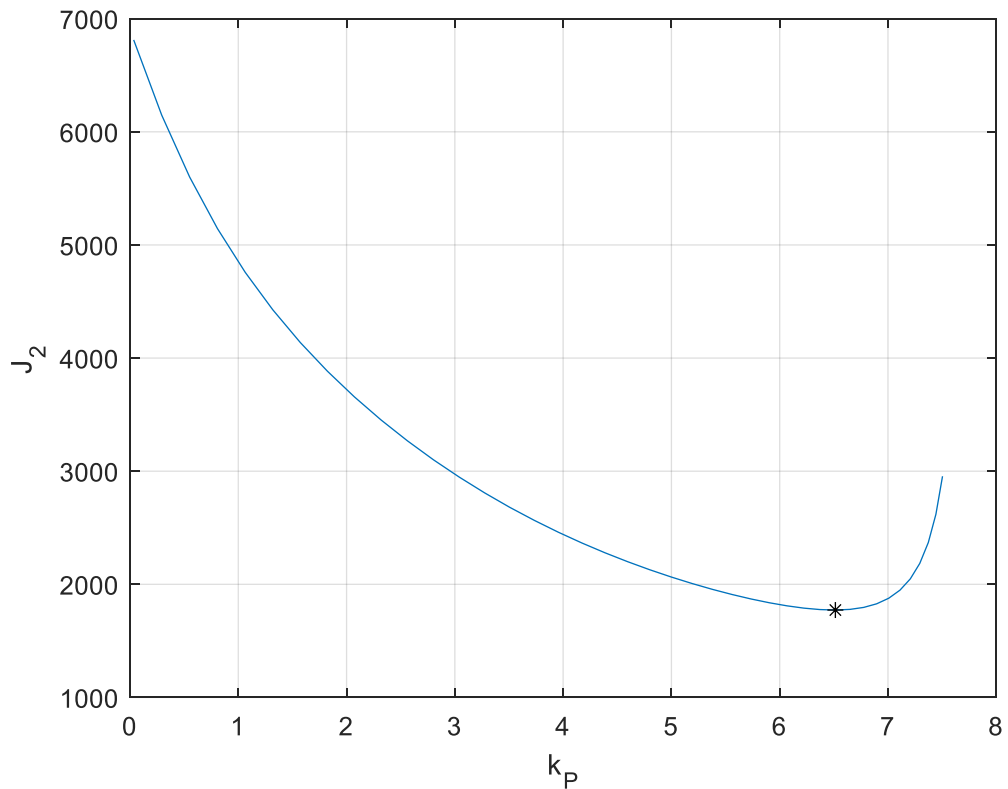


Рисунок 7.7 Графік, що показує зміну другої інтегральної оцінки в залежності від значення коефіцієнта підсилення ПІД-регулятора для системи регулювання температури повітря виробничих приміщень

Проводимо перевірку виконання умови (7.11)

$$0 \leq \frac{T_d}{k_p T_{i3}} \leq 0.5$$

$$0 \leq 0.4961 \leq 0.5.$$

Значення налаштування ПІД-регулятора:

$$k_p = 6.5144, \frac{k_p}{T_{i3}} = 0.0162, T_d = 100 \text{ с.}$$

Передавальна функція регулятора, наступна:

$$W_{AP} = k_p + \frac{k_p}{T_{i3}p} + T_d p = 6.5144 + \frac{0.0162}{p} + 100p \quad (7.15)$$

7.4 Моделювання та дослідження системи регулювання

Метою моделювання системи регулювання у середовищі Simulink є перевірка працездатності обраної структури автоматичного керування температурою повітря у виробничому приміщенні, а також визначення динамічних характеристик системи (перехідних процесів) за різних збурень. Це дозволяє оптимізувати налаштування ПІД-регулятора, оцінити точність і швидкодію регулювання та забезпечити відповідність системи заданим вимогам до якості керування.

Побудована модель системи регулювання із ПІД-регулятором в середовищі Simulink буде представлена на рисунку 7.8.

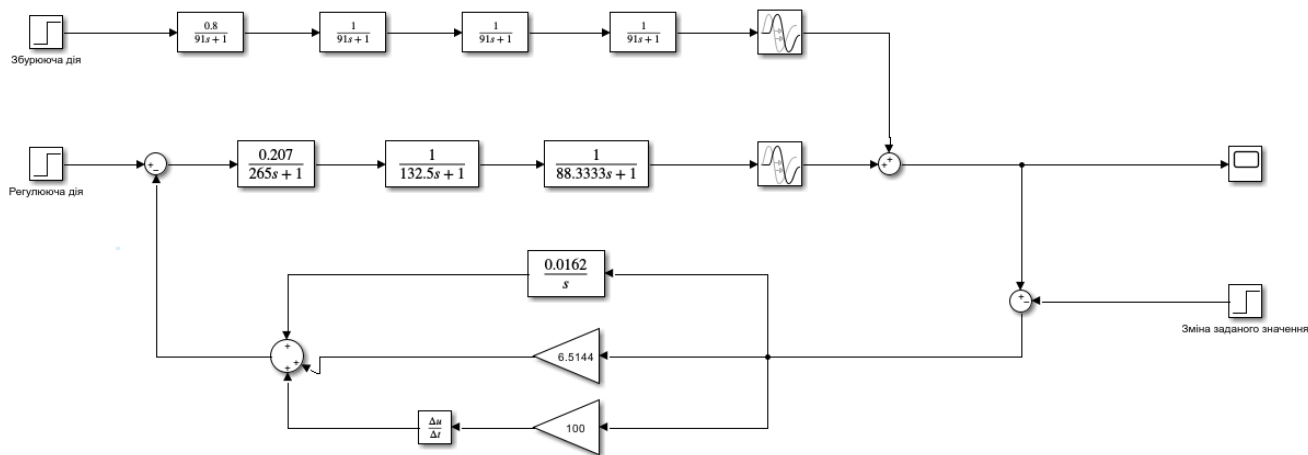


Рисунок 7.8 Модель САР з ПІД-регулятором температури повітря у виробничому приміщенні в середовищі Simulink

Нижче наведено графіки перехідних процесів системи автоматичного регулювання температури повітря у виробничому приміщенні з ПІД-регулятором у відповідь на такі впливи: зміну регулюючої дії шляхом переміщення регульовального органу мережевого теплоносія на 20%, збурення у вигляді зміни температури теплоносія на 5 °С, а також коригування заданого значення температури повітря в приміщенні на 2 °С.

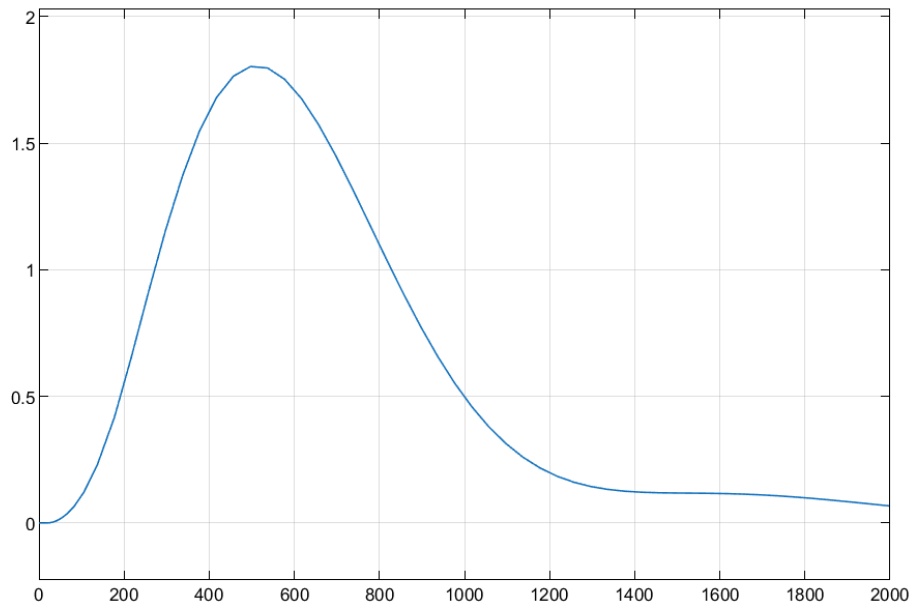


Рисунок 7.9 Графік переходного процесу САР температури повітря у виробничому приміщенні з ПІД-регулятором, отриманого переміщенням РО на 20%

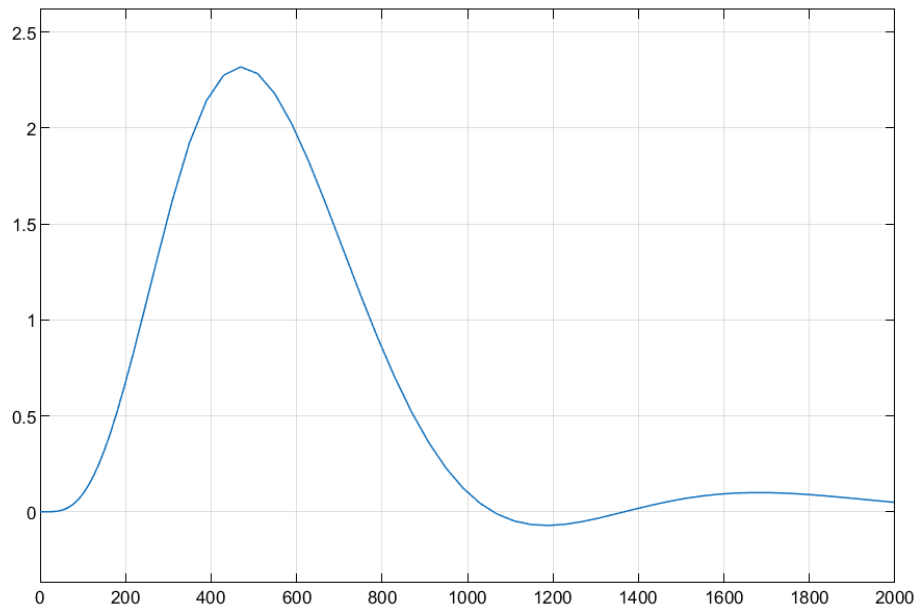


Рисунок 7.10 Графік переходного процесу системи автоматичного регулювання температури повітря у виробничому приміщенні, що в наслідок дії збурення — зміни температури мережевого теплоносія на 5 °С.

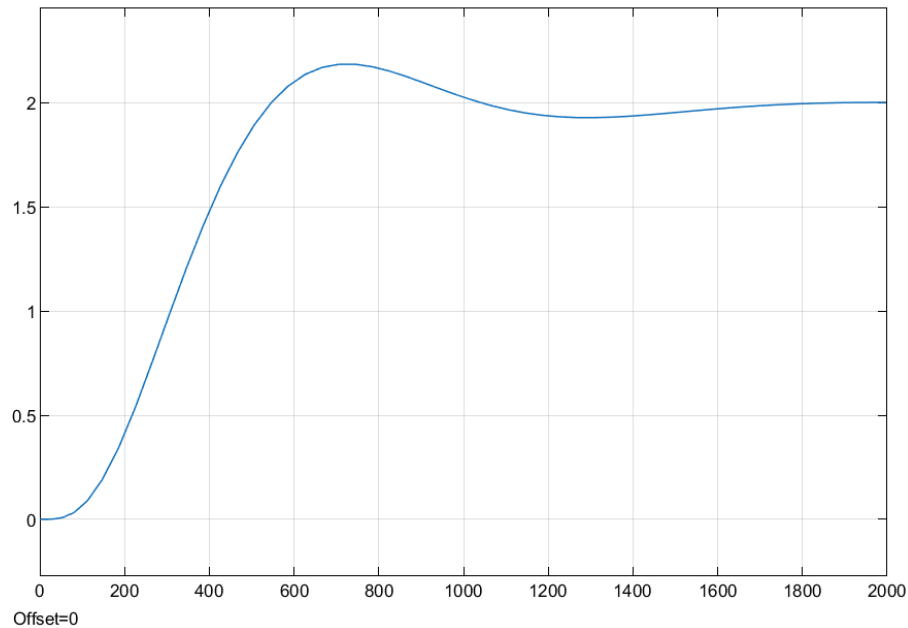


Рисунок 7.11 Графік перехідного процесу системи автоматичного регулювання температури повітря у виробничому приміщенні з ПІД-регулятором, отриманого при зміні заданого значення температури на 2°C

За дослідженими перехідними процесами регулювання температури визначені прямі показники якості максимального диференційного відхилення A_1 та час регулювання t_p .

У таблиці 7.3 зведені значення отриманих показників якості системи регулювання з вимогами якості САР.

Таблиця 7.3

Показники якості регулювання

Показник якості	Зміна регулюючої дії при переміщенні РО на 20%	Збурююча зміна температури теплоносія на 5 °С	Зміна заданого значення регульованої величини на 2 °С	Вимоги до якості
$A_1, ^\circ\text{C}$	1.83	2.31	0.19	2.5
$t_p, \text{с}$	1100	925	452	1400

Висновок:

У цьому розділі бакалаврської роботи, спираючись на експериментальну криву розгону, було визначено передавальну функцію об'єкта керування, яка має наступну форму:

$$W_{OP}(p) = \frac{0.207 \cdot e^{-60p}}{(265p + 1)(132.5p + 1)(88.33p + 1)} \quad (7.9)$$

На основі отриманої моделі було розраховано теоретичну криву розгону, яку порівняно з експериментальними даними. Похибка апроксимації склала 1.14%, що є допустимим рівнем і свідчить про адекватність знайденої передавальної функції. Далі було виконано розрахунок оптимальних параметрів налаштування ПІД-регулятора для одноконтурної системи автоматичного регулювання температури повітря у виробничих приміщеннях:

$$W_{AP} = k_p + \frac{k_p}{T_{із}p} + T_d p = 6.5144 + \frac{0.0162}{p} + 100p$$

Таким чином, отримана передавальна функція регулятора має наступну математичну форму:

$$W_{AP} = k_p + \frac{k_p}{T_{із}p} + T_d p = 6.5144 + \frac{0.0162}{p} + 100p \quad (7.15)$$

Система автоматичного регулювання температури повітря у виробничому приміщенні з розрахованим ПІД-регулятором задовольняє вимоги до якості, оскільки при зміні положення триходового клапана на 20%, зміні температури теплоносія на 5 °С та варіації заданого значення температури повітря на 2 °С, максимальне відхилення не перевищує 2.5 °С, а час встановлення залишається в межах 1400 секунд.

РОЗДІЛ 8 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

У сучасних умовах хімічного виробництва, зокрема у процесі виготовлення аміачної селітри, автоматизація систем кондиціонування повітря набуває особливої актуальності. Вона дозволяє забезпечити стабільність технологічного процесу, підвищити енергоефективність та створити безпечні умови праці. Проте впровадження автоматизованих систем передбачає обов'язкове врахування вимог охорони праці та промислової безпеки. При проєктуванні автоматизованої системи кондиціонування повітря необхідно передбачити комплекс технічних заходів, спрямованих на захист персоналу від потенційно небезпечних факторів, таких як надмірна температура, токсичні речовини у повітрі, вибухонебезпека шум, вібрація та інші фізичні впливи[15].

Система повинна бути оснащена надійними засобами контролю мікрокліматичних параметрів, зокрема температури та концентрації шкідливих речовин, таких як аміак. З цією метою до складу автоматизованої системи включаються датчики концентрації газів, температурні та тискові перетворювачі, які передають інформацію на програмований логічний контролер, що у свою чергу забезпечує керування вентиляцією, клапанами, заслінками, сигналізацією. У разі виходу значень за допустимі межі система повинна автоматично вмикати аварійну вентиляцію, подавати світлову або звукову сигналізацію та зупиняти окремі виконавчі механізми, якщо це необхідно для безпеки.

При проєктуванні елементів системи кондиціонування необхідно використовувати матеріали, стійкі до корозійної дії аміаку та підвищеної вологості. Електрообладнання повинно мати ступінь захисту не нижче IP54, а електропроводка прокладатися відповідно до вимог ПУЕ та ДБН. Крім того, важливо враховувати ергономіку робочих місць, забезпечення належного рівня освітлення згідно з санітарними нормами, обмеження рівня шуму та вібрацій у межах допустимих величин[22].

Таким чином, охорона праці при автоматизації процесу кондиціонування повітря на виробництві аміачної селітри передбачає не лише відповідність технічного обладнання нормативним документам, а й системний підхід до організації безпечного технологічного середовища. Реалізація таких заходів сприятиме підвищенню ефективності виробництва, мінімізації професійних ризиків і забезпеченню здоров'я працівників.

8.1 Технічні рішення щодо вибухонебезпеки та захисту при роботі з аміачною селітрою

У процесі виробництва аміачної селітри надзвичайно важливим є впровадження технічних рішень, спрямованих на зниження ризиків вибухонебезпечних ситуацій та забезпечення безпечних умов праці. Аміачна селітра, хоч і є стабільною речовиною за нормальних умов, при порушенні температурного режиму, у разі забруднення органічними домішками чи перегріву, може переходити у стан, здатний спричинити самозаймання або вибух. Саме тому розробка технічних засобів контролю, діагностики та захисту є критично важливою складовою усього виробничого процесу[18][15].

Першим і базовим етапом безпеки є використання компонентів і матеріалів, сертифікованих для роботи у вибухонебезпечних середовищах. Усі елементи електрообладнання повинні відповідати стандарту вибухозахисту (наприклад, маркування Ex) і мати відповідний ступінь захисту корпусу. Повітропроводи, електроприводи жалюзі, вентиляційне обладнання, кабельні лінії — усе повинно мати захист від перегріву, іскроутворення та механічних пошкоджень[18].

Особливу увагу необхідно приділити системам виявлення небезпечних концентрацій аміаку в повітрі. Для цього встановлюються газоаналізатори, які безперервно вимірюють рівень NH_3 у повітрі приміщень. У разі перевищення допустимих норм система автоматично активує аварійне провітрювання, блокує роботу теплообмінників, припиняє подачу енергоносіїв, вмикає звукову та світлову

сигналізацію. Всі ці дії мають відбуватися в автоматичному режимі за заданими алгоритмами в контролері[2].

Також передбачено встановлення систем аварійного відключення живлення для всього обладнання, яке може бути джерелом нагріву або іскроутворення. Такі системи повинні мати фізичні кнопки аварійної зупинки (Emergency Stop) у легкодоступних місцях.

Для запобігання вибуху також важливо дотримуватись норм температурного режиму у виробничих приміщеннях. З цією метою застосовуються системи автоматичного контролю температури та вологості, які працюють у зв'язці з пристроями охолодження або кондиціонування повітря. Автоматизоване регулювання зворотного клапана, привідних заслінок і вентиляції дозволяє підтримувати стабільні параметри повітря незалежно від зовнішніх умов[2].

З метою забезпечення безпеки розробляються докладні інструкції та протоколи експлуатації обладнання. Вони мають містити порядок дій у разі виявлення витoku, перегріву, зупинки системи вентиляції чи аварійної ситуації. Також важливо організувати регулярне навчання персоналу, ознайомлення зі схемами автоматизації, правилами поведінки з аміачною селітрою, а також діями в разі евакуації[2].

Застосування вищенаведених технічних рішень дозволяє не лише знизити ризик вибухів та нещасних випадків, а й забезпечити безпечну, надійну та безперервну роботу автоматизованих систем у виробництві аміачної селітри. Систематичне оновлення технічних засобів захисту, відповідність сучасним стандартам охорони праці та безпеки є невід'ємною частиною технологічного процесу на об'єктах хімічного виробництва.

8.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

8.2.1 Виробниче освітлення

Приміщення хімічного виробництва, зокрема для виготовлення аміачної селітри, повинно бути забезпечене як природним, так і штучним освітленням

відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Освітлення має забезпечити комфортні та безпечні умови праці, враховуючи підвищені вимоги до зорової роботи, а також вибухонебезпечний характер середовища.

Природне освітлення в даному виробничому приміщенні повинно забезпечуватись через бокові світлопрорізи, які мають бути розміщені рівномірно по довжині фасадів. Коефіцієнт природної освітленості (КПО) для виробничих приміщень, відповідно до ДБН, має становити не менше 1,5% [29].

Розрахунок КПО виконаємо за формулою:

$$\frac{100 \cdot S_v}{S_p} = \frac{e_n \cdot k_z \cdot \eta_v \cdot k_{bud}}{\tau_{zag} \cdot r} \quad (8.1)$$

де:

- S_v — площа світлопрорізів
- S_p — площа підлоги приміщення
- e_n — нормований КПО (%)
- k_z — коефіцієнт запасу (1.2–1.5)
- η_v — світлова характеристика вікон (залежить від габаритів);
- k_{bud} — коефіцієнт затінення зовнішніми будівлями (1.0–1.7)
- τ_{zag} — загальний коефіцієнт світлопропускання: $\tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5$
- r — коефіцієнт відбиття (1.0–2.0)

Вихідні дані:

- Довжина приміщення: 60 м
- Ширина приміщення: 30 м
- Висота: 31 м

Площа підлоги:

$$S_{\Pi} = 60 \times 30 = 1800 \text{ м}^2$$

Щоб забезпечити мінімальний КПО, обчислимо необхідну площу вікон:

Обчислення правої частини формули:

$$\frac{0,7 \cdot 1,3 \cdot 10 \cdot 1,2}{0,583 \cdot 1,5} = \frac{10,92}{0,8745} \approx 12,5 \quad (8.2)$$

Обчислення лівої частини:

$$\frac{100 \cdot 24}{1800} = \frac{2400}{1800} \approx 1,33 \quad (8.3)$$

1,33 < 12,5, отже поточна площа вікон недостатня.

Мінімальне необхідне значення S_v :

$$S_v = \frac{S_p \cdot 12,5}{100} = \frac{1800 \cdot 12,5}{100} = 225 \text{ м}^2 \quad (8.4)$$

Тобто для забезпечення норм $e_n=0,7\%$ потрібно збільшити площу світлопрорізів до приблизно 225 м².

Отже, сумарна площа світлопрорізів по фасаду приміщення повинна становити не менше 225 м². Це значення може бути реалізоване, наприклад, шляхом встановлення 15 вікон розміром 2.5 м × 3 м на кожній довгій стіні, що дозволить не лише досягти нормативного рівня природної освітленості, але й створити світлий, безпечний робочий простір.

Для штучного освітлення передбачено використання люмінесцентних світильників із джерелами білого світла. Освітлення в приміщенні диспетчерської, щитової та операторської реалізується у вигляді системи загального рівномірного освітлення. Характер зорової роботи відповідає IV розряду, підрозряду В, згідно з ДБН[29].

З огляду на вибухонебезпечне середовище виробництва, освітлювальні прилади мають бути у вибухозахищеному виконанні (маркування Ex), з відповідними сертифікатами та ступенем захисту не нижче IP65. Вибір конкретного обладнання здійснюється з урахуванням класу вибухонебезпеки зони згідно з НПАОП 0.00-1.32-01[30].

Таким чином, реалізовані рішення забезпечують нормативний рівень природного та штучного освітлення, що є обов'язковим для ефективної і безпечної експлуатації об'єкта хімічного виробництва.

8.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря в зоні обслуговування персоналу регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК), встановленими відповідно до вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та чинного законодавства України, зокрема Закону «Про охорону праці». Ці

нормативи визначають максимально допустимі концентрації шкідливих речовин, які не повинні перевищуватись у повітрі робочої зони, особливо на підприємствах хімічної галузі[21].

ГДК визначають перелік небезпечних речовин, їх допустимий вміст у повітрі, а також порядок вимірювання, контролю та реалізації заходів із зменшення їх концентрацій до безпечного рівня. Підприємства, які здійснюють технологічні процеси, пов'язані з хімічними сполуками, зобов'язані забезпечувати постійний моніторинг повітря, ведення обліку вимірювань та вживати заходів для усунення або мінімізації шкідливих впливів на працівників.

У системі кондиціонування повітря, впровадженій для виробництва аміачної селітри, передбачено автоматичний контроль вмісту чотирьох ключових речовин, що виділяються внаслідок технологічного процесу: аміаку, оксидів азоту, вуглекислого газу (CO_2) та промислового пилу.

Допустимі концентрації аміаку у робочому середовищі становлять 20 мг/м^3 . При перевищенні позначки 20 мг/м^3 система автоматично активує додаткову вентиляцію для оперативного зниження концентрації[21].

Таким чином, реалізовані заходи автоматизованого контролю повітря у виробничому приміщенні дозволяють ефективно виявляти шкідливі речовини в реальному часі, запобігати перевищенню ГДК та забезпечувати безпечні умови праці згідно з діючими нормативами.

8.2.3. Мікроклімат виробничого приміщення

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», основними регламентованими параметрами повітря в робочій зоні є температура, відносна вологість та швидкість руху повітря. Нормативні значення цих показників встановлюються з урахуванням теплового навантаження, характеру виконуваних робіт та сезону (холодний або теплий період року)[21].

У виробництві аміачної селітри, виконувані роботи, як правило, відносяться до категорії середньої важкості Пб, що передбачає помірне фізичне навантаження

відповідно до класифікації за енерговитратами.

З урахуванням зазначеного, для забезпечення належного мікроклімату в приміщеннях встановлюються оптимальні та допустимі параметри температури, вологості й рухливості повітря. Конкретні нормативні значення цих параметрів наведено у таблиці нижче.

Таблиця 8.1

Параметри мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042-99						
Період року	Оптимальні			Допустимі		
	T, °C	W, %	V, м/с	T, °C	W, %	V, м/с
Холодний	20-22	40-60	<0.2	17-23	75	<0.2
Теплий	21-23	40-60	< 0.3	18-27	65	0.2-0.4

8.2.4 Шум та вібрація у приміщенні

У щитовому приміщенні характер шуму є непостійним, тому відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99, для оцінки рівня шумового впливу застосовується еквівалентний рівень звуку. Згідно з зазначеними санітарними нормами, гранично допустимий рівень шуму на робочому місці становить 60 дБА[17].

Основними джерелами шуму в даному середовищі є електродвигуни вентиляторів та насос зворотної води. Для зменшення шумового навантаження передбачено покращення експлуатаційного режиму обладнання, проведення точного балансування та центрування обертових механізмів. У результаті реалізації цих заходів, фактичний еквівалентний рівень шуму у приміщенні становить близько 50 дБА. Крім того, для додаткового звукопоглинання передбачено облицювання стін керамічною плиткою з високими акустичними властивостями.

Щодо впливу вібрації, він також регламентується відповідно до вимог ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої вібрації, ультразвуку та інфразвуку», які встановлюють гранично допустимі значення локальної та загальної вібрації залежно від умов праці. Для устаткування, що використовується у системах вентиляції та кондиціонування, допустимі рівні загальної вібрації за віссю дії у діапазоні частот 1–80 Гц не повинні перевищувати середньоквадратичного значення прискорення $0,63 \text{ м/с}^2$ [17].

Використання демпфувальних прокладок, антивібраційних опор та амортизаторів дозволяє знизити рівень переданої вібрації до безпечних меж, що відповідає чинним нормативам і забезпечує комфортні умови для персоналу. Таким чином, рівні шуму і вібрації у приміщенні відповідають встановленим стандартам та не створюють загрози для здоров'я працівників.

8.3 Пожежна безпека

Під час експлуатації системи кондиціонування повітря в умовах хімічного виробництва можливе виникнення вібраційних навантажень і механічних коливань, що зумовлено роботою компресорів, вентиляторів та іншого обладнання. Такі вібрації можуть негативно впливати на надійність електричних з'єднань у шафах управління та системах живлення. Ослаблення контактів з часом спричиняє збільшення перехідного опору, що, у свою чергу, викликає локальний нагрів у місцях з'єднань. Перегрів ізоляції проводів створює потенційний ризик займання, що є однією з причин виникнення пожеж[31][18].

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016, система кондиціонування у виробничих приміщеннях з технологією виготовлення аміачної селітри належить до категорії Б за показниками пожежної небезпеки. Це свідчить про наявність потенційно небезпечних умов, які можуть спричинити займання при порушенні технічної експлуатації або недотриманні вимог безпеки[18].

Згідно з ДБН Б.1.1-7.2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», приміщення має II ступінь вогнестійкості, що передбачає наявність

конструктивних рішень, здатних протистояти поширенню вогню протягом обмеженого часу. Такий ступінь вогнестійкості забезпечує додаткову безпеку для персоналу, дозволяючи провести евакуацію у разі виникнення надзвичайної ситуації. Технічне обслуговування системи повинно включати регулярний контроль якості контактних з'єднань, перевірку ізоляції проводів та профілактичні заходи для мінімізації ризиків займання[31].

8.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016, приміщення операторської за показниками вибухопожежної небезпеки класифікується як категорія Д, а згідно з вимогами НПАОП 40.1-1.32-01, робочі зони належать до класу В-Пб, що свідчить про наявність пожежо- та вибухонебезпечного середовища[18].

Особливу увагу необхідно приділяти вибухонебезпечним властивостям аміачної селітри, яка при нагріванні або взаємодії з горючими речовинами може стати джерелом сильного вибуху. Тому технічні рішення з електробезпеки повинні враховувати потенційні ризики, пов'язані з її зберіганням і використанням[4].

З метою дотримання вимог безпеки, у таких зонах дозволяється використовувати виключно електрообладнання у герметичному (закритому) або вибухозахищеному виконанні, ізоляція якого унеможливорює контакт внутрішніх елементів із зовнішнім середовищем.

Пускову апаратуру (наприклад, магнітні пускачі) рекомендується виносити за межі вибухонебезпечних зон із забезпеченням дистанційного керування. Кабелі повинні прокладатися в сталевих або металевих трубах для підвищення захищеності електромережі від зовнішніх впливів.

8.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Для забезпечення пожежної безпеки приміщення щитової оснащено первинними засобами пожежогасіння — вуглекислотними вогнегасниками типу

ВК-8 та порошковими типу ВП-2, які призначені для ліквідації загорянь в електрообладнанні під напругою[18].

Додатково передбачено встановлення стаціонарної порошкової системи пожежогасіння з автоматичним запуском, а також функціонування систем пожежного сповіщення та пожежного зв'язку.

Ці технічні заходи та вимоги, що стосуються запобігання пожежам і забезпечення протипожежного захисту, спрямовані на гарантовану безпеку персоналу та збереження матеріальних цінностей у процесі експлуатації автоматизованої системи кондиціонування повітря. Дотримання встановлених норм, а також систематичне технічне обслуговування і перевірка протипожежного обладнання є ключовими умовами для стабільної та безпечної роботи всієї системи.

РОЗДІЛ 9 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

9.1 Розрахунок і обґрунтування витрат на здійснення заходів для автоматизації

Для визначення витрат, пов'язаних із впровадженням обраної схеми автоматизації системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях, формується кошторис, що включає в себе вартість закупівлі обладнання та витрати на його монтаж і налаштування.

Таблиця 9.1

Витрати на прилади автоматизації

№ п/п	Назва приладу	Тип приладу	К-ть (шт.)	Вартість, грн	
				Одиниці	Повна
1	2	3	4	5	6

1	Програмований логічний контролер	Unitronics Vision 570	1	40 000	40 000
2	Пристрій вводу/виводу Snap-in	V200-18- E46B	1	11 000	11 000
3	Модуль блоку живлення	БП-50-1к	1	8000	8000
4	Термоперетворюв ач опору	WIKA TFT35	2	2700	5400
5	Давач температури	Autonics THD-R- PT/C	1	5 000	5 000

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5	6
6	Електропривід для клапанів	Danfoss AME435	2	17 000	34 000
7	Триходовий клапан	VRB3	2	11 500	23 000
8	Контактор	Schneider LZ1H6X5 BD	2	12 000	24 000
9	Вимірювальний перетворювач перепаду тиску	Belimo 22ADP- 18Q	4	8000	32 000

10	Електропривід	Belimo LM24A -S-TP	2	6800	13600
11	Компресорно- конденсатний агрегат	Danfoss Optima Plus	1	350 000	350 000
12	Давач аміаку в повітрі	INTEC PolyGar d DT5- 1125 V1	1	29 000	29 000
	Всього		22	501000	575 000

Загальна сума витрат на автоматизацію системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях технологічного процесу виготовлення аміачної селітри становить 605 000 грн. До цієї суми входить вартість основного обладнання системи кондиціонування. Додатково враховано витрати на облаштування операторського приміщення відповідно до нормативних вимог до робочого місця оператора автоматизованої системи – 30 000 грн. Усі зазначені витрати охоплюють як технічні, так і організаційні заходи, необхідні для ефективного впровадження автоматизованої системи кондиціонування повітря на виробництві аміачної селітри, з урахуванням специфіки вибухопожежонебезпечного середовища.

9.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річну норму амортизації для системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях технологічного процесу виготовлення аміачної селітри розраховуємо прямолінійним методом, який передбачає рівномірне списання вартості обладнання протягом усього строку його експлуатації. Цей метод є найбільш зручним і поширеним у промисловості, оскільки дозволяє прогнозовано планувати витрати, пов'язані з оновленням та заміною технічного обладнання.

Згідно з практикою експлуатації подібного обладнання, середній термін

служби систем кондиціонування в умовах хімічного виробництва становить від 6 до 10 років. З урахуванням підвищеного технічного навантаження, агресивного середовища та регулярного циклічного навантаження, доцільно обрати норматив амортизації на рівні 15% річних. Такий підхід дозволяє адекватно відобразити зношування системи та забезпечує можливість накопичення коштів для її оновлення.

Таким чином, за обчисленою базовою вартістю системи кондиціонування в розмірі 605 000 грн, річна сума амортизаційних витрат складе:

$$605\ 000\ \text{грн} \cdot 15\% = 90\ 750\ \text{грн} / \text{рік}.$$

Ці витрати враховуються при плануванні загальних експлуатаційних витрат підприємства, формуванні собівартості продукції та оцінці економічної ефективності впровадження автоматизованої системи кондиціонування повітря. Амортизація дозволяє не лише розподілити витрати в часі, а й сприяє формуванню стабільного інвестиційного фонду для модернізації та технічного переоснащення виробництва в майбутньому.

9.3 Розрахунок впливу автоматизації на техніко-економічні показники

В рамках автоматизації системи кондиціонування повітря виробничих приміщень у технології виготовлення аміачної селітри відбувається покращення техніко-економічних показників. Основні вигоди проявляються у зниженні витрат на електроенергію, оптимізації використання ресурсів та зменшенні трудозатрат на обслуговування. Автоматизація сприяє стабільному контролю параметрів повітря та підвищенню ефективності роботи обладнання. Зокрема, після впровадження системи економія електроенергії становить 1,35 кВт·год на кожен 1 м³ продуктивності при витраті 12,5 м³/год.

Річна продуктивність підігрівача становитиме:

$$12.5 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot 8760 \text{ год} = 109500 \text{ м}^3 / \text{рік} \quad (9.1)$$

Таким чином, річна економія енергії в результаті автоматизації становитиме:

$$109500 \cdot 1.35 = 147825 \text{ кВт} / \text{год} \quad (9.2)$$

Відповідно до тарифу 4.32 грн/кВт·год, річна економія витрат складатиме:

$$E_1 = 147825 \text{ кВт} / \text{год} \cdot 4.32 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} / \text{год}} = 638\,604 \text{ грн} / \text{рік} \quad (9.3)$$

9.4 Розрахунок кількості основних працівників та їх щорічної заробітної плати

Впровадження автоматизації системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях технологічного процесу виготовлення аміачної селітри спричинило суттєві зміни в організаційній структурі обслуговуючого персоналу. До автоматизації підтримання необхідного мікроклімату в приміщеннях здійснювалось вручну із залученням 4-ьох операторів. Їх завданням був постійний контроль за температурою, витратою повітря, концентрацією аміаку, справністю приладів, що забезпечують належні умови технологічного процесу та безпеки.

Кожен із чотирьох працівників отримував щомісячну заробітну плату в розмірі 20 000 грн, а загальні витрати на заробітну плату до впровадження автоматизації становили:

$$20\,000 \text{ грн} \times 4 \text{ особи} = 80\,000 \text{ грн} / \text{міс} \quad (9.4)$$

Після реалізації автоматизованої системи кондиціонування основні операції, пов'язані з контролем, регулюванням і моніторингом технологічних параметрів, виконуються автоматично — за допомогою ПЛК, датчиків, виконавчих механізмів та НМІ-панелі. Завдяки цьому кількість персоналу, необхідного для обслуговування системи, скоротилася до одного кваліфікованого працівника. Його заробітна плата становить 35 000 грн/міс.

Таким чином, щомісячна економія витрат на оплату праці дорівнює:

$$80\,000 \text{ грн} - 35\,000 \text{ грн} = 45\,000 \text{ грн/міс} \quad (9.5)$$

Відповідно, річна економія витрат на оплату праці становить:

$$45\,000 \text{ грн/міс} \cdot 12 \text{ міс} = 540\,000 \text{ грн/рік} \quad (9.6)$$

Отже, впровадження системи автоматизації кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях хімічного підприємства з виробництва аміачної селітри дозволило знизити витрати на оплату праці на суму 480 000 грн на рік.

Якщо також врахувати річну економію на електроенергії, яка згідно з попередніми розрахунками становить 638 604 грн/рік, то загальна річний економічний ефект становитиме:

$$E_p = E_e + E_z = 638\,604 + 540\,000 = 1\,178\,604 \text{ грн/рік} \quad (9.7)$$

де:

E_e – річна економія електроенергії,

E_z – річна економія на заробітній платі персоналу.

Таким чином, автоматизація системи кондиціонування не лише покращує контроль за технологічними процесами, а й забезпечує суттєве зниження експлуатаційних витрат на підприємстві.

9.5 Розрахунок експлуатаційних витрат на автоматизацію

У цьому підпункті виконано розрахунок потужності обладнання, що задіяне в автоматизованій системі кондиціонування повітря виробничих приміщень, а також визначено загальне споживання електроенергії для забезпечення його роботи.

Таблиця 9.2

Зведена таблиця експлуатаційних витрат

№ п/п	Назва приладу	Потужність приладу, Вт	Кількість, шт.	Загальна потужність, Вт	К-ть годин на рік, год.	Витрати електроенергії в рік, кВт·год
1	2	3	4	5	6	7
1	БП-50-1к	240	1	240	8760	2102.4
2	Schneider LZ1H6X5BD	1500	2	3000	8760	26280
3	Вентилятори припливного та витяжного повітря	550	2	1100	8760	9636

Продовження таблиці 9.2

1	2	3	4	5	6	7
4	Компресорно-конденсаторний агрегат Danfoss Optima Plus INVERTER	2000	1	2000	8760	17520
	Всього					81818.4

1. Таким чином, загальні витрати на спожити електроенергію для забезпечення роботи засобів автоматизації становлять:

$$P_1 = 55\,538 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 4.32 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} = 239\,924 \text{ грн/рік} \quad (9.8)$$

2. Обчислення витрат на оплату праці персоналу:

$$P_2 = 35\,000 \text{ грн} \cdot 12 \text{ міс} = 420\,000 \text{ грн/рік} \quad (9.9)$$

3. Витрати, пов'язані з нарахуванням амортизації обладнання:

$$P_3 = 94\,950 \text{ грн}$$

4. Витрати на ремонт

$$P_4 = 80\,000 \text{ грн/рік}$$

5. Фінансові витрати на забезпечення умов охорони праці для нових співробітників

$$P_5 = 6500 \text{ грн/рік}$$

6. Нарухування обов'язкових соціальних платежів та зборів з фонду

заробітної плати

$$P_6 = (0.22 + 0.015) \cdot 32 = 97\,020 \text{ грн} \quad (9.10)$$

Таким чином, повна величина витрат на експлуатацію дорівнює

$$P_v = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 327\,273 + 420\,000 + \\ + 94\,950 + 80\,000 + 6500 + 97\,020 = 938\,385 \text{ грн / рік} \quad (9.11)$$

9.5 Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

1. Розрахунок річного економічного ефекту здійснюється за наступною формулою

$$E_p = E_{\text{заг}} - K \cdot E_H = 240\,219 - 575\,000 \cdot 0.15 = 153\,969 \text{ грн} \quad (9.12)$$

$E_{\text{заг}}$ — загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел і визначається за формулою:

$$E_{\text{заг}} = E_p - P_v = 1\,178\,604 - 938\,385 = 240\,219 \text{ грн} \quad (9.13)$$

де E_p — економічна вигода від конкретного джерела (наприклад, паливо, енергоресурси, матеріали чи заробітна плата);

K — інвестиційні витрати на впровадження автоматизації;

E_H - коефіцієнт ефективності ($E_H = 0.15$);

P_v - щорічні експлуатаційні витрати, пов'язані з функціонуванням автоматизованої системи.

2. Термін окупності проекту визначимо за формулою

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_{\text{заг}}} = \frac{575\,000}{240\,219} = 2.4 \quad (9.14)$$

3. Коефіцієнт економічної ефективності

$$E = \frac{1}{T_{\text{ок}}} = \frac{1}{2.4} = 0.42 \quad (9.15)$$

Таким чином, зведена інформація щодо основних техніко-економічних параметрів наведена в таблиці 9.3

Таблиця 9.3

Зведена таблиця техніко економічних показників проекту

№ п/п	Показник	Одиниці	Величина
1	2	3	4
1	Вартість автоматизації	Грн.	575 000
2	Кількість працівників	Чол.	1
3	Заробітна плата працівника за рік	Грн.	420 000
4	Річний економічний ефект	Грн.	153 969
5	Термін окупності	Роки	2.4
6	Коефіцієнт економічної ефективності	-	0.42

Висновок:

У цьому розділі проаналізовано економічні аспекти впровадження автоматизованої системи кондиціонування повітря на підприємстві з виробництва аміачної селітри. Результати дослідження свідчать, що автоматизація забезпечує суттєве зниження витрат на енергоресурси завдяки точному регулюванню мікроклімату у виробничих приміщеннях. Оптимізація споживання електроенергії дозволяє підтримувати необхідні температурні умови з мінімальними витратами, що підвищує загальну енергоефективність виробництва.

Окрім зниження енергозатрат, автоматизована система дозволила скоротити чисельність обслуговуючого персоналу до однієї особи, що призводить до додаткової економії на оплаті праці. Згідно з розрахунками, термін окупності впровадженого рішення становить близько 2-ох років і 3-ьох місяців, а коефіцієнт економічної ефективності дорівнює 0,41.

Таким чином, проєкт автоматизації системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях підприємства з виготовлення аміачної селітри є економічно обґрунтованим та ефективним з точки зору зниження витрат і підвищення продуктивності

ВИСНОВКИ

Під час виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено проєкт автоматизації системи кондиціонування повітря у виробничому приміщенні, де виготовляється аміачна селітра. Основна мета цієї роботи — покращити ефективність, безпечність та стабільність роботи системи за рахунок автоматичного керування температурою повітря.

На початку було проаналізовано сам процес як об'єкт регулювання — розглянуто, як змінюється температура в приміщенні, які зовнішні чинники впливають на цей процес та що саме потрібно для підтримки стабільного мікроклімату. На основі цього було побудовано структурну та функціональну схеми, що описують, як система автоматизації буде працювати: як регулюється температура, які пристрої використовуються, і як вони взаємодіють між собою.

Для реалізації системи автоматизації обрано контролер Unitronics Vision V570, який має сучасний сенсорний інтерфейс та підтримує обмін даними через Modbus, що дозволяє легко інтегрувати його з іншими пристроями, також було розроблено програму для контролера,

Розроблено САР температури повітря в виробничому приміщенні з ПІД регулятором та змодельовано перехідні процеси в середовищі MATLAB/Simulink з оптимальними параметрами налаштування регулятора. В результаті моделювання встановлено, що запроєктована система регулювання задовольняє вимоги до підтримання температури повітря у виробничому приміщенні.

Окрім технічної частини, у роботі розглянуто питання безпеки — особливо важливо враховувати, що аміачна селітра є вибухонебезпечною речовиною, тому все обладнання повинно відповідати нормам і бути захищеним. Також зроблено економічний розрахунок, який показав, що впровадження автоматизації дозволяє

зменшити витрати на енергію та обслуговування, а термін окупності системи є цілком прийнятним.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Очищення повітря в хімічній промисловості URL: <https://greenex-eco.com/yak-vidbuvayetsya-ochyshhennya-povitrya-u-himichnij-promyslovosti/>
2. Правила охорони праці на об'єктах з виробництва неорганічних азотних сполук та мінеральних добрив URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0059-13#Text>
3. Вміст аміаку на фермі: допустимі дози та ефективні заходи контролю <http://dezirex.com.ua/news/nazva-statti-abo-novini-3/>
4. Вентиляції та кондиціонування повітря у робочій зоні виробничих приміщень URL: <https://dsp.gov.ua/ventyliatsii-ta-kondytsiuvannia-povitria-u-robochii-zoni-vyrobnychkh-prymishchen/>
5. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації» для студентів бакалаврського рівня підготовки за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укл. І.В. Костик, В.О. Джигирей – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2024. – 32ст.
6. Редукторні електроприводи Danfoss аналогові URL: <https://profimann.com.ua/uk/zaporno-reguliruyuschaya-armatura/elektroprivody/danfoss-amb-uk/>
7. Крих Г.Б., Савицький В.К., Матіко Ф.Д. Методичні вказівки для самостійної роботи та виконання курсової роботи з дисципліни “Теорія автоматичного керування” для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

- спеціальності 151; Видавництво Національного університету «Львівська політехніка» 2016 рік.
8. Unitronics. Vision570 PLC Technical Datasheet, 2016. (PLC з інтегрованим 5,7" HMI, підтримка до 1000 I/O). URL: <https://www.unitronicsplc.com/vision-series-vision570/>
 9. «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». - Львів : Національний університет «Львівська Політехніка», 2018. 28 с.
 10. Термоперетворювачі опору WIKA URL: https://www.wika.ua/tft35_en_co.WIKA
 11. Давачі диференційного тиску Belimo URL: <https://belimo.com.ua/sensors/>
 12. Інформаційні матеріали лабораторного заняття №2 з дисципліни: «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації».
 13. Інформаційні матеріали лекційного заняття №7 з дисципліни: «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації».
 14. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
 15. НПАОП 24.0-1.02-10. Правила охорони праці на хімічних підприємствах.
 16. ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»
 17. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої вібрації, ультразвуку та інфразвуку»
 18. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою»
 19. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок»
 20. Принцип роботи припливно-витяжної системи вентиляції URL: <https://tviycomfort.com.ua/ua/blog/pryntsyp-roboty-pryplyvno-vytyazhnoyi-systemy-ventylyatsiyi>
 21. ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»
 22. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»

23. Давач температури в повітрі Autonics THD-R-PT/C URL:
<https://www.autonics.com/in/model/THD-R-PTC>
24. Компресорно-конденсаторний агрегат Danfoss Optyma Plus INVERTER URL:
<https://pholod.com.ua/products/kompressorno-kondensatornyj-agregat-danfoss-optyma-plus-inverter-op-mppm044vvlp01e-114x4334?srsltid=AfmBOopcy3gFjHhvZNfoODL82qBn2b3E-NJNtXhmEz3yABfTENk-wni>
25. Давач концентрації аміаку в повітрі INTEC PolyGard DT5-1125 V1 URL:
https://inteccontrols.com/gas-detection/DT5-1125_V1.html
26. Реверсивні та неревверсивні контактори Schneider URL:
<https://www.se.com/ua/uk/product/LZ1H6X5BD/%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C-tesys-h-1-56-5a-%D0%B3%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D1%82-24dc/>
27. Електроприводи повітряної заслінки Belimo URL:
<https://belimo.com.ua/shop/privody-vozdushnyx-klapanov/privody-bez-vozvratnoj-pruzhiny/privody-bez-vozvratnoj-pruzhiny-lm/elektroprivod-vozdushnoj-zaslonki-belimo-lm24a-s-tp/>
28. Регулюючі триходові клапани URL:
<https://teploradost.com.ua/truboprovodnaya-armatura/zapornoreguliruyushaya-armatura/povorotnye-trehhodovye-klapany/?brand=danfoss>
29. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
30. НПАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок
31. ДБН Б.1.1-7.2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва

