

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

***«Автоматизована система керування параметрами
мікроклімату виробничого приміщення»***

Виконав студент гр. АКІТ-21	_____ Яних Д. І.
Керівник	_____ Маринич І. А.
Нормоконтроль	_____ Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 29 » січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТ-21 Яних Даніілу Ігоровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система керування параметрами мікроклімату виробничого приміщення»

затверджено наказом по університету № 108с від 31.01.2025 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 06.06.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 75с., презентація у Microsoft PowerPoint (14 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

доц. Маринич І. А.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.03.25</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.25</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.25</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.25</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.25</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.25</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>05.06.25</i>

6. Дата видачі завдання: 28.01.2025р.

Керівник _____ / Маринич І. А./

7. Запевнення: Я, Яних Данііл Ігорович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Яних Д. І./

АНОТАЦІЯ

Яних Д. І. Автоматизована система керування параметрами мікроклімату виробничого приміщені: кваліфікаційна робота бакалавра : 151 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025. 75 с.

Метою роботи є підвищення економічності системи та точності значень параметрів мікроклімату, що досягається за рахунок автоматизації процесів регулювання.

У першому розділі встановлено, що мікроклімат виробничих приміщень визначається комплексом параметрів, серед яких основними є температура, вологість, швидкість руху повітря, а також ефективність вентиляції. Ці фактори істотно впливають як на самопочуття та працездатність людей, так і на збереження обладнання, матеріалів і продукції. На основі аналізу сформульовано вимоги до розробки системи автоматизованого керування параметрами мікроклімату.

У другому розділі проведена була розроблена функціональна схема системи, яка визначає основні компоненти та їх взаємодію, сформовано алгоритми роботи, які забезпечують ефективне регулювання мікрокліматичних параметрів. Було обране необхідне технічне забезпечення, що відповідає технічним вимогам до точності, швидкодії та надійності. Побудована математична модель системи дала змогу провести імітаційне моделювання. Результати показали здатність системи стабільно підтримувати задані параметри мікроклімату навіть за змін зовнішніх умов, що свідчить про ефективність розробленого технічного рішення.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ВОЛОГІСТЬ,
МІКРОКЛІМАТ, ПЛК, ПІД-РЕГУЛЯТОР, ПРИМІЩЕННЯ

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНОТАЦІЯ			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Яних Д. І.								
Перевір.		Маринич І.А.							3	1
								КНУ АКІТ-21		
Н. Контр.		Маринич І.А.								
Затверд.		Маринич І.А.								

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА ВИМОГ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Загальні параметри та показники мікроклімату приміщень..	8
1.2 Сприйняття мікроклімату в приміщеннях та управління попитом у Швеції	12
1.3 Аналітика даних про навколишнє середовище для моніторингу внутрішнього середовища офісних будівель у спекотному та вологому кліматі.....	15
1.4 Вимоги до створення системи	19
1.4.1 Вимоги до автоматики.....	19
1.4.2 Вимоги до технічного забезпечення.....	20
1.4.3 Вимоги до інформаційного забезпечення.....	20
1.4.4 Вимоги до програмного забезпечення	20
1.4.5 Вимоги до метрологічного забезпечення.....	20
1.5 Постановка задач дослідження.....	21
Висновки за розділом:.....	21
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЗАДАНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ.....	23
2.1 Розробка функціональної схеми системи підтримки заданих параметрів мікроклімату виробничого приміщення.....	23
2.2 Розробка алгоритмів роботи системи.....	26
2.3 Вибір технічного забезпечення.....	29

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Яних Д. І.			ЗМІСТ				
Перевір.		Маринич І.А.							
Н. Контр.		Маринич І.А.							
Затверд.		Маринич І.А.							
					Літ.	Арк.	Аркушів		
							4	2	
					КНУ АКІТ-21				

2.3.1 Вибір контролерного обладнання.....	29
2.3.2 Вибір датчиків	34
2.3.3 Вибір виконавчих механізмів.....	41
2.4 Розробка математичної моделі системи.....	49
2.5 Налаштування регулятора.....	57
2.6 Аналіз поведінки системи за зовнішнього впливу.....	64
Висновки за розділом:.....	65
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	69
ДОДАТОК А. Функціональна схема автоматизації.....	72
ДОДАТОК Б. Схема принципова електричних з'єднань.....	74

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ			Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Яних Д. І.								
Перевір.		Маринич І.А.							4	2
								КНУ АКІТ-21		
Н. Контр.		Маринич І.А.								
Затверд.		Маринич І.А.								

ВСТУП

Стан здоров'я людини та її працездатність значною мірою залежать від мікроклімату в приміщенні. Не маючи можливості ефективно впливати на кліматоутворюючі процеси в атмосфері, людина володіє якісними системами керування чинниками повітряного середовища всередині виробничих приміщень.

Мікроклімат приміщень - це клімат внутрішнього середовища конкретних приміщень, який визначається сукупною дією на організм людини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, а також температурою навколишніх поверхонь.

Фактори, що впливають на мікроклімат, можна поділити на дві групи:

- нерегульовані (комплекс кліматоутворюючих чинників даної місцевості);
- регульовані (особливості та якість будівництва будівель і споруд, інтенсивність теплового випромінювання від нагрівальних приладів, кратність повітрообміну, кількість людей у приміщенні тощо).

За тривалого й систематичного перебування людини в оптимальних мікрокліматичних умовах зберігається нормальний функціональний і тепловий стан організму без напруження механізмів терморегуляції. У таких умовах відчувається тепловий комфорт (стан задоволення зовнішнім середовищем) та забезпечується високий рівень працездатності. Такі умови є бажаними на робочих місцях [5].

У сучасних умовах інтенсивного розвитку промисловості дедалі більшої актуальності набуває питання забезпечення оптимальних умов мікроклімату у виробничих приміщеннях. Від температури, вологості, швидкості руху повітря та інших параметрів мікроклімату значною мірою залежить не лише

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП				
Розроб.		Яних Д.І.							
Перевір.		Маринич І.А.							
Н. Контр.		Маринич І.А.							
Затверд.		Маринич І.А.			КНУ АКІТ-21				

продуктивність праці персоналу, а й якість продукції, що виготовляється, надійність обладнання, а також загальний рівень енергоефективності виробничого процесу.

Об'єктом дослідження у даній роботі є виробниче приміщення з типовими параметрами (довжина – 25 м, ширина – 12 м, висота – 4 м), обладнане джерелом змінного струму на 220 В, 50 Гц.

Метою роботи є підвищення економічності системи та точності значень параметрів мікроклімату, що досягається за рахунок автоматизації процесів регулювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні питання:

- Проаналізувати умови та вимоги до мікроклімату у виробничому приміщенні, з урахуванням чинних нормативів та особливостей технологічного процесу.
- Обґрунтувати вибір засобів автоматизації для реалізації системи керування, зокрема апаратної складової (контролер, датчики, виконавчі механізми).
- Розробити математичну модель системи керування параметрами мікроклімату, яка враховує вплив зовнішніх та внутрішніх факторів.
- Спрогнозувати поведінку системи в умовах змін зовнішнього середовища за допомогою комп'ютерного моделювання.
- Налаштувати регулятори для керування за п'ятьма каналами (наприклад, температура, вологість, вентиляція тощо) та забезпечити їх взаємодію.
- Оцінити якість функціонування системи за критеріями стійкості, точності та швидкодії в умовах зовнішніх збурень.

Врахувати можливість подальшого вдосконалення системи, зокрема підвищення точності вимірювань за рахунок впровадження новітніх методів обробки даних та розширення функціональних можливостей контролера.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕННЯ ТА
ПОСТАНОВКА ВИМОГ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні параметри та показники мікроклімату приміщень

Мікроклімат - це сукупність фізичних параметрів повітряного середовища, що формуються у замкненому або обмеженому просторі (наприклад, у житлових, громадських чи виробничих приміщеннях) внаслідок впливу як природних, так і штучно створених умов. Основними параметрами, що характеризують мікроклімат, є:

- Температура повітря,
- Відносна вологість повітря,
- Швидкість руху повітря.

Температура повітря

Температурний режим є одним з головних чинників, що визначають рівень теплового комфорту людини. Від температури повітря залежать як фізіологічні реакції організму, так і інші мікрокліматичні показники — зокрема, вологість. При зниженні температури нижче оптимальних значень організм починає інтенсивніше втрачати тепло, що призводить до охолодження тіла, зниження імунітету, підвищення ризику простудних та інфекційних захворювань.

Недостатня теплова ізоляція або неефективна робота систем опалення можуть призвести до постійного переохолодження працівників або мешканців приміщення.

З іншого боку, надмірно висока температура (понад 27 °C) також негативно впливає на самопочуття людини.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>РОЗДІЛ 1</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Яних Д. І.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І. А.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-21</i>		
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						8	15

За таких умов організм активізує процеси терморегуляції, зокрема через потовиділення, що призводить до втрати води та солей. Це може спричинити порушення водно-сольового балансу, загальну слабкість, погіршення концентрації уваги, зниження працездатності.

Відносна вологість повітря

Вологість повітря є важливим мікрокліматичним параметром, що значною мірою залежить від температури. За відсутності системи зволоження, підвищення температури призводить до зниження відносної вологості. Надто сухе повітря викликає подразнення слизових оболонок, пересихання шкіри, утруднене дихання. Навіть здорова людина може відчувати дискомфорт уже через 10–15 хвилин перебування в такому середовищі. Для людей з респіраторними захворюваннями ці умови особливо шкідливі.

Оптимальним вважається рівень відносної вологості в межах 40–60%, за якого забезпечується комфортна терморегуляція, нормальне функціонування органів дихання та зменшується ризик інфекційних захворювань. Взимку це сприяє збереженню захисних властивостей слизової оболонки, а влітку - допомагає легше переносити спеку та підтримувати здоровий стан шкіри.

Швидкість руху повітря

Швидкість руху повітря - це один із важливих параметрів мікроклімату, який часто недооцінюється у процесі створення комфортного середовища. Вона істотно впливає на тепловідчуття людини, особливо у поєднанні з температурою та вологістю повітря.

Залежно від температури, повітряний потік може мати різний вплив на організм. Наприклад, при температурі до 33÷35 °С швидкість руху повітря на рівні 0,1÷0,15 м/с сприймається як приємна та освіжаюча, сприяючи природному охолодженню тіла. Проте при перевищенні температури повітря 35 °С і більше, такий самий повітряний потік може мати протилежний ефект - замість охолодження він сприятиме перегріванню, посилюючи тепловий дискомфорт.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Слід враховувати, що оптимальні мікрокліматичні умови залежать не лише від фізичних характеристик повітря, а й від характеру діяльності людини. Так, у приміщеннях, де виконуються легкі фізичні або офісні роботи, не пов'язані з інтенсивними навантаженнями (наприклад, «сидяча» робота), оптимальною вважається температура повітря в межах 22÷24 °С. У таких умовах швидкість руху повітря повинна бути мінімальною, щоб уникнути локального охолодження тіла (особливо в зоні голови, шиї та спини), яке може викликати м'язовий дискомфорт або застудні захворювання. При цьому відносна вологість має становити 50÷60%, що відповідає стандартам комфортного мікроклімату та забезпечує нормальну терморегуляцію.

Таким чином, для досягнення ефективного керування мікрокліматом необхідно враховувати взаємодію всіх трьох параметрів — температури, вологості та швидкості повітряного потоку - з урахуванням характеру трудової діяльності, щоб забезпечити як комфорт, так і збереження здоров'я працівників.

Ось перефразований і доповнений варіант вашого тексту на науково-технічному рівні, з логічною побудовою та акцентом на значення вентиляції для мікроклімату:

Вентиляція - це організований процес обміну повітря між внутрішнім середовищем приміщення та зовнішнім повітряним простором. Основне її призначення полягає у постійному забезпеченні приміщення свіжим повітрям, а також у видаленні відпрацьованого, забрудненого повітря, що накопичується внаслідок життєдіяльності людини та функціонування побутових чи промислових об'єктів.

Після потрапляння до приміщення свіже повітря насичується вуглекислим газом, парами, пилом, волокнами тканин, шерстю тварин, леткими органічними сполуками з будівельних та оздоблювальних матеріалів. Щоб запобігти надмірній концентрації цих речовин, необхідна постійна циркуляція повітря. У цьому й полягає суть вентиляції - вона забезпечує приплив свіжого повітря ззовні та видалення забрудненого через систему витяжки. Для реалізації

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

цього процесу використовуються спеціалізовані інженерні системи, які також прийнято називати системами вентиляції.

Якісно спроектована вентиляція дозволяє не лише покращити самопочуття та працездатність людей, але й забезпечує збереження матеріальних цінностей - таких як обладнання, продукти, матеріали та конструкції, чутливі до впливу вологи, температурних перепадів і хімічних домішок у повітрі. Таким чином, вентиляція виконує як санітарно-гігієнічну, так і техніко-захисну функцію.

Залежно від способу створення повітряного потоку, вентиляція поділяється на два основні типи:

- Природна вентиляція - виникає за рахунок природних фізичних процесів: різниці температур та тиску на різних висотах, дії вітру, щілин у конструкціях. Її ефективність залежить від кліматичних умов та характеристик будівлі.

- Механічна (штучна) вентиляція - реалізується за допомогою вентиляторів, повітропроводів, фільтрів, теплообмінників та іншого кліматичного обладнання. Вона дозволяє точно контролювати параметри повітряного потоку, забезпечує стабільну роботу незалежно від зовнішніх умов.

Завдяки вентиляції можна ефективно усувати надлишкове тепло, вологу, пил, газоподібні домішки, запахи, тим самим створюючи безпечне та комфортне середовище для праці, проживання чи зберігання чутливих матеріалів.

1.2 Сприйняття мікроклімату в приміщеннях та управління попитом у Швеції

Викиди, пов'язані з будівлями, зросли до 28% від глобальних викидів вуглекислого газу, пов'язаних з енергетикою, з урахуванням непрямих викидів від первинного виробництва електроенергії.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Перехід від енергетичних систем, в основному заснованих на викопному паливі, до 100% відновлюваних джерел енергії є проблемою інтеграції більш нестабільного енергозабезпечення. Це мотивує впровадження стратегій керування попитом для створення більшої енергетичної гнучкості в будівлях за рахунок перемикавання навантаження, скорочення піків і заповнення впадін. Один з підходів - використовувати теплову інерцію будівель для зберігання енергії.

Опалення приміщень становить основну частку від загального споживання енергії житлової площі та пов'язаних з ним викидів вуглекислого газу. Підхід, який часто пропонують для покращення як екологічних, так і економічних показників енергетичної системи, - це керування попитом. У цій статті оцінюється теплове сприйняття мешканцями 33 багатоквартирних будинків, підключених до централізованого теплопостачання у Швеції. Учасники записували свої теплові відчуття та теплове задоволення в щоденниках.

У таблиці 1.1 представлена схема керування зміщенням навантаження під час випробувань. Від'ємне число вказує на зниження потужності, а додатне число - на збільшення потужності. Схема керування, яка застосовувалася під час випробувань, є випробуванням для оцінки функціональних можливостей керування потужністю будівель та аналізу впливу вихідної потужності.

Таблиця 1.1 – Схема керування зміною навантаження під час випробування

Дата	Контроль потужності	Час
2022-11-18	Мінус 50 %	09:00–10:00
2022-11-20	Мінус 50 %	10:00–11:00
2022-11-22	Мінус 50 %	01:00–04:00
2020-11-27	Мінус 100 %	13:00–13:30
2022-12-01	Мінус 25 %	03:00–06:00
2022-12-01	25 %	06:00–07:00

Результати показують, що більшість учасників вважали, що у них недостатньо контролю над опаленням будинку, при цьому 71% або не погоджуються, або категорично не погоджуються з цим твердженням. Деякі учасники просили більш ретельно контролювати температуру в своїх квартирах. Хоча радіатори зазвичай допускають деяку регулювання, вони, ймовірно, вже були налаштовані на максимальне нагрівання, і учасники не отримували достатньо тепла.

Інші учасники хотіли б мати можливість самостійно регулювати температуру в радіаторах. Твердження, яке отримало найбільшу кількість балів, це твердження, що важливо економити енергію.

У розподілі відповідей щодо того, наскільки учасники були задоволені температурою в будинку до випробувань: 44% відповіли, що вони або незадоволені, або дуже незадоволені, тоді як 29% відповіли, що вони або задоволені, або дуже задоволені. При порівнянні відповідей чоловіків та жінок не було виявлено статистично значущої різниці.

Учасників також запитали, що вони робили, якщо їм було занадто холодно або занадто тепло вдома протягом двох тижнів випробувань.

В цілому, дії через холод були більш поширеними, ніж через тепло. Однак 33% відповіли, що вони відкривали вікно, коли відчували себе занадто спекотно під час випробування. Звичайними діями при відчутті холоду, які вимагали енергії, були випити або з'їсти щось тепле (35%) і прийняти гарячий душ або ванну (24%). 13% відповіли, що ввімкнули додатковий тепловентилятор. Досить невелика кількість учасників регулювала температуру на радіаторах або підігріві підлоги, що можна частково пояснити відсутністю можливості зробити це, оскільки іноді радіатори були попередньо налаштовані на максимальний або мінімальний рівень.

Аналіз теплового сприйняття будинку під час і після випробування показав, що учасники цього дослідження зазвичай відчували, що температура була ближчою до холодної. Тим не менш, середня температура в приміщенні

була в межах діапазону, рекомендованого Агентством громадського здоров'я Швеції, хоча й з більшими відмінностями між окремими квартирами [6].

1.3 Аналітика даних про навколишнє середовище для моніторингу внутрішнього середовища офісних будівель у спекотному та вологому кліматі

Швидка розробка плат з відкритим вихідним кодом, що включають мікроконтролери на друкованих платах, запропонувала безліч альтернатив у створенні реальних і недорогих платформ для моніторингу та управління навколишнім середовищем у приміщенні. Дані збираються та зберігаються в заздалегідь визначених місцях протягом серії комунікаційних дій між мережею активних датчиків і їх блоками обробки. Однак питання точності та достовірності даних викликає серйозну проблему при отриманні базової інформації. Тому, маючи це на увазі, мета полягає в тому, щоб підкреслити проникливу тенденцію отримання даних про внутрішнє середовище (температуру та відносну вологість) для офісної будівлі в умовах жаркого та вологого клімату. Параметри в приміщенні контролювалися за допомогою комбінації одноплатного мікроконтролера з активним датчиком і добре відкаліброваними приладами теплового мікроклімату. Відповідно, було виявлено, що можна проводити попередню корекцію, щоб мінімізувати втрати.

Параметри, отримані в результаті моніторингу навколишнього середовища в приміщенні, включають температуру та відносну вологість. Початкові дані були поділені на дві частини: одну, отриману з платформи на базі Arduino, і одну з теплового мікроклімату. Дані зразка, що представляють 20 хвилин, були зібрані протягом двох послідовних днів і були поділені на дві серії: перша серія (S1) з 10:07 до 10:27 і друга серія (S2) з 11:07 до 11:27. Після цього обидва набори даних піддалися кількісному аналізу, щоб отримати уявлення про надійність даних, використовуючи дані, отримані з теплового мікроклімату, як вихідні.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

На рисунку 1.1 показана структура платформи моніторингу внутрішнього середовища на базі Arduino.

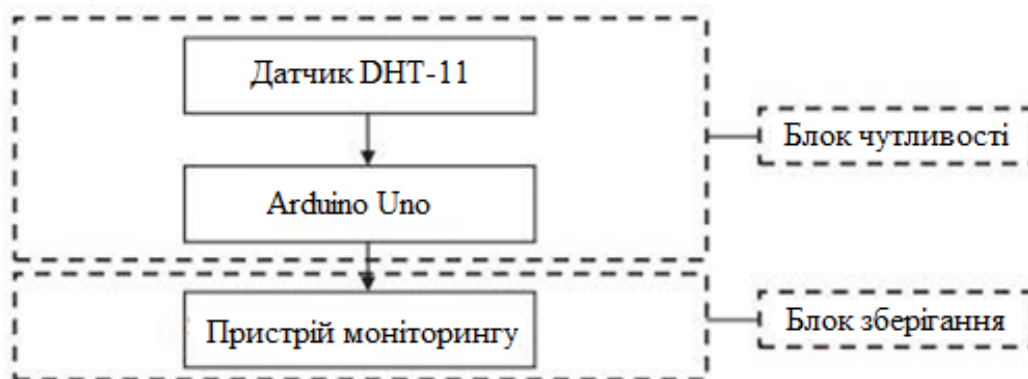


Рисунок 1.1 – Структура платформи моніторингу Arduino

В цьому прикладі сенсорний блок складається з датчика DHT 11 та плати Arduino Uno (ATmega328P). Зв'язок між модулем датчика DHT11 та платою Arduino був призначений на цифровий вивід через послідовний канал зв'язку. Згідно з технічними характеристиками, наданими виробником, модуль DHT11 може забезпечувати показники вологості в діапазоні від 20% до 90%, а показники температури в діапазоні від нуля до 50°C. Однак точність складає $\pm 5\%$ і $\pm 2^\circ\text{C}$ для вологості та температури відповідно.

На рисунках 1.2 – 1.3 представлені дані, отримані з платформи моніторингу на базі Arduino для кожної з відповідних серій.

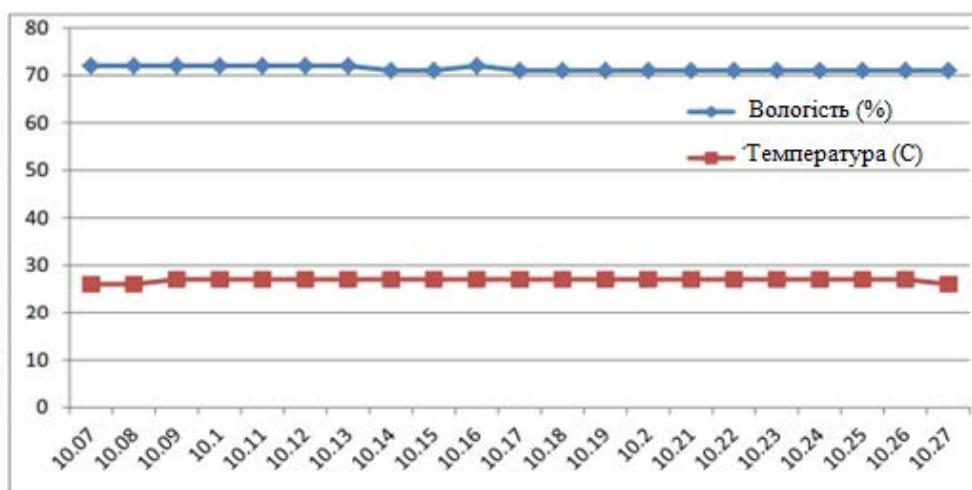


Рисунок 1.2 – Графік температури та вологості, отриманий за допомогою модуля датчика DHT 11 для S1

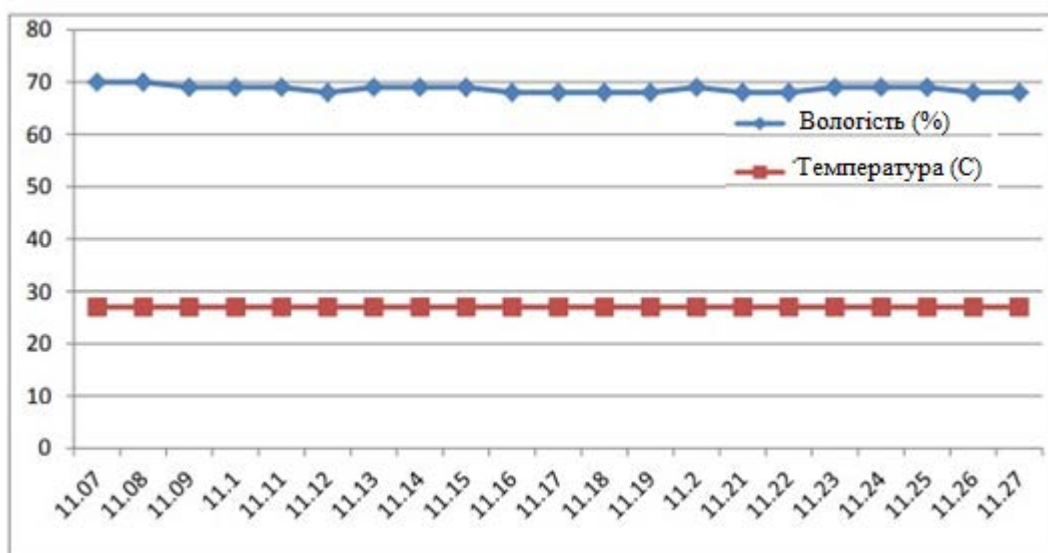


Рисунок 1.3 – Графік температури та вологості, отриманий за допомогою модуля датчика DHT 11 для S2

Температурний мікроклімат HD32.1 - це вимірювальний прилад, призначений для аналізу мікроклімату в помірних, холодних та жарких середовищах. На рисунках 1.4 – 1.5 представлені дані, отримані з платформи моніторингу на базі HD32.1 для кожної з відповідних серій.

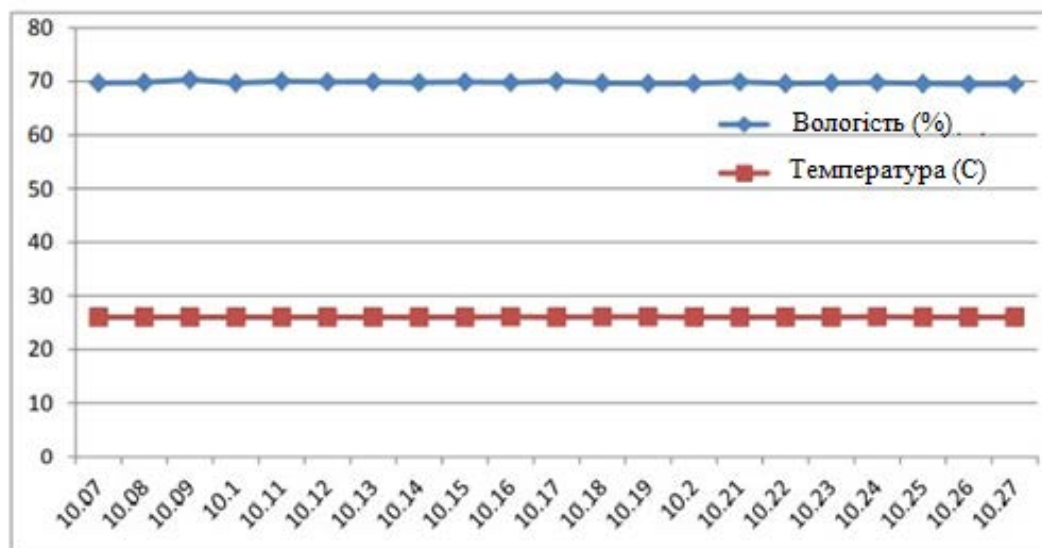


Рисунок 1.4 – Графік температури та вологості, отриманий з використанням теплового мікроклімату для S1

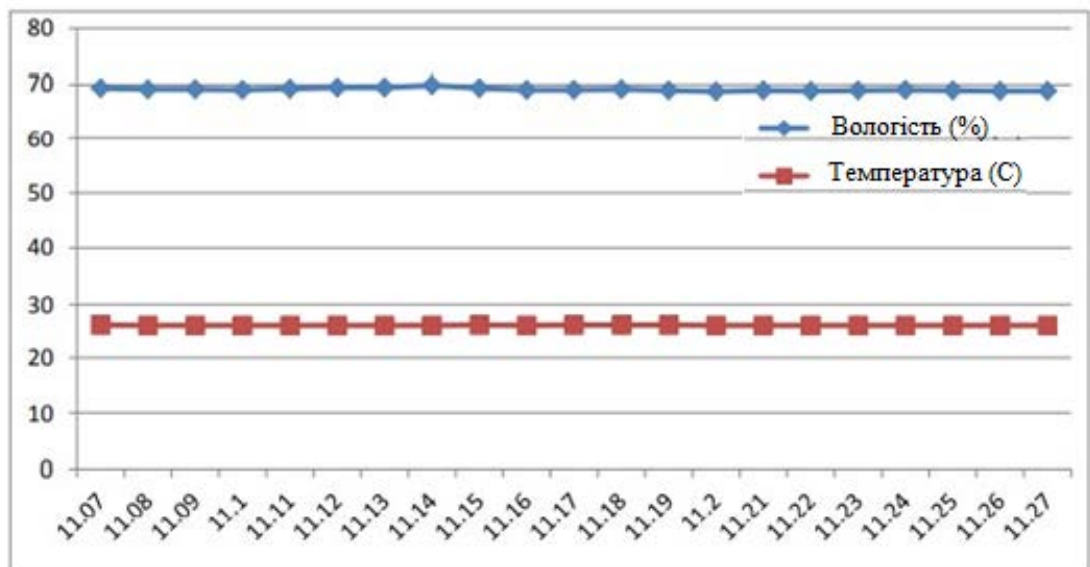


Рисунок 1.5 – Графік температури та вологості, отриманий з використанням теплового мікроклімату для S2

Було проведено описовий аналіз, в ході якого була визначена така інформація, як середнє значення, стандартне відхилення та асиметрія від середнього значення. Результати аналізу призначені для порівняння показів між платформами на базі Arduino та добре відкаліброваним вимірювальним приладом. Найбільша зміна температури, зафіксована між двома пристроями, склала 1,6 °C. Щодо стандартного відхилення, то найнижче значення відхилення температури було 0, тоді як максимальне значення склало 0,51 від показання. На противагу цьому, найменше значення для показника відносної вологості становило 0,19%, тоді як максимальне значення — 0,66% відносної вологості.

Кінцева мета витягання даних полягала в перевірці стабільності даних між модулем датчика DHT11 та пристроями теплового мікроклімату. Платформа на базі Arduino та добре відкалібрований вимірювальний прилад порівнювались помірним статистичним способом. Загально відомо, що точність усіх вимірювальних пристроїв з часом погіршується через нормальний знос, попри інші фактори, обидва типи вимірювальних приладів піддаються експериментальним помилкам і невизначеностям [7].

1.4 Вимоги до створення системи

1.4.1 Вимоги до автоматики

АСУ ТП підтримання параметрів мікроклімату в приміщенні повинна забезпечити наступні функції:

Вимірювання:

- температури повітря у виробничому приміщенні;
- вологості повітря у виробничому приміщенні;
- рівня запиленості повітря у виробничому приміщенні;
- температури теплоносія в трубопроводі;
- температури пристрою обігріву;
- витрати теплоносія;
- рівня води в резервуарі пристрою осушення.

Керування:

- запірно-регулювальним клапаном системи обігріву;
- запірно-регулювальним клапаном системи охолодження;
- пристроєм зволоження;
- пристроєм осушення;
- пристроєм вентиляції.

Індикацію:

- вимірюваних параметрів на дисплеї автоматизованого робочого місця (АРМ);
- аварійних ситуацій на дисплеї АРМ.

Сигналізацію:

- підвищення рівня води в резервуарі системи осушення вище критичного рівня;
- порушення роботи датчиків.

1.4.2 Вимоги до технічного забезпечення

Обладнання на об'єкті повинно бути стійким до впливу температур у діапазоні 0÷50 °С та вологості не менше 80 % за температури 35 °С. Електричні ланцюги повинні бути екранованими.

Контролери повинні мати необхідні інтерфейси передавання даних на верхній рівень АСУ ТП.

1.4.3 Вимоги до інформаційного забезпечення

Інформаційне забезпечення повинно включати в себе:

- структуру процесу збору, обробки, передавання інформації в автоматичній системі (АС);
- склад, структуру та способи організації даних в АС;
- порядок інформаційного обміну між компонентами та складовими частинами АС;
- інформацію щодо візуального представлення даних та результатів моніторингу.

1.4.4 Вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення повинно:

- забезпечувати керування виконавчими механізмами;
- мати можливість створювати та вести базу даних параметрів системи;
- забезпечувати реалізацію необхідних алгоритмів контролю, регулювання та відображення інформації.

1.4.5 Вимоги до метрологічного забезпечення

Метрологічне забезпечення повинно охоплювати всі етапи створення системи та її експлуатацію.

До вимірювальних каналів системи входять: датчики, перетворювачі, контролери, що пройшли державну повірку на відповідність їх нормативно-технічній документації.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

У процесі експлуатації повинна здійснюватися періодична перевірка вимірювальних каналів системи та метрологічних характеристик.

1.5 Постановка задач дослідження

Об'єктом керування є виробниче приміщення довжиною 25 м, шириною 12 м, висотою 4 м. Огороджувальна конструкція являє собою цегляну стіну.

Автоматизована система підтримання параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні призначена для:

- контролю стану основного і допоміжного технологічного обладнання;
- керування виконавчими механізмами як в автоматичному, так і в автоматизованому режимі;
- визначення аварійних ситуацій у роботі датчиків і обладнання;
- підтримання параметрів мікроклімату на заданому рівні шляхом обігріву або охолодження, зволоження або осушення, а також вентиляції повітря в приміщенні;
- візуального представлення інформації про стан технологічного процесу.

Цілі створення автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСУ ТП):

- підвищення якості роботи системи;
- забезпечення економного витрачання ресурсів;
- забезпечення контролю технологічних параметрів процесу;
- скорочення кількості аварій технологічного обладнання.

Висновки за розділом:

У результаті проведеного аналізу встановлено, що мікроклімат виробничих приміщень визначається комплексом параметрів, серед яких основними є температура, вологість, швидкість руху повітря, а також

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

ефективність вентиляції. Ці фактори істотно впливають як на самопочуття та працездатність людей, так і на збереження обладнання, матеріалів і продукції.

Розглянуто сучасні підходи до керування мікрокліматом, зокрема міжнародний досвід управління попитом на кліматичні послуги (на прикладі Швеції) та використання аналітики даних у будівлях зі складними кліматичними умовами. Це дозволило виділити актуальні тенденції у сфері автоматизованого моніторингу та керування внутрішнім середовищем приміщень.

На основі аналізу сформульовано вимоги до розробки системи автоматизованого керування параметрами мікроклімату, які охоплюють технічне, метрологічне, програмне, інформаційне та автоматичне забезпечення. Врахування цих вимог є критично важливим для забезпечення точності, надійності та економічної доцільності роботи системи.

У завершальному пункті розділу було здійснено постановку задач дослідження, спрямованих на створення ефективної системи регулювання мікроклімату, яка забезпечить оптимальні умови для функціонування виробничого приміщення з урахуванням енергозбереження та адаптивності до змін зовнішнього середовища.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЗАДАНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ

2.1 Розробка функціональної схеми системи підтримки заданих параметрів мікроклімату виробничого приміщення

Автоматизована система є системою підтримки заданих параметрів мікроклімату виробничого приміщення (температуру, вологість, вмісту твердих частинок повітря).

У приміщенні розташовані три вузли вимірювання параметрів мікроклімату. Дані з датчиків надходять на мікроконтролер для обробки. З трьох значень параметра розраховується середнє значення для формування керуючого сигналу. Керуючі сигнали спрямовуються на частотні перетворювачі для формування частоти обертання запорно-регулювальних клапанів для регулювання витрати гарячої та холодної води, за допомогою яких підтримується необхідна температура в приміщенні. Також керуючі сигнали запускають вентиляцію, пристрій зволоження або осушення. Зайві водяні пари з повітря після осушення надходять у резервуар. При підвищенні допустимого рівня води система сигналізує про необхідність звільнення ємності (рис2.1).

Функціональна схема автоматизації (ФСА) показує основні технічні рішення, які приймаються при проектуванні систем автоматизації технологічного процесу.

ФСА є технічним документом, що визначає функціонально-блокову структуру окремих вузлів автоматичного контролю, управління та регулювання та оснащення об'єкта управління приладами та засобами автоматизації.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Яних Д. І.			РОЗДІЛ 2			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Маринич І.А.								23	37
								КНУ АКІТ-21			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									

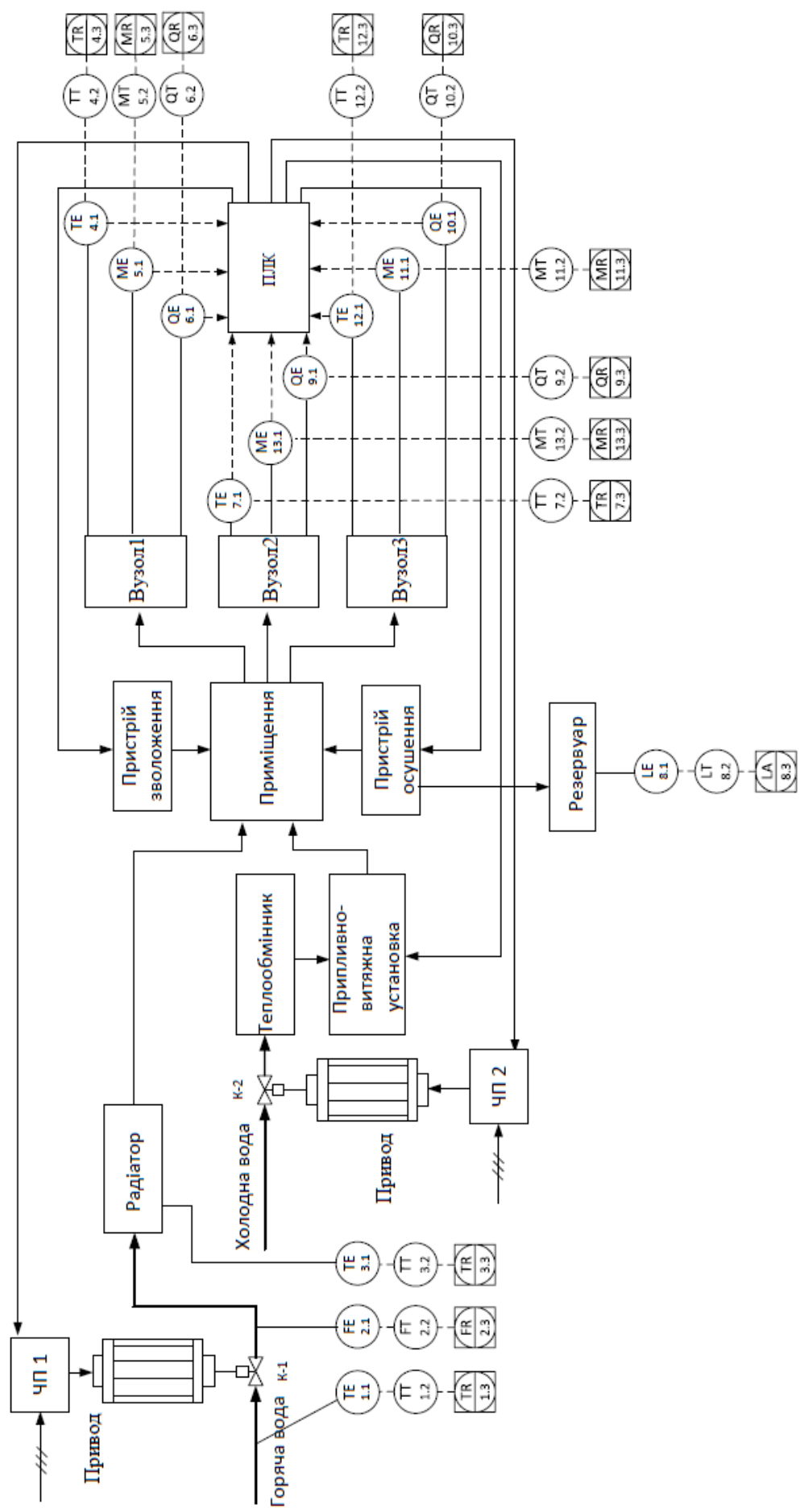


Рисунок 2.2 - Функціональна схема технологічного процесу

Усі елементи систем управління показуються у вигляді умовних зображень та об'єднуються в єдину систему лініями функціональної зв'язку. Обладнання на схемі показується у вигляді умовних зображень.

Управління технологічним процесом зводиться до підтримки необхідних параметрів мікроклімату у приміщенні. Структурна схема управління представлена трьома рівнями передачі (рисунок 2.2).

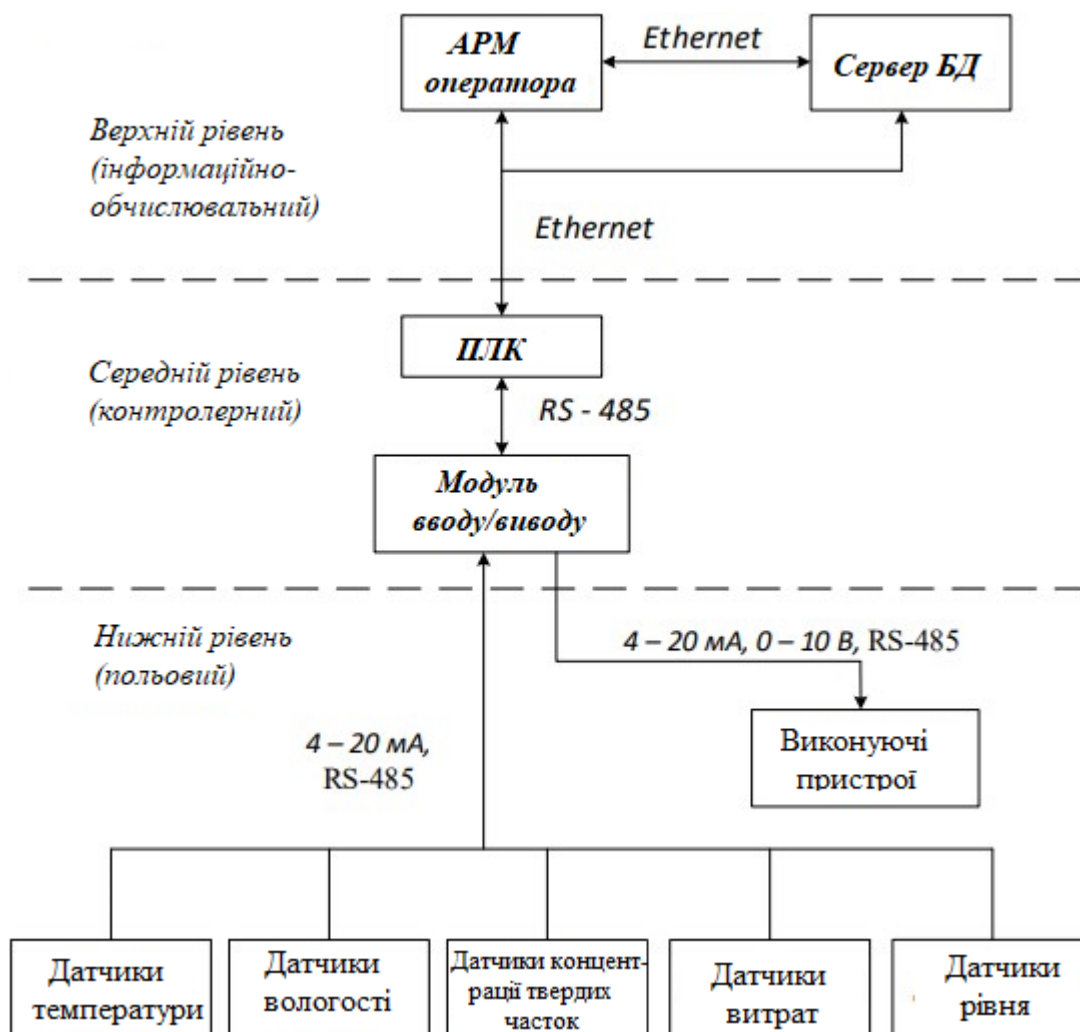


Рисунок 2.2 – Структурна схема процесу

Нижній рівень (польовий) складається з первинних датчиків, які здійснюють збір інформації про параметри технологічного процесу, та виконавчих пристроїв, які реалізують регулююче вплив. Виконавчими пристроями є пристрої обігріву, вентиляція, осушувачі повітря, зволожувачі повітря.

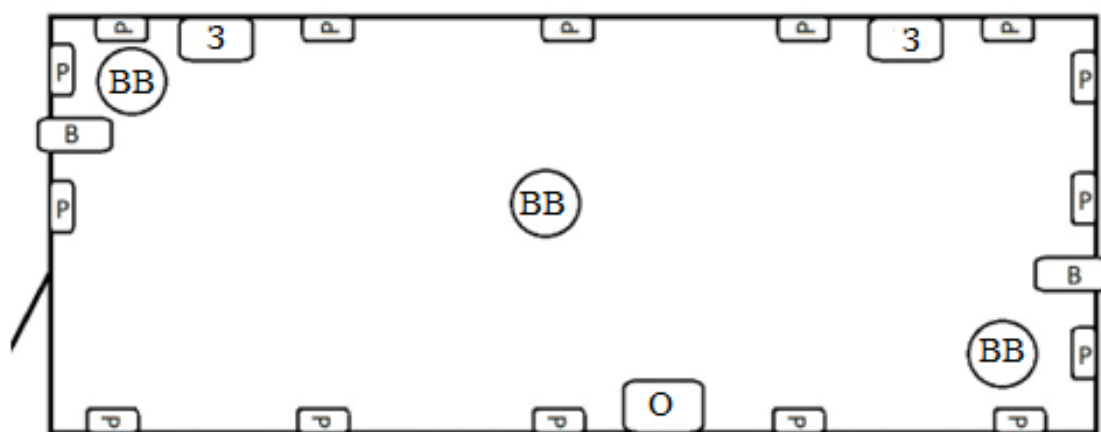
Середній рівень (контролерний) складається з програмованого логічного контролера (ПЛК), який здійснює:

- виконання команд верхнього рівня;
- обмін інформацією з верхнім рівнем;
- збір та первинну обробку інформації про параметри технологічного процесу;
- автоматичне регулювання.

Верхній рівень (інформаційно-обчислювальний) складається з комп'ютера, який з'єднаний з ПЛК мережею Ethernet, при цьому передавальна середа – мідна вита пара.

2.2 Розробка алгоритмів роботи системи

Виробниче приміщення довжиною 25 м, шириною 12 м та висотою 4 м містить: один пристрій осушення, два пристрої зволоження, дві припливно-витяжні вентиляційні установки з теплообмінниками, п'ятнадцять радіаторів опалення. Також до складу системи входять три вузли вимірювання параметрів мікроклімату. Схема розміщення обладнання наведена на рисунку 2.3.



Р – радіатор, В- вентиляція, З – пристрій зволоження, О – пристрій осушення,
ВВ – вимірюючий вузол

Рисунок 2.3 – Схема розміщення пристроїв у приміщенні

Вимірювальні вузли розташовані на різних рівнях: на верхньому (3,5 м), на середньому (2 м) та на нижньому рівні (0,5 м) для більш детального уявлення про параметри мікроклімату.

В автоматизованих системах використовуються різні алгоритми, зокрема:

- алгоритми запуску / зупинки технологічного процесу - забезпечують коректне та безпечне включення і вимкнення обладнання;

- П, ПІ, ПД, ПІД-алгоритми - застосовуються для автоматичного регулювання параметрів технологічного процесу (температури, тиску, вологості тощо) з урахуванням пропорційної, інтегральної та диференціальної складових;

- алгоритми централізованого управління - використовуються для координації роботи всіх підсистем і контролерів з єдиного центру управління.

В якості регульованої величини виступають параметри мікроклімату (температура, вологість, вміст пилу в повітрі). В якості алгоритму регулювання використовуються ПІД-, ПІ-, ПД-закони. Оператор задає температуру, вологість, вміст пилу, які необхідно підтримувати в приміщенні. Ці значення подаються в ПЛК, де відбувається порівняння їх з поточними значеннями температури, вологості, вмісту пилу, отриманими з датчика. Потім формується вихідний сигнал, який подається на виконавчі пристрої

Розробка алгоритму запуску

Цей алгоритм запускає систему підтримки мікроклімату в виробничому приміщенні. Алгоритм складається з таких кроків:

- Перевірка команди від оператора, якщо немає, то нічого не відбувається.

- Перевірка рівня води в резервуарі осушувача, якщо він не в нормі, виводиться повідомлення про заповнення води в резервуарі.

- Перевірка показань датчиків, якщо дані з одного датчика значно відрізняються від двох інших, виводиться повідомлення про несправність датчика.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Виведення команди на запуск перетворювача частоти для приводу клапана системи опалення.
- Виведення команди на запуск перетворювача частоти для приводу клапана системи охолодження.
- Виведення команди на запуск припливно-витяжної установки.
- Виведення команди на запуск пристрою зволоження.
- Виведення команди на запуск пристрою осушення.

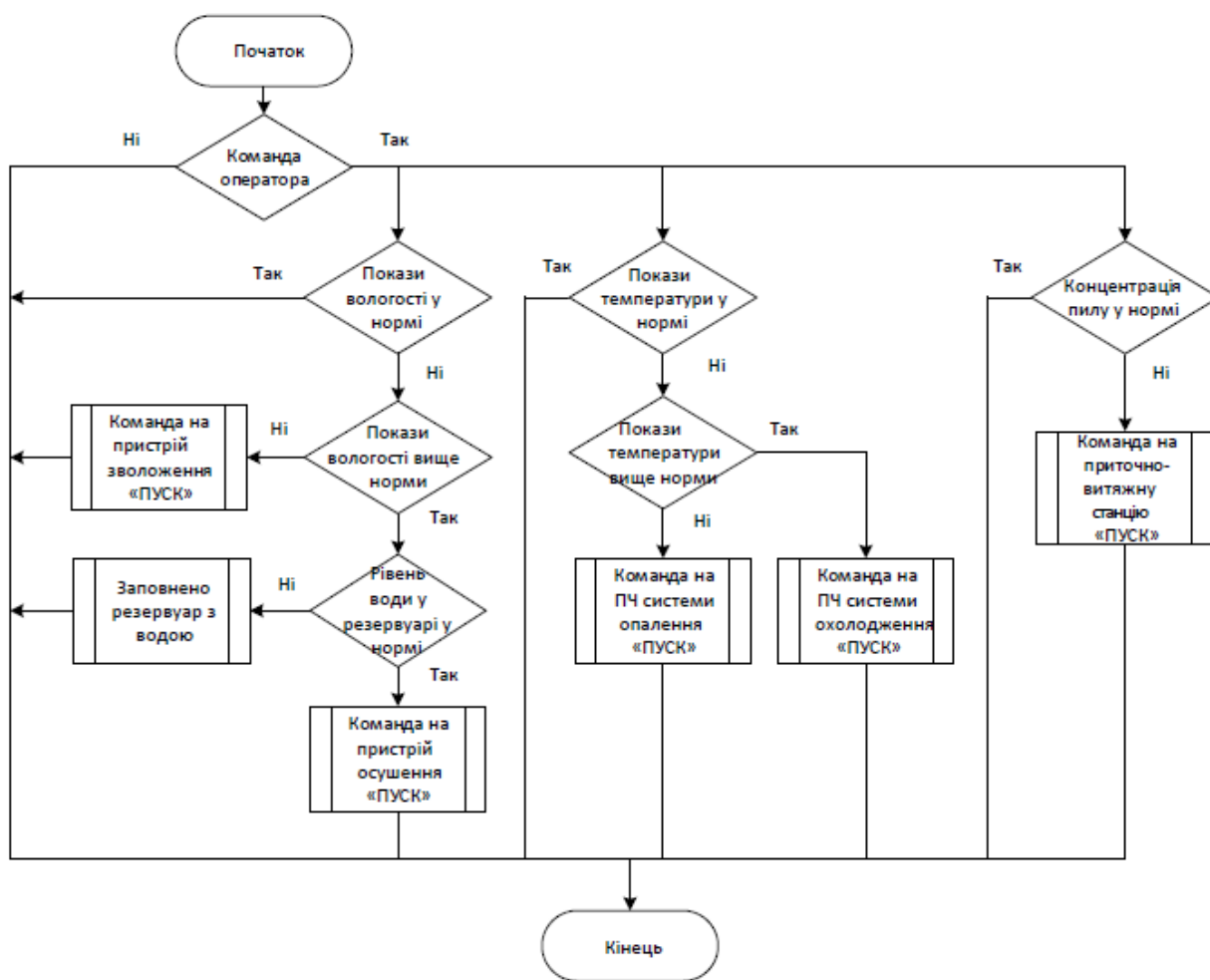


Рисунок 2.4 - Блок-схема алгоритму запуску

Розробка алгоритму зупинки

Цей алгоритм зупиняє систему підтримки мікроклімату в виробничому приміщенні. Алгоритм складається з таких кроків:

- Перевірка команди від оператора, якщо немає, то нічого не відбувається.

- Виведення команди на перетворювач частоти для зупинки приводу клапана системи опалення.
- Виведення команди на перетворювач частоти для зупинки приводу клапана системи охолодження.
- Виведення команди на зупинку приточно-витяжної установки.
- Виведення команди на зупинку пристрою зволоження.
- Виведення команди на зупинку пристрою осушення.

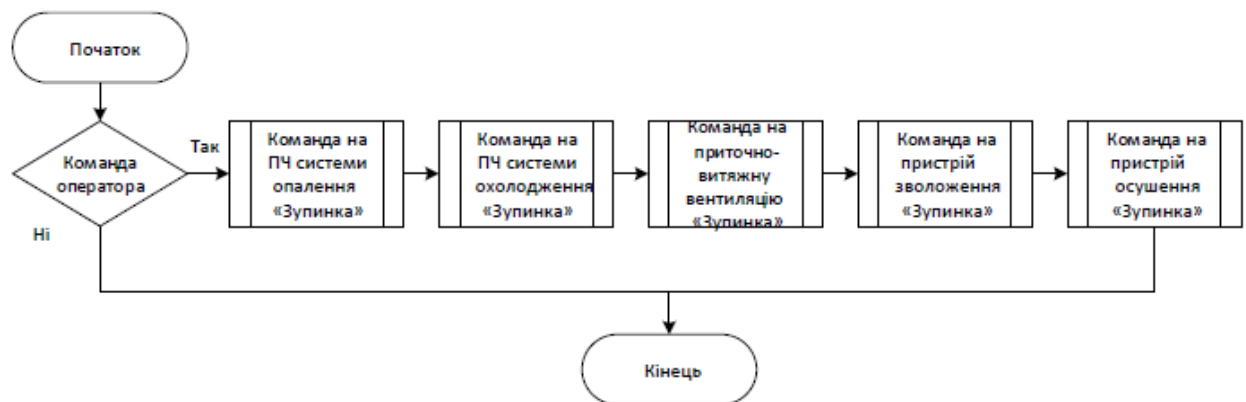


Рисунок 2.5 - Блок-схема алгоритму зупинки

2.3 Вибір технічного забезпечення

Як засоби реалізації системи необхідно вибрати контролерне обладнання, датчики та виконавчі пристрої для підтримки параметрів мікроклімату.

2.3.1 Вибір контролерного обладнання

Зробимо вибір контролера з таких видів (див. табл.2.1):

ОВЕН ПЛК 160,

SIEMENS S7-300 CPU 314,

DVP-SX2.

Таблиця 2.1 – Порівняння контролерів

Критерії вибору	ОВЕН ПЛК 160	SIEMENS S7300 CPU 314	DVP-SX2
Напруга живлення	220 В, 24 В	24 В	24 В
Дискретні входи	16 штук	16 штук	8 штук
Дискретні виходи	12 штук	16 штук	6 штук
Аналогові входи	8 штук	–	4 штук
Аналогові виходи	4 штук	–	2 штук
Інтерфейси	RS-232, RS-485, Ethernet, струмова петля	RS-485	RS-232, RS485
Розрядність АЦП	14 біт	–	12 біт
Розрядність ЦАП	12 біт	–	12 біт
Діапазон температур	(-40 – +55)°C	(0 – 60) °C	(0 – 55) °C

Контролер DVP-SX2 має недостатню кількість входів, тому необхідно використовувати модулі розширення входів. Також контролер може працювати тільки за позитивної температури, як і SIEMENS S7-300 CPU 314, до того ж контролер фірми SIEMENS має високу вартість і не містить аналогових входів і виходів. Таким чином, будемо використовувати контролер ОВЕН ПЛК 160.

Програмування контролера здійснюється в середовищі CODESYS з підтримкою п'яти мов програмування. Фірма ОВЕН займається розробкою контролерів для малих і середніх систем автоматизації, контрольно-вимірювальних приладів, програмних засобів. Продукція компанії використовується в різних галузях промисловості.

2.3.2 Вибір датчиків

Для системи управління параметрами мікроклімату необхідні датчики температури, вологості повітря та концентрації пилу в повітрі. Крім того, для моніторингу роботи системи додаються датчики температури води в гарячому трубопроводі та радіаторі, а також датчик рівня води в пристрої осушення для сигналізації про наповнення бака.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Вибір датчику температури і вологості

Зробимо порівняльний аналіз наступних термогігрометрів: ІВТМ-7/1-Щ, ІВТМ-7 Р-01-Т та СЕМ ДТ-625. Результати порівняння наведені в таблиці 2.2. Для вимірювання температури та вологості повітря виберемо термогігрометр ІВТМ-7/1-Щ. Цей прилад має широкий діапазон вимірювань температури і вологості та живлення. Крім того, він оснащений необхідними інтерфейсами зв'язку з комп'ютером, дисплеєм з елементами управління та індикації. Прилад виконує обробку та реєстрацію даних, а також може керувати виконавчими пристроями.

Таблиця 2.2 – Огляд термогігрометрів

Критерії вибору	ІВТМ-7/1-Щ	ІВТМ-7 Р-01-Т	СЕМ ДТ-625
Діапазон меж вимірювань вологості	(0 – 99) %	(2 – 95) %	(0 – 100) %
Діапазон меж вимірювань температури	(-40 – +50) °C	(-20 – +50) °C	(-30 – +100) °C
Межа допустимої похибки вимірювання вологості	± 2 %	–	± 2 %
Межа допустимої похибки вимірювання температури	± 0,2 %	± 0,2 %	± 0,5 %
Напруга живлення	220 В, (6 – 24) В	5 В (USB), 3 В	9 В
Потужність	6 Вт	0,1 Вт	–
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	RS-232, RS485	USB	Відсутній
Наявність дисплея	Так	Ні	Так

До складу термогігрометрів входять термозонди, резистивні або ємнісні датчики вологості та вимірювальні перетворювачі. Термозонди містять чутливий елемент (мідний, платиновий). Вплив температури змінює опір терморезистора в термозонді. Зміна вологості змінює опір або ємність у гігросенситивному елементі. Вимірювальний перетворювач перетворює напругу з чутливих елементів у струмовий вихідний сигнал [11 – 13].

Вибір датчика концентрації твердих речовин

Проведемо порівняльний аналіз наступних датчиків концентрації твердих речовин у повітрі: PlantowerG3 PMS3003, RK300-02RS485 та Plantower PMS9003M. Результати порівняння зведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Огляд термогігрометрів

Критерії вибору	Plantower G3 PMS3003	RK300-02RS485	Plantower PMS9003M
Діапазон вимірів	(0.3 – 10) мікрон	От 1 мікрон	(0.3 – 10) мікрон
Діапазон робочої температури	(-10 – +50) °C	(-20 – +50) °C	(-10 – +60) °C
Діапазон робочої вологості	(0 – 99) %	(15 – 80) %	(0 – 95) %
Межа допустимої похибки виміру	–	± 3 %	± 10 %
Напруга живлення	5 В	(12 – 24) В	5 В
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	UART	4-20 мА, 0-5 В, 0-10 В, RS-485	UART
Наявність дисплея	Ні	Так	Ні

Для вимірювання вмісту пилу в повітрі виберемо датчик RK300-02RS485. Цей датчик має ширший діапазон живлячої напруги, меншу похибку вимірювань і містить дисплей для виведення показників. Крім того, він може передавати сигнал на контролер по токовій петлі або рівню напруги, а також через інтерфейс RS-485. Такі переваги вибраного датчика порівняно з іншими представленими впливають на його ціну. Принцип дії датчика ґрунтується на ослабленні інтенсивності світлового випромінювання при його проходженні через запилене середовище. Концентрація частинок пилу пропорційна оптичній щільності світла [14 – 16].

Вибір датчику витрати

Для вимірювання витрати води проведемо порівняльний аналіз наступних витратомірів: ЕМІС-ВХР 200, ЕМІС-ДІО 230, ЕМІС-МАГ 270. Результати порівняння зведені у таблиці 2.4.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 2.4 – Огляд витратомірів

Критерії вибору	ЕМІС-ВХР 200	ЕМІС-ДІО 230	ЕМІС-МАГ 270
Тип датчика	Вихровий	Роторний	Електромагнітний
Вимірюване середовище	Рідини з механічними домішками	Рідини, в'язкі рідини	Електропровідні рідини, агресивні середовища
Температура вимірюваного середовища	(-60 – +450) °C	(-20 – +250) °C	(-40 – +130) °C
Діапазон меж вимірювань	(8 – 250) м	(8 – 280)	(3 – 283)
Межа допустимої похибки	± 0,5 %	± 0,5 %	± 0,5 %
Вихідний сигнал	(4 – 20) мА, Modbus RTU	(4 – 20) мА, Modbus RTU	(4 – 20) мА, Modbus RTU
Тиск середовища	(0 – 25) МПа	(0 – 6,3) МПа	(0 – 32) МПа

Для вимірювання витрати води вибираємо лічильник витрати ЕМІС-МАГ 270. Лічильник має відповідний діапазон температур і межі вимірювань. На відміну від інших лічильників, електромагнітний є безконтактним, що полегшує його установку та збільшує термін служби. Прилад працює згідно із законом електромагнітної індукції. При перетині магнітного поля рідини індукується електрорушійна сила, пропорційна швидкості руху рідини [17 – 19].

Вибір датчика температури води

Проведемо порівняльний аналіз наступних накладних датчиків температури: VSN-3, RTD-04-PIPE та Eastec E-35. Результати порівняння зведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Огляд датчиків температури

Критерії вибору	VSN-3	RTD-04-PIPE	Eastec E-35
Діапазон меж вимірювань	(-30 – +110) °C	(-40 – +110) °C	(0 – 99) °C
Похибка	–	± 0,5 °C	–
Діаметр труби	(13 – 92) мм	До 48 мм	–
Вихідний сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА

Для вимірювання температури радіатора та трубопроводу гарячої води оберемо датчик RTD-04-PIPE. Даний термоперетворювач призначений для вимірювання температури теплоносія у трубі. Вплив температури змінює опір терморезистора та, відповідно, силу струму від джерела живлення [20 – 22].

Вибір датчика рівня води

Як датчик рівня води в осушувачі повітря буде використовуватися датчик рівня Р35 прямий, а його характеристики зведені до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристики поплавкового датчика рівня Р35

Характеристики	Датчик рівня Р35
Вимірювані середовища	Нейтральні середовища
Температура експлуатації	(-30 – +80) °С
Напруга комутації	До 100 В
Робочий струм	0,5 А
Опір при замиканні	До 100 Ом
Вихідний сигнал	(4 – 20) мА або реле

Всередині поплавкового датчика розміщений круглий магніт. Шток являє собою порожню пластикову трубку з розташованими всередині герконами. Поплавець з закріпленим магнітом завжди розташовується на поверхні рідини. Підходячи до геркону, магнітне поле викликає спрацювання його контактів, що є сигналом про заповнення ємності до певного об'єму.

При послідовному з'єднанні контактних пар між собою через резистори можна постійно стежити за рівнем води за допомогою загального опору ланцюга. Стандартний сигнал при цьому змінюється від 4 до 20 мА. Датчик рівня води найчастіше розміщується в верхній частині резервуара [23].

2.3.3 Вибір виконавчих механізмів

Виконавчими пристроями для системи підтримки мікроклімату будуть радіатор і теплообмінник, регулюючі клапани з частотними перетворювачами,

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

пристрої зволоження і осушення з перетворювачами напруги для управління вентиляторами, припливно-витяжна установка.

Вибір радіатора

Для обігріву приміщення використовуватимуться радіатори з водою в ролі теплоносія. Радіатори складаються з секцій із внутрішніми каналами, усередині яких циркулює теплоносій. Порівняємо радіатори різних виробників (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7 – Порівняння радіаторів

Критерій вибору	Rifar·Alp·500·х·10	Royal·Thermo· BiLiner·500·х·10	КЗТО·РС·1-1000· 412
Тепловіддача· радіатора	1610·Вт	1710·Вт	650·Вт
Опалювана площа	19,9	19,9	6,5
Об'єм	2·л	2,05·л	3,8·л
Габаритні розміри· (В*Ш*Т)	0,57*0,81*0,075·м	0,574*0,80*0,08·м	1,04*0,412*0,04·м
Максимальна· робоча· температура	135·°С	110·°С	130·°С
Максимальний· робочий тиск	20·бар	30·бар	15·бар

З представлених радіаторів виберемо RifarAlp500x10. Даний радіатор має високу тепловіддачу при низькій ціні та низьку витрату води. Радіатор містить 10 секцій. Підключення здійснюється діаметром півдюйма [24 – 26].

Вибір вентиляції

Припливно-витяжна установка STAR - це компактний рекуперативний пристрій, призначений для подачі, очищення та видалення відпрацьованого повітря в приміщеннях невеликих обсягів. Нагрівання та зволоження повітря здійснюється без додаткових витрат електроенергії. Це відбувається завдяки

пластинчастому рекуператору мембранного типу, який, витягуючи тепло і вологу з утилізованого повітря, передає їх в припливне повітря з вулиці. Монтаж установки можна здійснювати безпосередньо в обслуговуваному приміщенні або під підвісною стелею.

Стандартно установки комплектуються приточними та витяжними вентиляторами, приточними та витяжними фільтрами, пластинчастим рекуператором і системою автоматичного управління з пультом дистанційного керування. Інноваційний тип рекуператора дозволяє підігрівати і зволожувати припливне повітря, при цьому спеціальна мембрана рекуператора переносить з витяжного повітря лише молекули води, залишаючи в ньому всі забруднення. Технічні характеристики установки вентиляції показані у таблиці 2.8 [27].

Таблиця 2.8 – Технічні дані Electrolux EPVS-200

Характеристики□	Значення□
Максимальна витрата повітря□	205·м ³ /час□
Потужність□	75·Вт□
Напруга живлення□	220·В□
ККД рекуператора□	85·%□
Регулювання вентиляторів□	(85·-·220)·В, 50·Гц□
Габаритні розміри (В*Ш*Г)□	0,245*0,42*0,59·м□

Установка призначена для монтажу безпосередньо до круглих повітроводів. Регулювання швидкості вентиляторів буде проводитись цифровим фазовим регулятором напруги. Характеристики регулятора напруги наведені у таблиці 2.9 [28].

Таблиця 2.9 – Технічні дані фазового регулятора напруги

Характеристики□	Значення□
Робоча напруга□	220·В□
Максимальна потужність□	4·кВт□
Напруга регулювання□	(0—220)·В□
Підключення живлення□	Виходи 1 і 2□
Підключення регульованого пристрою□	Виходи 3 і 4□

Вибір теплообмінника

Теплообмінники призначені для нагрівання або охолодження повітря в каналних системах вентиляції. Нагрівач встановлюється безпосередньо в повітропровід. Як теплоносії можуть використовуватися як вода, так і незамерзаючі суміші. Проведемо вибір теплообмінника серед моделей: WHR-W 400200-3, WHC 400400-2, WHC 150*150-2. Порівняння наведено в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Порівняння теплообмінників

Критерій вибору	WHR-W 400*200-3	WHC 400*400-2	WHC 150*150-2
Витрата води	0,6 л/год	1,19 л/год	0,14 л/год
Максимальна витрата повітря	—	1600 м³/год	250 м³/год
Мінімальна витрата повітря	—	800 м³/ год	150 м³/ год
Габаритні розміри (ВхШхГ)	0,29*0,635*0,316 м	0,44*0,62*0,15 м	0,19*0,37*0,15 м

Вибираємо теплообмінник WHC 150*150-2. Його витрата повітря відповідає витраті повітря припливно-витяжної вентиляції, при цьому у нього менша витрата води і значно нижча ціна. Теплообмінник може бути встановлений як у прямокутний канал, так і в круглий за наявності додаткових перехідників. Корпус виготовляється з оцинкованого сталевих листа. Поверхня теплообмінника складається з мідних трубок, механічно розширених на ребра у вигляді пластин. Пластини мають хвилясту форму, що дозволяє збільшити площу теплообміну, а також забезпечує легке стікання конденсату без засмічення теплообмінника. Потужність при максимальній робочій температурі 150 °С становить 4 кВт, максимальний тиск - 16 бар [29–31].

Вибір зволожувача повітря

Для зволоження повітря у приміщення виберемо промисловий зволожувач із наступних: Par-Tuman ГТ-1,6, Сохра Ф3, Par-Tuman ГТ-5,0 (таблиця 2.11).

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підвищення вологості повітря відбувається за рахунок розпилення дрібних частинок води за допомогою ультразвукової пластини. У результаті утворюється дуже дрібний водяний туман без нагрівання навколишнього повітря.

Таблиця 2.11 – Порівняння зволожувачів повітря

Критерій вибору	Par-Tuman ГТ-1,6	Сохра Ф3	Par-Tuman ГТ-5,0
Продуктивність	1,6 кг/год	0,9 кг/ год	5 кг/ год
Площа зволоження	(150 – 200)	–	(200 – 300)
Діаметр парового патрубку	110 мм	125 мм	110 мм
Підключення до водопроводу	Так	Ні	Ні
Напруга живлення	220 В	220 В	220 В
Потужність	150 Вт	150 Вт	300 Вт
Габаритні розміри (В*Ш*Г)	0,50*0,30*0,15 м	0,26*0,238*0,16 м	0,31*0,40*0,34 м

З представлених зволожувачів оберемо Par-Tuman ГТ-1,6. Цей зволожувач є ультразвуковим і має низьке енергоспоживання та невисоку ціну. Основною перевагою є можливість підключення до водопроводу, що забезпечує безперебійну роботу пристрою. У цій моделі відсутній бак для води. Крім того, зволожувач має у своєму складі блок автоматики, який дозволяє експлуатувати пристрій в автоматичному режимі з урахуванням рівня вологості.

Потоком водяного туману керує вбудований вентилятор YCCFAN. Живлення вентилятора здійснюється напругою 32 В і струмом 0,12 А [32 – 34].

Вибір осушувача повітря

Для осушення повітря в приміщення виберемо промисловий осушувач того ж виробника, що і зволожувача, а саме Par-Tuman РТ-60. Характеристики осушувача наведено у таблиці 2.12. Він призначений для зниження рівня вологості, а також часткового очищення повітря від пилу. Модель мобільного

типу на підлозі рекомендується для використання у виробничих приміщеннях, басейнах, складах [35].

Таблиця 2.12 – Характеристики осушувача повітря

Характеристики	Par-Tuman PT-60
Продуктивність	480 /год
Осушення	60 л/доба
Місткість бака	5,5 л
Напруга живлення	220 В
Потужність	780 Вт
Габаритні розміри (В*Ш*Г)	0,94*0,55*0,52 м

Регулювання швидкості вентиляторів зволожувача та охолоджувачів здійснюватиметься за допомогою димера SR-2006-S з вхідною/вихідною напругою 36 В [36].

Вибір регулюючого клапана

Запірно-регулювальний клапан КЗР фланцевого типу у комплекті з електроприводом Regada застосовується на центральних і індивідуальних теплових пунктах, у системах гарячого водопостачання, вентиляції, а також в інших галузях народного господарства. Клапан виконує функцію запірною пристрою, а також призначений для автоматичного регулювання технологічних процесів.

Характеристики клапанів:

- робоче середовище: рідкі та газоподібні середовища;
- температура робочого середовища: від мінус 15 °С до плюс 150 °С;
- робочий хід плунжера: 50 мм.

Принцип дії КЗР. Потік робочого середовища регулюється шляхом переміщення плунжера відносно сідла, змінюючи тим самим пропускну здатність клапана відповідно до сигналу, що надходить на електропривід. Привід змінює площу відкритого прохідного отвору сідла. Повна герметичність

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

клапана забезпечується за рахунок прокладок і сальникового ущільнення. Для вихідного трубопроводу системи опалення з діаметром 20 мм вибираємо клапан КЗР 25ч945п. Клапани КЗР 25ч945п комплектуються електроприводом «Regada» різних типів виконання: загальнопромислового, вибухозахищеного, для помірного клімату. Стандартне виконання електропривода Regada включає:

- електричне підключення – на клемну колодку;
- механічне приєднання – фланцеве, з'єднувальна муфта різьбова;
- індикатор положення;
- ручний дублер керування.

Технічні характеристики електроприводів наведено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Технічні дані електроприводу

Характеристики	Значення
Робочий хід	10 мм
Швидкість управління	30 мм/хв
Час закриття	20 с
Зусилля на штоку	1,1 кН
Напруга живлення	230В, 50Гц
Потужність споживана	2,75 Вт
Маса	1,9 кг

Клапан живиться від мережі змінного струму, при цьому споживає мало потужності [37].

Вибір частотного перетворювача

Для регулювання частоти обертання електроприводу клапана виберемо частотний перетворювач із наступних (таблиця 2.14):

- HYUNDAI N700E 004SF,
- ESQ-210-2S-0.4K,
- ESQ-A500-021-0.4K.

Таблиця 2.14 – Порівняння частотних перетворювачів

Критерій вибору	HYUNDAI N700E 004SF	ESQ-210-2S-0.4K	ESQ-A500-021- 0.4K
Потужність	400 Вт	400 Вт	400 Вт
Напруга живлення	220 В	220 В	220 В
Дискретні входи	6 шт	4 шт	4 шт
Інтерфейс зв'язку	RS-485	RS-485	RS-485

З представлених частотних перетворювачів виберемо ESQ-210-2S-0.4K. Даний частотний перетворювач має необхідний інтерфейс зв'язку, достатню потужність живлення електроприводу і коштує дешевше, ніж представлені [38].

2.4 Розробка математичної моделі системи

На рисунку 2.6 наведено схему автоматичного регулювання, яка відповідає функціональній схемі автоматизації (рис.2.1).

Схема складається з: задаючих пристроїв (установок), ПЛК (який реалізує функції ПД-регулятора), перетворювачів частоти, моторів редукторів, штоків, клапанів, радіатора, теплообмінника, припливно-витяжної вентиляції, пристрою зволоження, пристрою осушення, регуляторів напруги, об'єкта керування (виробничого приміщення), датчиків пилу, температури та вологості (які є зворотним зв'язком).

Оператор задає температуру, вологість і концентрацію твердих частинок у повітрі, які необхідно підтримувати в приміщенні. Введені значення температури подається в ПЛК, де відбувається порівняння її з поточною температурою, отриманою з датчиків. Потім формується вихідний сигнал. Цей сигнал подається на частотні перетворювачі для визначення необхідної швидкості мотора редуктора клапанів гарячого і холодного водопостачання. Також введені значення вологості та концентрації пилу надходять у контролер

для формування сигналу на регулятор напруги живлення вентиляторів пристроїв вентиляції, зволоження та осушення.

Розглянемо передавальні функції ланок, які входять до цієї моделі.

Частотні перетворювачі формують частоти для моторів редукторів, тому їхні передавальні функції будуть визначатися коефіцієнтами перетворення. Оскільки частотний перетворювач передає значення частоти через цифровий канал, його передавальна функція буде:

$$W_{пч1} = W_{пч2} = \frac{f_{вих}}{f_{вх}} = \frac{50 \text{ Гц}}{50 \text{ Гц}} = 1 \quad (2.1)$$

де $W_{пч1}$, $W_{пч2}$ - передавальні функції перетворювачів частоти; $f_{вих}$, $f_{вх}$ - вихідна та вхідна частота перетворювача частоти, Гц.

Передавальні функції моторів редукторів опишемо періодичною ланкою першого порядку:

$$W_{мр1} = W_{мр2} = \frac{k_{мр}}{T_{мр}s + 1} \quad (2.2)$$

де $W_{мр1}$, $W_{мр2}$ - передавальні функції мотор редуктора; $k_{мр}$ - коефіцієнт передачі мотор редуктора, об/сек.Гц; $T_{мр}$ - постійна часу мотор редуктора, с.

Необхідні характеристики моторів редукторів наведені у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Характеристики моторів редукторів

Характеристика	Значення
Робочий хід, l	10 мм
Швидкість керування, $v_{дв}$	30 мм/хв
Час закриття, $t_{дв}$	20 с

Коефіцієнт передачі моторів редукторів визначається як відношення кутової швидкості $v_{дв}$ до частоти перетворювача f :

$$k_{дв} = \frac{v_{дв}}{f} = \frac{30}{50} = 0,6 \text{ мм}/(\text{хв} \cdot \text{Гц}) \quad (2.3)$$

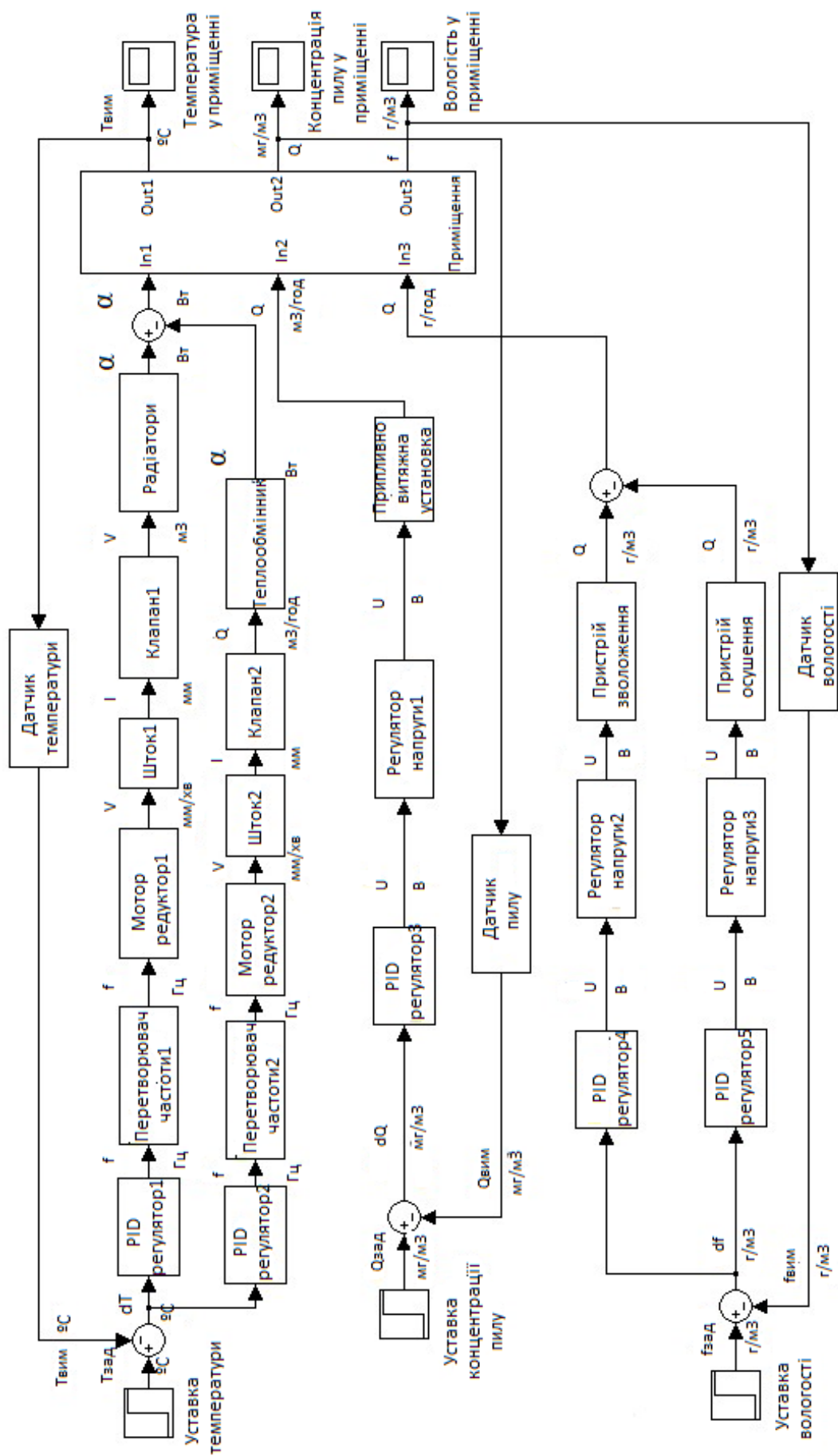


Рисунок 2.6 – Схема автоматичного регулювання

Електромеханічна постійна часу асинхронних виконавчих двигунів живлення від 50 Гц відповідає $(0,2 \div 1)$ з [20].

Прийmemo постійну часу мотор редуктора T_{mp} рівною 0,5 с. Отримаємо передатну функцію мотор редуктора:

$$W_{mp1} = W_{mp2} = \frac{k_{mp}}{T_{mp}s + 1} = \frac{0,6}{0,5s + 1}$$

Шток є інтегруючою ланкою:

$$W_{ш1} = W_{ш2} = \frac{1}{T_{ш}s} \quad (2.4)$$

де $W_{ш1}$, $W_{ш2}$ - передавальні функції штоків; $T_{ш}$ – постійна часу штока, с.

Постійна часу штока визначається значення часу повного ходу штока і дорівнює 20 с. Отримаємо передатну функцію штока:

$$W_{ш1} = W_{ш2} = \frac{1}{20s}$$

Клапан 1 опишемо аперіодичним ланкою першого порядку:

$$W_{кл1} = \frac{k_{кл1}}{T_{кл1}s + 1} \quad (2.5)$$

де $W_{кл1}$ - передавальна функція клапана 1; $k_{кл1}$ - коефіцієнт передачі клапана 1; $T_{кл1}$ – постійна часу клапана 1, с.

Коефіцієнт передачі клапана 1 визначається як відношення максимального об'єму води в радіаторі V_{max} до ходу штока l :

$$k_{кл1} = \frac{V_{max}}{l} = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ л/мм} \quad (2.6)$$

Постійну часу клапана 1 розрахуємо як відношення об'єму заповнення радіатора V_{max} до витрати води у трубі Q_6 (для діаметра 0,5 дюйма та швидкості води в трубі 1 м/с $Q_6 = 0,127$ л/с):

$$T_{кл1} = \frac{V_{max}}{Q_6} = \frac{2}{0,127} = 15,7 \text{ с} \quad (2.7)$$

Тоді передатна функція клапана 1:

$$W_{\text{кл1}} = \frac{k_{\text{кл1}}}{T_{\text{кл1}}s + 1} = \frac{0,2}{15,7 \cdot s + 1}$$

Радіатор є аперіодичною ланкою:

$$W_p = \frac{k_p}{T_p \cdot s + 1} \quad (2.8)$$

де W_p - передавальна функція радіатора; k_p – коефіцієнт передачі радіатора, мм; T_p – постійна часу радіатора, с.

Коефіцієнт передачі радіатора визначається як відношення тепловіддачі радіатора α до обсягу теплоносія V_{max} :

$$k_p = \frac{\alpha}{V_{\text{max}}} = \frac{1610}{2} = 805 \text{ Вт/л} \quad (2.9)$$

Час нагріву радіатора прийемо 900 с. Тоді передатна функція радіатора:

$$W_p = \frac{805}{900 \cdot s + 1}$$

Оскільки для приміщення необхідно 15 радіаторів, з'єднаних паралельно, то узагальнена функція радіатора W_{po} буде:

$$W_{\text{po}} = \frac{12075}{900 \cdot s + 1}$$

Клапан 2 опишемо аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{\text{кл2}} = \frac{k_{\text{кл2}}}{T_{\text{кл2}} \cdot s + 1} \quad (2.10)$$

де $W_{\text{кл2}}$ - передавальна функція клапана 2; $k_{\text{кл2}}$ - коефіцієнт передачі клапана 2, м³/(год. мм); $T_{\text{кл2}}$ – постійна часу клапана 2, с.

Коефіцієнт передачі клапана 1 визначається як відношення максимального об'єму води в радіаторі Q_{max} до ходу штока l :

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$k_{\text{кл}2} = \frac{Q_{\text{max}}}{l} = \frac{0,14}{10} = 0,014 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{мм} \quad (2.11)$$

Постійна часу клапана 2 з урахуванням обсягу теплообмінника V_T дорівнює:

$$T_{\text{кл}1} = \frac{V_T}{Q_{\text{max}}} = \frac{0,7}{0,14} = 5 \text{ с} \quad (2.12)$$

Тоді передатна функція клапана 2:

$$W_{\text{кл}2} = \frac{k_{\text{кл}2}}{T_{\text{кл}2} \cdot s + 1} = \frac{0,014}{5 \cdot s + 1}$$

Теплообмінник є аперіодичною ланкою:

$$W_T = \frac{k_T}{T_T \cdot s + 1} \quad (2.13)$$

де W_T – передавальна функція теплообмінника; k_T – коефіцієнт передачі теплообмінника, Вт год./м³; T_T – постійна часу теплообмінника, с.

Коефіцієнт передачі теплообмінника визначається як відношення тепловіддачі теплообмінника α_x до витрати води Q_{max} :

$$k_T = \frac{\alpha_x}{Q_{\text{max}}} \quad (2.14)$$

Розрахуємо тепловіддачу теплообмінника із формули:

$$Q_v = \frac{1000 \cdot \alpha_x}{T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}}} \quad (2.15)$$

де Q_v – витрата води, м³/год; α_x тепловіддача теплообмінника, Гкал/год; $T_{\text{вх}}$ – температура води на вході теплообмінника, °С; $T_{\text{вих}}$ – температура води на виході теплообмінника, °С [21].

За рахунок використання вентиляції збільшиться тепловіддача з теплообмінника. Для системи будемо використовувати дві припливно-витяжних установки з теплообмінником на кожному.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Тоді тепловіддача дорівнює:

$$\alpha_x = \frac{(T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}}) \cdot Q_{\text{в}}}{1000} = 2 \times \frac{0,14 \cdot (7 - 19) \times 10^6}{1000} = -3360 \frac{\text{ккал}}{\text{год}} \quad (2.16)$$

$$= -3908 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт передачі теплообмінника дорівнює:

$$k_T = \frac{\alpha_x}{Q_{\text{max}}} = \frac{-3908}{0,14} = -27914 \text{ Вт год/м}^3$$

Час охолодження теплообмінника приймемо 200 с. Тоді передатна функція теплообмінника:

$$W_T = \frac{k_T}{T_T \cdot s + 1} = \frac{-27914}{200 \cdot s + 1}$$

Датчики температури передають значення на контролер цифрового каналу. Передатна функція датчика температури виглядатиме як відношення вимірюваної температури $T_{\text{вим}}$ до переданої з датчика $T_{\text{д}}$:

$$W_{\text{дт}} = \frac{T_{\text{вим}}}{T_{\text{д}}} = \frac{90^\circ\text{C}}{90^\circ\text{C}} = 1 \quad (2.17)$$

де $W_{\text{дт}}$ – передатна функція датчика температури.

Датчики вологості передають значення на контролер цифрового каналу.

Передатна функція датчика вологості виглядатиме:

$$W_{\text{дв}} = \frac{f_{\text{вим}}}{f_{\text{д}}} = \frac{100\%}{100\%} = 1 \quad (2.18)$$

де $W_{\text{дв}}$ – передатна функція датчика вологості; $f_{\text{вим}}$ – значення вимірюваної вологості; $f_{\text{д}}$ – значення вологості з датчика.

Датчики пилу передають значення на контролер цифрового каналу.

Передатна функція датчика пилу виглядатиме:

$$W_{\text{дп}} = \frac{Q_{\text{вим}}}{Q_{\text{д}}} = \frac{1\text{г/м}^3}{1\text{г/м}^3} = 1 \quad (2.19)$$

де $W_{\partial n}$ – передатна функція датчика пилю; $Q_{вим}$ – значення вимірної концентрації пилю; Q_{∂} – значення концентрації пилю з датчика.

Регулятор напруги 1 представимо підсилювальною ланкою:

$$W_{pн1} = k_{pн1} \quad (2.20)$$

де $W_{pн1}$ – передатна функція регулятора напруги 1; $k_{pн1}$ – коефіцієнт передачі регулятора напруги 1, В/В.

Коефіцієнт передачі регулятора напруги 1 визначається як відношення вихідної напруги з регулятора $U_{вих}$ до сигналу з контролера $U_{к1}$:

$$k_{pн1} = \frac{U_{вих}}{U_{к1}} = \frac{220 \text{ В}}{220 \text{ В}} = 1 \quad (2.21)$$

Припливно-витяжну установку представимо аперіодичною ланкою:

$$W_B = \frac{k_B}{T_B \cdot s + 1} \quad (2.22)$$

де W_B – передавальна функція вентиляції; k_B – коефіцієнт передачі вентиляції, В; T_B – постійна часу вентиляції, с.

Вентиляція використовується для очищення повітря від пилю та охолодження повітря в приміщенні. Охолодження відбувається за рахунок посилення потоку повітря через теплообмінник.

Коефіцієнт передачі вентиляції визначається як відношення максимальної витрати повітря $Q_{пов}$ до вихідної напруги з регулятора $U_{вих1}$:

$$k_B = \frac{Q_{пов}}{\Delta U_{вих1}} = \frac{205}{220 - 85} = 1,52 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{В} \quad (2.23)$$

Постійну часу вентиляції приймемо рівною 0,8 с [40].

Тоді передатна функція вентиляції:

$$W_B = \frac{k_B}{T_B \cdot s + 1} = \frac{1,52}{0,8 \cdot s + 1}$$

Регулятор напруги 2 і 3 представимо підсилювальною ланкою:

$$W_{pn2} = W_{pn3} = k_{pn} \quad (2.24)$$

де W_{pn2} , W_{pn3} - передавальні функції регуляторів напруги 2 і 3; k_{pn} – коефіцієнт передачі регуляторів напруги 2 і 3, В/В

Коефіцієнти передачі регуляторів напруги 2 і 3 визначаються як відношення вихідної напруги регулятора $U_{вих 2}$ до сигналу з контролера $U_{к2}$:

$$W_{pn2} = W_{pn3} = \frac{U_{вих 2}}{U_{к 2}} = \frac{36}{10} = 3,6 \quad (2.25)$$

Пристрій зволоження представимо аперіодичною ланкою:

$$W_{пз} = \frac{k_{пз}}{T_{пз} \cdot s + 1} \quad (2.26)$$

де $W_{пз}$ – передатна функція пристрою зволоження; $k_{пз}$ – коефіцієнт передачі пристрою зволоження, г/(год·В); $T_{пз}$ – постійна часу пристрою зволоження, с.

Коефіцієнт передачі пристрою зволоження визначається як відношення продуктивності пристрою зволоження $W_{пз}$ до вихідної напруги з регулятора $U_{вих 2}$:

$$k_{пз} = \frac{Q_{пз}}{U_{вих 2}} = \frac{1600}{36} = 44,4 \text{ г/(год. В)} \quad (2.27)$$

Постійну часу пристрою зволоження прийmemo рівною 3 с. Тоді передатна функція пристрою зволоження:

$$W_{пз} = \frac{k_{пз}}{T_{пз} \cdot s + 1} = \frac{44,4}{3 \cdot s + 1}$$

Пристрій осушення представимо аперіодичною ланкою:

$$W_{по} = \frac{k_{по}}{T_{по} \cdot s + 1} \quad (2.28)$$

де $W_{по}$ – передатна функція пристрою осушення; $k_{по}$ – коефіцієнт передачі пристрою осушення, г/(год·В); $T_{по}$ - постійна часу пристрою осушення, с.

Коефіцієнт передачі пристрою осушення визначається як відношення продуктивності пристрою осушення до вихідної напруги регулятора:

$$k_{по} = \frac{Q_{по}}{U_{вих 2}} = \frac{-2500}{36} = -69,4 \text{ г/(год. В)} \quad (2.29)$$

Постійну часу пристрою осушення прийmemo 3 с. Тоді передатна функція пристрою осушення:

$$W_{\text{по}} = \frac{k_{\text{по}}}{T_{\text{по}} \cdot s + 1} = \frac{-69,4}{3 \cdot s + 1}$$

Складемо модель зміни параметрів приміщення.

Зміна температури приміщення опишемо наступною передатною функцією [36]:

$$W_{\text{тп}} = \frac{\frac{\alpha \cdot 15 + \alpha_x}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} + T_{\text{вул}}}{T_{\text{тп}} \cdot s + 1} \quad (2.30)$$

де $W_{\text{тп}}$ – передатна функція зміни температури приміщення; $k_{\text{ок}}$ - коефіцієнт тепловіддачі огороження, кДж / (м² год °С); $F_{\text{ок}}$ - площа огорожувальної конструкції, м²; $T_{\text{вул}}$ - температура зовні приміщення, °С; $T_{\text{тп}}$ - постійна часу зміни температури приміщення, с.

Коефіцієнт тепловіддачі огорожі дорівнює:

$$k_{\text{ок}} = 3,72 \text{ кДж / (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{°С)} = 1,03 \text{ Вт/м}^2\text{°С} \quad (2.31)$$

Площа огорожувальної конструкції дорівнює:

$$F_{\text{ок}} = 2 \cdot (25 + 12) \cdot 4 = 296 \text{ м}^2 \quad (2.32)$$

Постійна час зміни температури приміщення:

$$T_{\text{тп}} = \frac{G_{\text{пр}} \cdot c_{\text{пр}}}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} = \frac{4 \cdot 25 \cdot 12 \cdot 1,29 \times 10^3}{3,72 \times 10^3 \cdot 296} = 1,406 \text{ год} = 5062 \text{ с} \quad (2.33)$$

де $G_{\text{пр}}$ - маса повітря приміщення, кг; $c_{\text{пр}}$ – питома теплоємність повітря, Дж/кг°С [22].

Тоді передатна функція зміни температури приміщення:

$$W_{\text{тп}} = \frac{\frac{\alpha \cdot 15}{305} + T_{\text{вул}}}{5062 \cdot s + 1} = \frac{0,05 \cdot \alpha + T_{\text{вул}}}{5062 \cdot s + 1}$$

Для визначення відносної вологості у приміщенні скористаємось таблицею залежності відносної вологості від температури та концентрації води у повітрі (рисунок 2.7) [23].

	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
100%	0,23	0,37	0,60	0,93	1,4	2,1	3,2	4,6	6,5	9,2	12,8	17,5	23,8	31,8	42,1
90%	0,21	0,34	0,54	0,84	1,3	1,9	2,8	4,1	5,9	8,3	11,5	15,8	21,4	28,6	37,9
80%	0,18	0,30	0,48	0,75	1,1	1,7	2,5	3,7	5,2	7,4	10,2	14,0	19,0	25,4	33,7
70%	0,16	0,26	0,42	0,65	1,0	1,5	2,2	3,2	4,6	6,4	9,0	12,3	16,6	22,3	29,5
60%	0,14	0,22	0,36	0,56	0,86	1,3	1,9	2,7	3,9	5,5	7,7	10,5	14,3	19,1	25,3
50%	0,11	0,19	0,30	0,47	0,71	1,1	1,6	2,3	3,3	4,6	6,4	8,8	11,9	15,9	21,1
40%	0,09	0,15	0,24	0,37	0,57	0,86	1,3	1,8	2,6	3,7	5,1	7,0	9,5	12,7	16,9
30%	0,07	0,11	0,18	0,28	0,43	0,64	0,95	1,4	2,0	2,8	3,8	5,3	7,1	9,5	12,6
20%	0,05	0,07	0,12	0,19	0,29	0,43	0,63	0,92	1,3	1,8	2,6	3,5	4,8	6,4	8,4
15%	0,03	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,47	0,69	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	4,8	6,3
10%	0,02	0,04	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,46	0,65	0,92	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2
5%	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,16	0,23	0,33	0,46	0,64	0,88	1,2	1,6	2,1
1%	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42

Рисунок 2.7 – Залежність відносної вологості від температури та концентрації води у повітрі

Для зручності розрахунку відносної вологості в середовищі Matlab/Simulink визначимо її залежність від концентрації води в повітрі за різних температур повітря. За таблицею зручніше побудувати обернену залежність, тобто яку концентрацію води необхідно мати для досягнення потрібної вологості. Використовуючи рис.2.7, побудовано ці залежності для різних температур (рисунок 2.8).

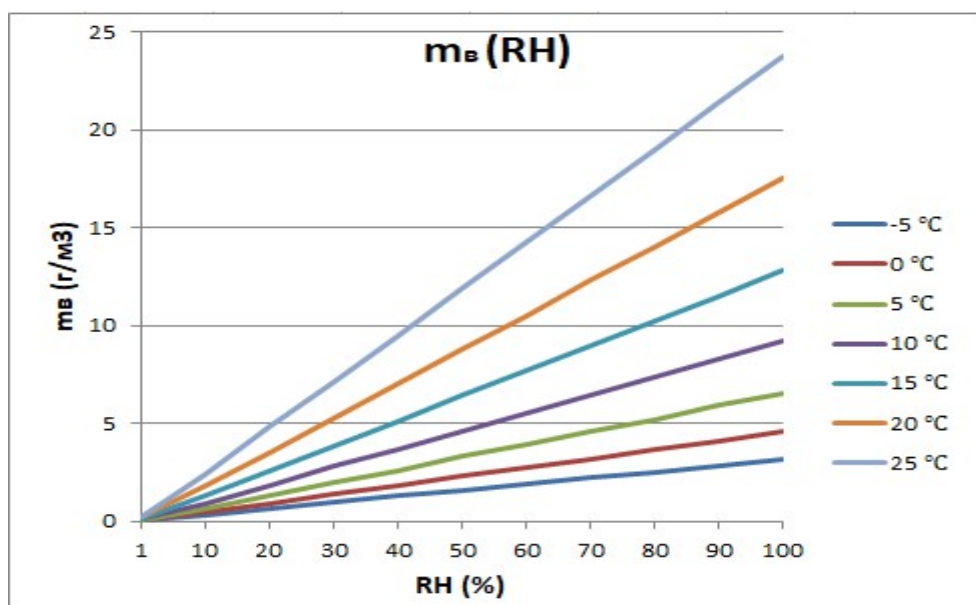


Рисунок 2.8 – Графіки залежності концентрація води у повітрі для отримання необхідної вологості

За графіками можна помітити лінійну залежність, причому графіки проходять через нуль. Залежність концентрації води в повітрі для отримання необхідної вологості можна подати у вигляді рівняння:

$$Q_v(RH) = k_i \cdot RH \quad (2.34)$$

де Q_v – концентрація води у повітрі, г/м³; k_i - коефіцієнти перетворення, г/м³%; RH – відносна вологість, %.

Для кожної температури необхідно визначити коефіцієнт зв'язку. Для цього достатньо взяти по одній точці на кожному графіку і, підставивши значення концентрації та вологості, розрахувати коефіцієнти. Для зручності були обрані точки при відносній вологості, що дорівнює 100%. Отримані коефіцієнти наведено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Теоретично та функціонально розраховані коефіцієнтів

$T, ^\circ\text{C}$	-5	0	5	10	15	20	25
$K_{\text{теор}}, \text{г/м}^3$	0,032	0,046	0,065	0,092	0,128	0,175	0,238
$K_{\text{розр}}, \text{г/м}^3$	0,0369	0,046	0,0645	0,092	0,1289	0,175	0,2304

Отримано залежності концентрації води в повітрі для досягнення необхідної вологості при кількох значеннях температур. Для зручності використання потрібно звести ці залежності до одного рівняння. Визначимо залежність коефіцієнтів від температури повітря в приміщенні (рисунок 2.9).

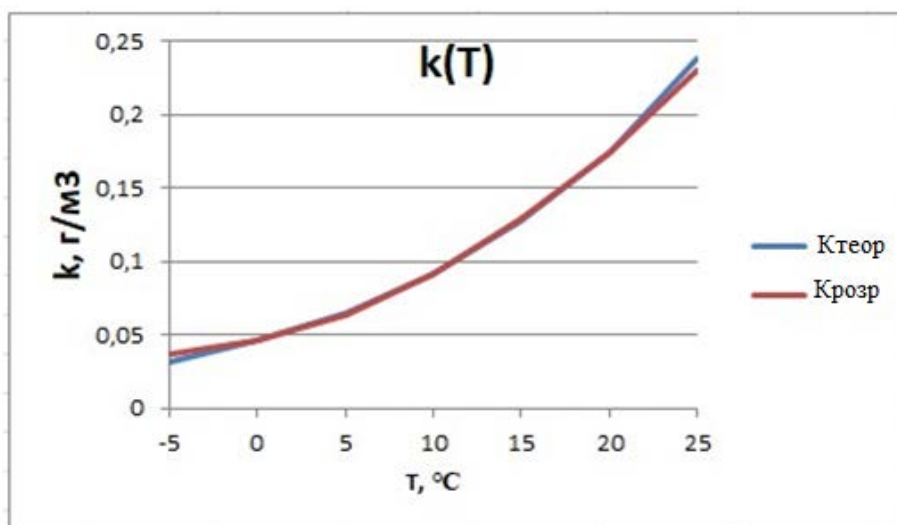


Рисунок 2.9 – Графіки залежності теоретично та функціонально розрахованих значень коефіцієнтів

На графіку простежується квадратична залежність коефіцієнтів від температури повітря. Проведемо розрахунок коефіцієнтів квадратичного рівняння, використовуючи три точки.

Рівняння зі знайденими коефіцієнтами:

$$k(T) = 0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046 \quad (2.35)$$

де T – температура повітря, °C; k – коефіцієнт перетворення, г/м³ %;

Коефіцієнти, розраховані за отриманим рівнянням, наведені в таблиці вище, а також у вигляді графіка залежності на рисунку вище.

Таким чином, остаточна формула залежності концентрації води в повітрі для досягнення необхідної відносної вологості від температури має вигляд:

$$Q_v(RH, T) = (0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046) \cdot RH \quad (2.36)$$

Звідси залежність відносної вологості від концентрації води в повітрі та температури:

$$RH(Q_v, T) = \frac{Q_v}{(0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046)} \quad (2.37)$$

Процес зміни вологості повітря в приміщенні представимо аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{вп} = \frac{k_{вп}}{T_{вп} \cdot s + 1} \quad (2.38)$$

де $W_{вп}$ - передавальна функція зміни вологості у приміщенні; $k_{вп}$ – коефіцієнт зміни вологості, год/м³; $T_{вп}$ – постійна часу зміни вологості в приміщенні, с.

Коефіцієнт зміни вологості дорівнює відношенню концентрації води у повітрі f_v до продуктивності пристрою зволоження $Q_{пз}$. За концентрацію води прийнято максимальний вміст води у повітрі при 100°C

$$k_{вп} = \frac{f_v}{Q_{пр}} = \frac{588,208}{1600} = 0,368 \text{ год/м}^3 \quad (2.39)$$

Постійна часу зміни вологості в приміщенні залежить від розміру приміщення. Враховуючи переміщення повітряних мас під дією теплових впливів, прийmemo:

$$T_{\text{вп}} = 1,406 \text{ год} = 5062 \text{ с} \quad (2.40)$$

Тоді передатна функція зміни вологості у приміщенні:

$$W_{\text{вп}} = \frac{k_{\text{вп}}}{T_{\text{вп}} \cdot s + 1} = \frac{0,368}{5062 \cdot s + 1}$$

Процес зміни якості повітря в приміщенні представимо аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{\text{кп}} = \frac{k_{\text{кп}}}{T_{\text{кп}} \cdot s + 1} \quad (2.41)$$

де $W_{\text{кп}}$ – передатна функція зміни концентрації пилу у приміщенні; $k_{\text{кп}}$ – коефіцієнт зміни концентрації пилу, год/м³; $T_{\text{кп}}$ – постійна часу зміни концентрації пилу у приміщенні, с.

Коефіцієнт концентрації пилу дорівнює відношенню концентрації пилу в приміщенні f_n до продуктивності пристрою зволоження $Q_{\text{пз}}$:

$$k_{\text{кп}} = \frac{f_{\text{п}}}{Q_{\text{пз}}} = \frac{200}{205} = 0,98 \text{ год/м}^3 \quad (2.42)$$

Постійна час зміни концентрації пилу залежить від розміру приміщення. Для спрощення побудови моделі можна прийняти за постійний час зміни температури [44].

Тоді постійна часу зміни концентрації пилу:

$$T_{\text{кп}} = 1,406 \text{ год} = 5062 \text{ с} \quad (2.43)$$

Тоді передатна функція зміни концентрації пилу у приміщенні:

$$W_{\text{кп}} = \frac{k_{\text{кп}}}{T_{\text{кп}} \cdot s + 1} = \frac{0,98}{5062 \cdot s + 1}$$

Знайдено передаточні функції всіх елементів системи, окрім регуляторів, побудовано модель зміни параметрів мікроклімату.

Математичну модель приміщення наведено на рисунку 2.10.

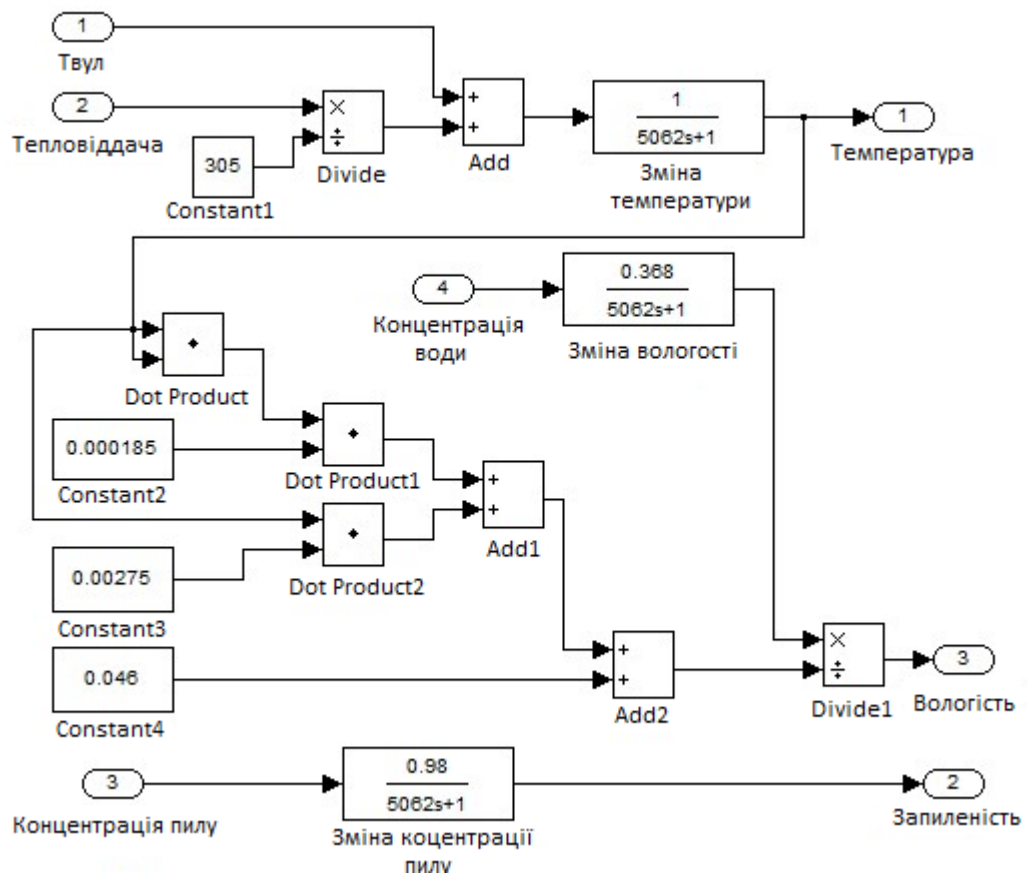


Рисунок 2.10 – Математична модель приміщення

Математичну модель системи наведено на рисунку 2.11.

Далі виконаємо налаштування регуляторів для керування клапанами системи опалення й охолодження, а також для керування вентиляторами систем зволоження, осушення та вентиляції.

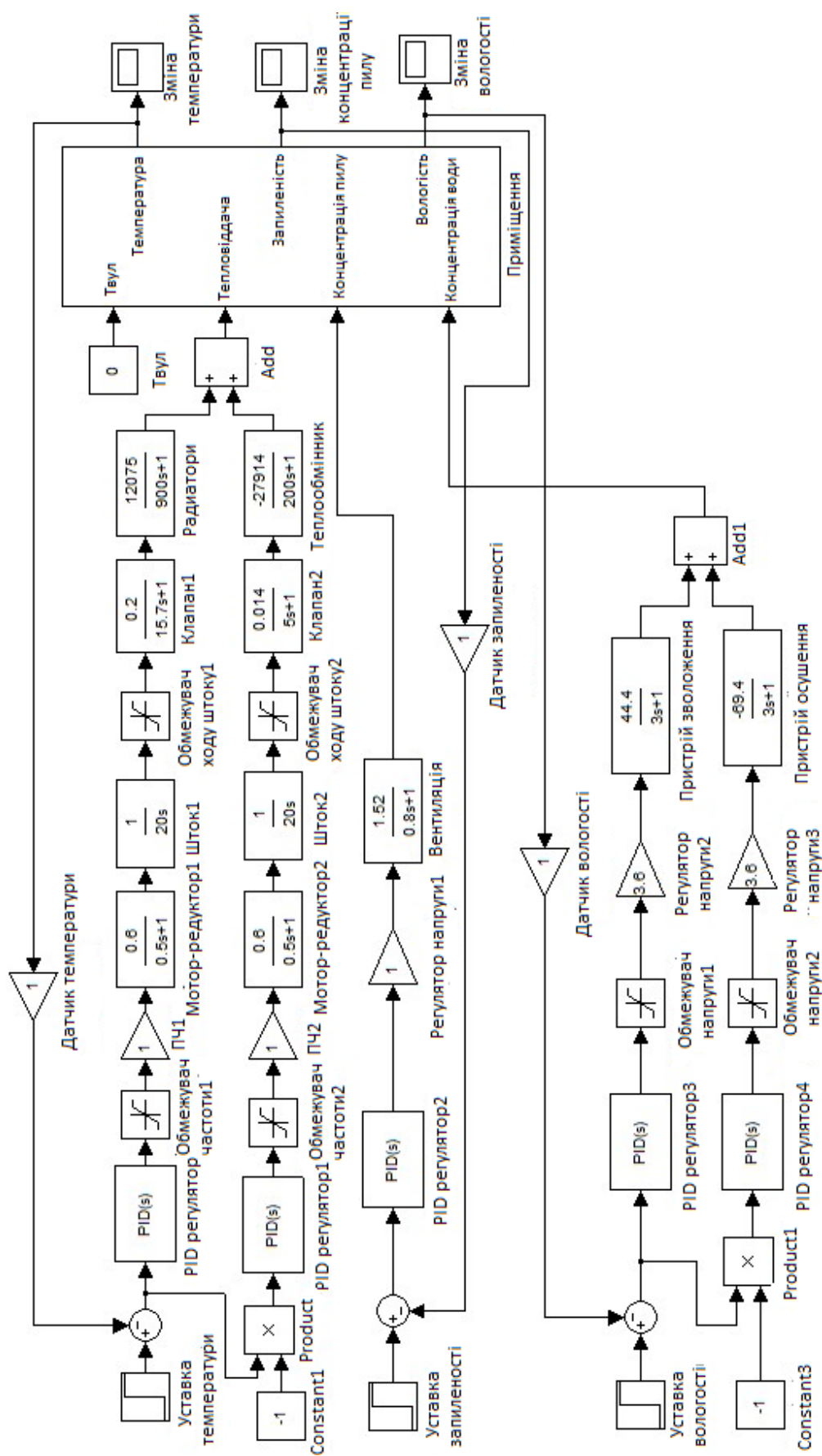


Рисунок 2.11 – Математична модель системи автоматичного регулювання

2.5 Налаштування регулятора

Формування керуючих впливів ПІД-регуляторів відбувається відповідно до різниці між уставками та фактичними значеннями параметрів мікроклімату. Налаштування регуляторів проводилося за методом Ціглера–Нікольса, автоматичним налаштуванням у пакеті Matlab та вручну.

Для налаштування методом Ціглера–Нікольса відключаються інтегральна та диференціальна складові регулятора, а пропорційну складову змінюють доти, доки система не вийде на коливальний режим із постійною амплітудою.

Виконаємо налаштування регулятора для системи опалення. Коливальний режим досягнуто при коефіцієнті підсилення 0,0054. Період коливань становить 13542 секунди.

Розрахуємо параметри регулятора:

$$k_n = 0,6 \cdot K^* = 0,00324 \quad (2.44)$$

$$k_i = 1,2 \cdot K^* / T^* = 4,8 \times 10^{-7} \quad (2.45)$$

$$k_d = 0,075 \cdot K^* \cdot T^* = 5,48 \quad (2.46)$$

де k_n , k_i , k_d – пропорційний, інтегральний та диференціальний коефіцієнти; K^* – коефіцієнт посилення при коливальному режимі; T^* – період коливання при коливальному режимі [27].

Підставивши коефіцієнти, отримуємо перехідний процес і показники якості на рисунку 2.12. Час перехідного процесу становить 48600 секунд, перерегулювання дорівнює 62,3 %. Даний метод виявився недостатньо ефективним для налаштування.

Виконаємо автоматичне налаштування регулятора засобами Matlab. Перехідний процес, розраховані коефіцієнти та показники якості наведено на рисунку 2.12.

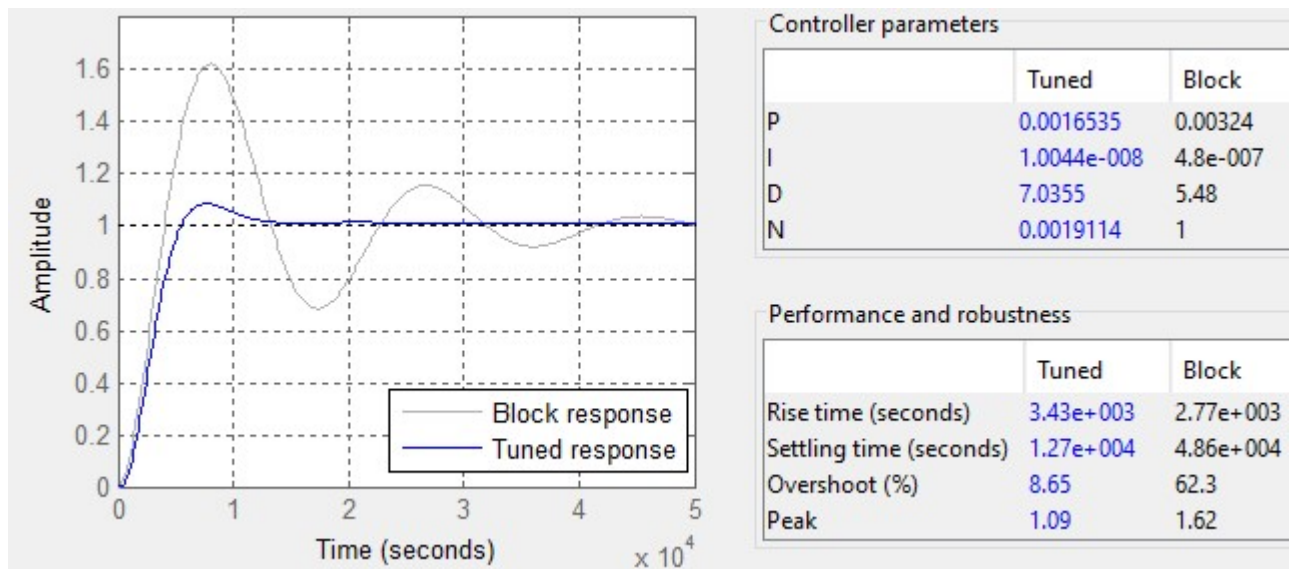


Рисунок 2.12 – Перехідні процеси за методами Циглера-Нікольса (Block response) та автоматичного налаштування (Tuned response) для системи опалення

Якість перехідного процесу з коефіцієнтами, отриманими автоматично, значно краща, ніж за методом Ціглера-Ніколса.

Виконаємо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу на основі автоматично отриманих коефіцієнтів.

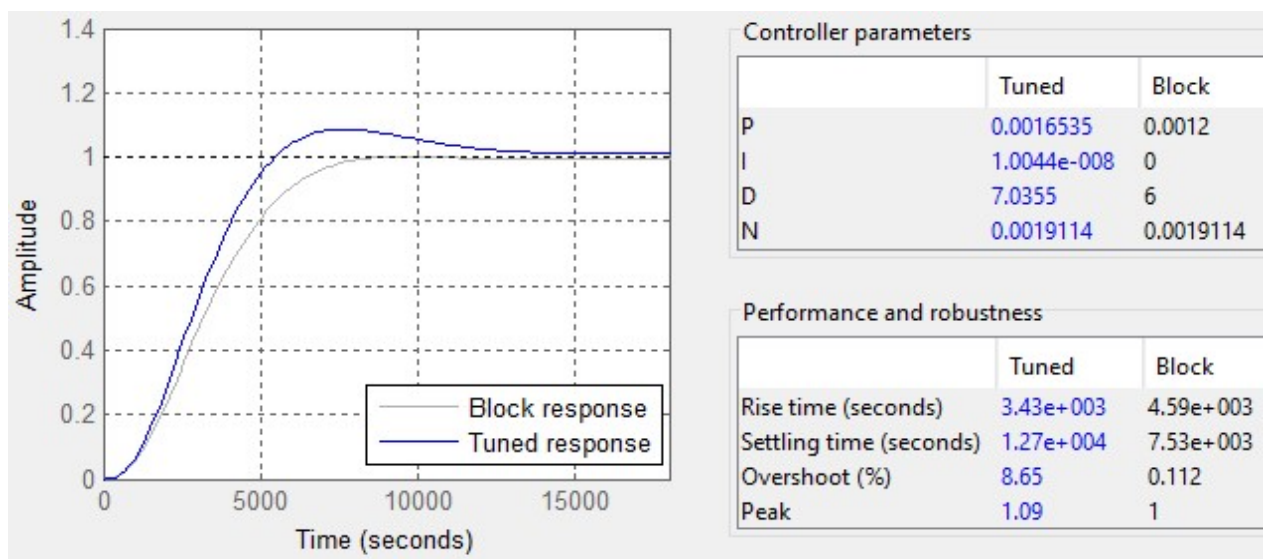


Рисунок 2.13 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи опалення

Інтегральна складова регулятора була виключена, оскільки не мала помітного впливу на якість перехідного процесу, адже в системі переважає інтегруюча ланка. Таким чином, використовуємо ПД-регулятор. Перехідний процес, коефіцієнти регулятора та показники якості наведені на рисунку 2.13.

Порівняння показників якості представлено у таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи опалення

Параметри	Метод Ціглера-Ніколса	Автоматичне налаштування Matlab	Ручне підстроювання
k_p	0,00324	0,0016535	0,0012
k_i	$4,8 \times 10^{-7}$	10^{-8}	0
k_d	5,48	7,0355	6
$t_{рег}, c$	48600	12700	7530
$\sigma, \%$	62,3	8,65	0

З таблиці видно, що найкращим способом є ручне налаштування. При такому налаштуванні відсутнє перерегулювання та забезпечено мінімальний час перехідного процесу.

Виконаємо налаштування регулятора для системи охолодження. Коливальний режим системи настав при коефіцієнті підсилення, що дорівнює 0,13. Період коливань становить 6446 секунд.

Розрахуємо параметри регулятора:

$$k_p = 0,6 \cdot K^* = 0,078 \quad (2.47)$$

$$k_i = 1,2 \cdot K^* / T^* = 2,42 \times 10^{-5} \quad (2.48)$$

$$k_d = 0,075 \cdot K^* \cdot T^* = 62,85 \quad (2.49)$$

Підставивши коефіцієнти, отримуємо перехідний процес і показники якості на рисунку 2.14. Час перехідного процесу становить 35500 секунд, перерегулювання дорівнює 65,8 відсотка. Цей метод виявився недостатньо ефективним для налаштування.

Виконаємо налаштування регулятора автоматично за допомогою засобів Matlab. Перехідний процес, розраховані коефіцієнти та показники якості наведені на рисунку 2.14.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

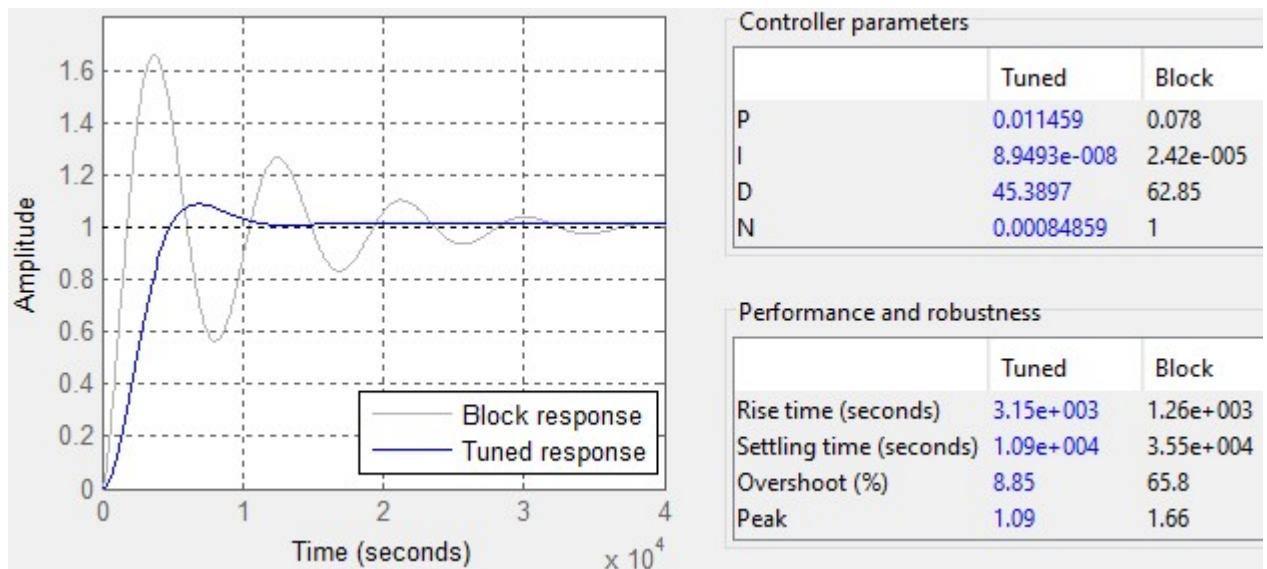


Рисунок 2.14 – Перехідні процеси за методами Циглера-Нікольса (Block response) та автоматичного налаштування (Tuned response) для системи охолодження

Якість перехідного процесу з коефіцієнтами, отриманими автоматично, значно краща, ніж розрахованих за методом Ціглера–Ніколса.

Виконаємо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу на основі автоматично отриманих коефіцієнтів.

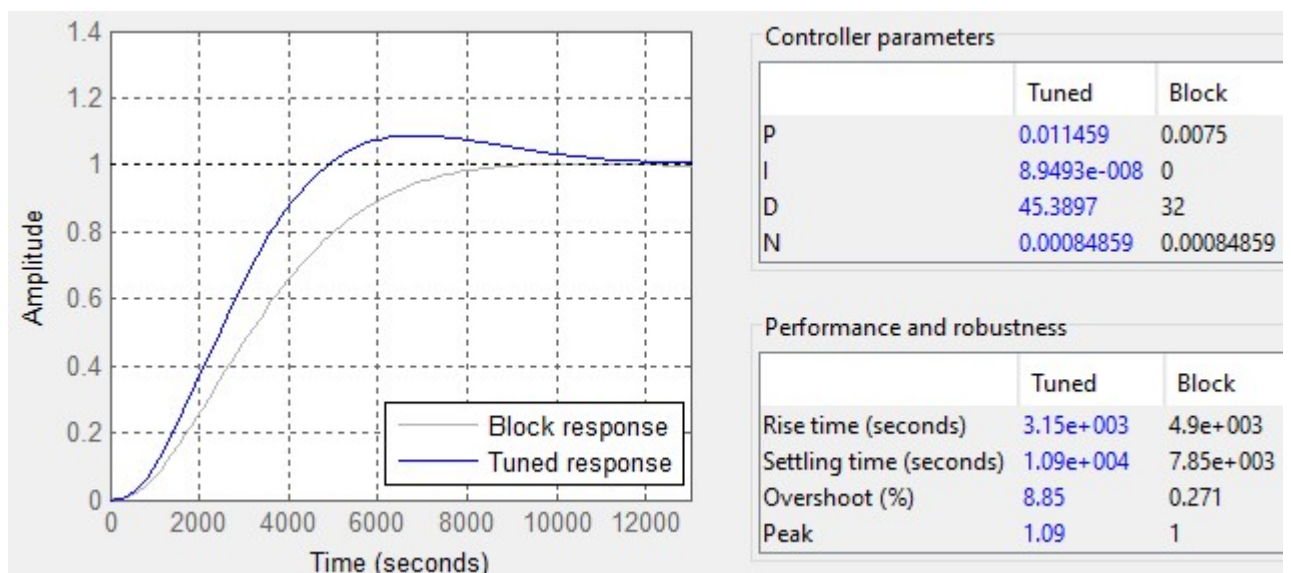


Рисунок 2.15 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи охолодження

Інтегральну складову регулятора було виключено, оскільки вона не мала видимого впливу на якість перехідного процесу, адже в системі переважає інтегруюча ланка. Таким чином, використовуємо ПД-регулятор. Перехідний процес, коефіцієнти регулятора та показники якості наведені на рисунку 2.15. Порівняння показників якості представлено у таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи охолодження

Параметри	Метод Ціглера-Ніколса	Автоматичне налаштування Matlab	Ручне підстроювання
k_p	0,078	0,01146	0,0075
k_i	$2,42 \times 10^{-5}$	9×10^{-8}	0
k_d	62,85	45,39	32
$t_{рег}, c$	35500	10900	7850
$\sigma, \%$	65,8	8,85	0

Із таблиці видно, що найкращим способом є ручне налаштування. За цього налаштування відсутнє перерегулювання та забезпечено мінімальний час перехідного процесу.

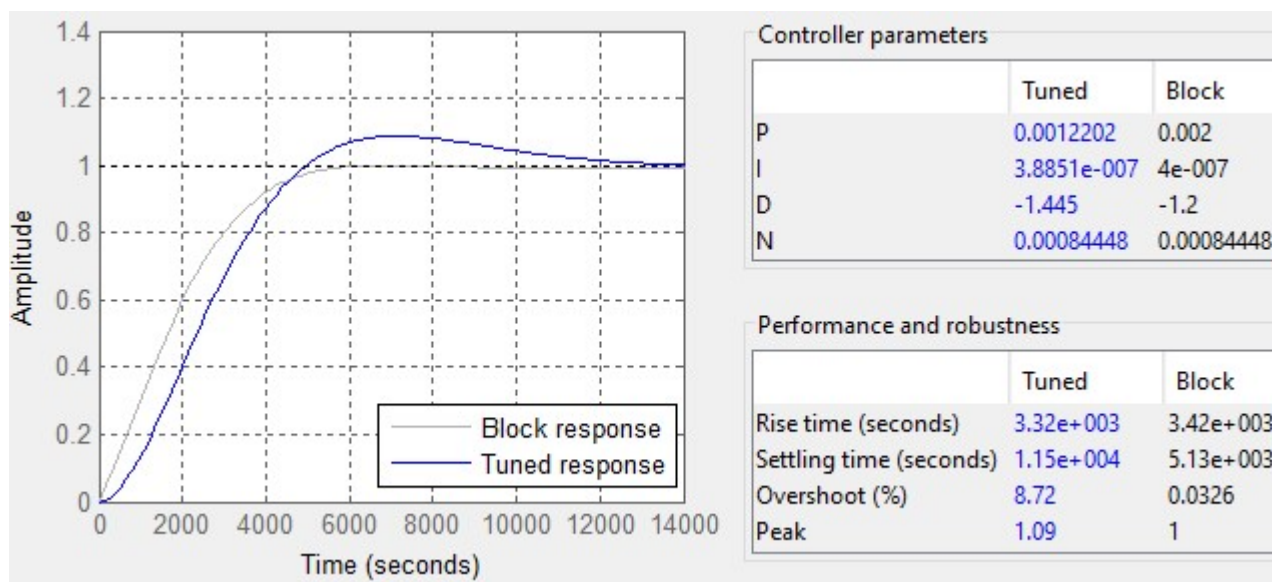


Рисунок 2.16 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи зволоження

Виконаємо налаштування регулятора для системи зволоження автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведені на рисунку 2.16. Порівняння показників якості представлено у таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи зволоження

Параметри	Автоматичне налаштування Matlab	Ручне підстроювання
k_p	0,00122	0,002
k_i	$3,885 \times 10^{-7}$	4×10^{-7}
k_d	-1,445	-1,2
t_{per}, c	11500	5130
$\sigma, \%$	8,72	0

За ручного підстроювання відсутнє перерегулювання та забезпечено мінімальний час перехідного процесу.

Виконаємо налаштування регулятора для системи осушення автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведені на рисунку 2.17.

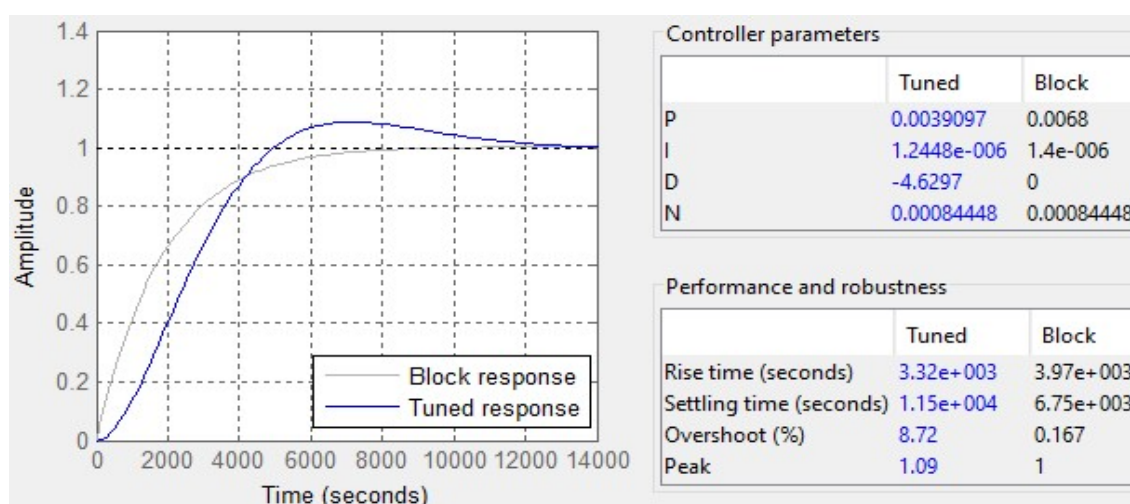


Рисунок 2.17 – Перехідні процеси при автоматичному налаштуванні (Tuned response) та ручному підстроюванні (Block response) регулятора для системи осушення

Порівняння показників якості представлено у таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи осушення

Параметри	Автоматичне налаштування Matlab	Ручне підстроювання
k_p	0,00391	0,0068
k_i	$1,2448 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-6}$
k_d	-4,63	0
$t_{рег}, c$	11500	6750
$\sigma, \%$	8,72	0

За ручного підстроювання відсутнє перерегулювання та забезпечено мінімальний час перехідного процесу.

Виконаємо налаштування регулятора для системи вентиляції автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу. При зміні диференціальної складової суттєвого впливу на якість процесу не спостерігалось, тому цю складову було виключено. Для системи вентиляції використовуємо ПІ-регулятор. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведені на рисунку 2.18.

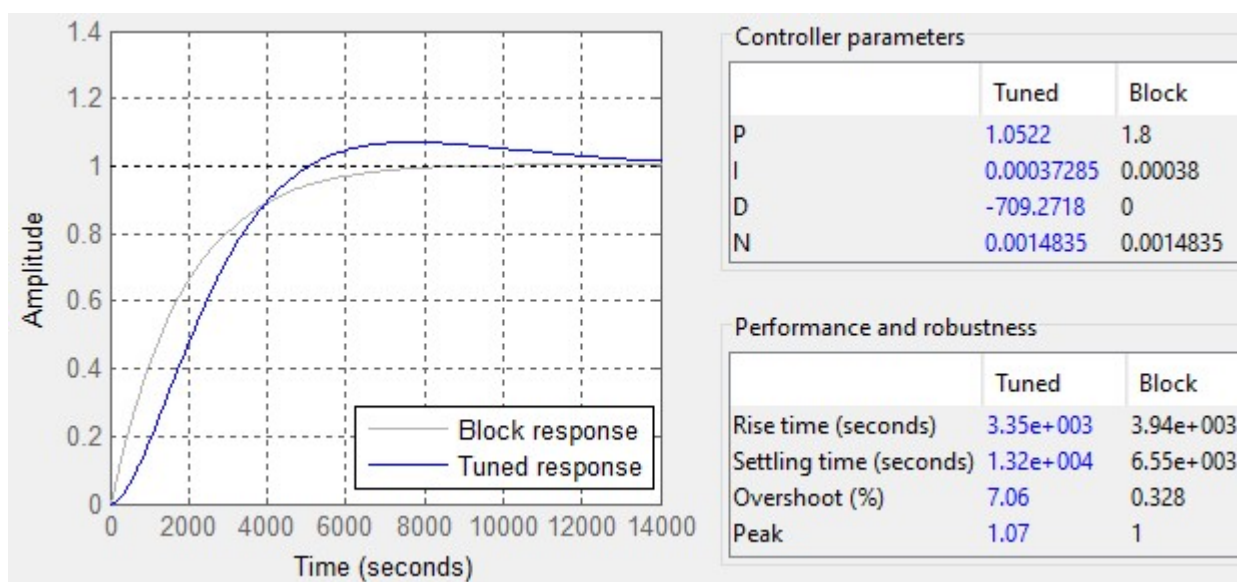


Рисунок 2.18 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи вентиляції

Порівняння показників якості представлено у таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи вентиляції.

Параметри	Автоматичне налаштування Matlab	Ручне підстроювання
k_p	1,0522	1,8
k_i	$3,73 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-4}$
k_d	-709,27	0
$t_{рег}, c$	13200	6550
$\sigma, \%$	7,06	0

При ручному підстроюванні відсутнє перегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

2.6 Аналіз поведінки системи за зовнішнього впливу

Моделюємо ситуацію, коли на промислове приміщення діє зовнішня температура. Зовнішня температура буде динамічно змінюватися протягом світлового дня за гармонічним законом з амплітудою 8 градусів, починаючи зі стрибка в 10 градусів. Перехідний процес та графік зміни температури на вулиці наведені на рисунку 2.19.

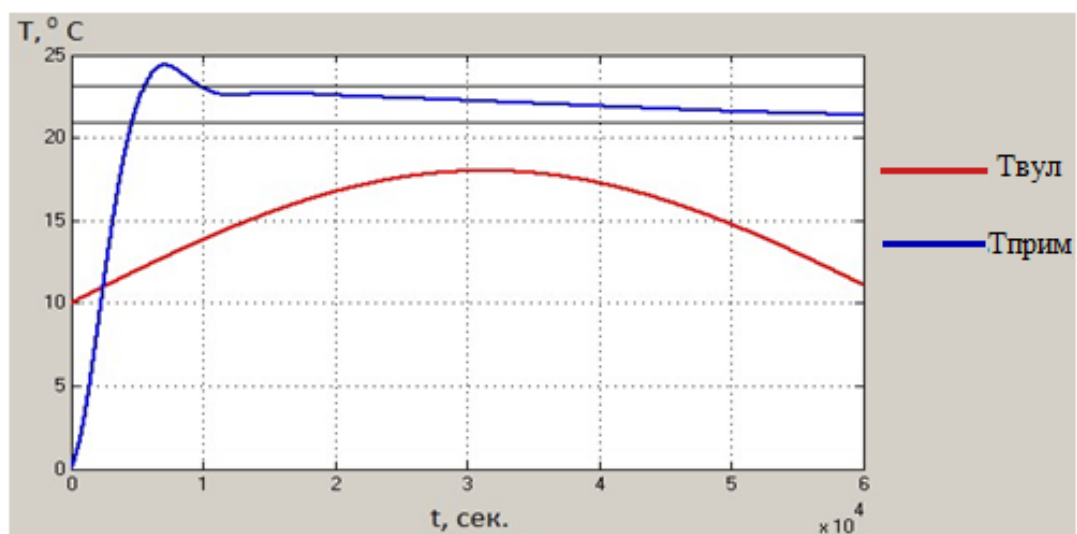


Рисунок 2.19 – Перехідний процес із зовнішнім впливом

На графіку видно, що система обробляє збурення і далі утримує температуру в приміщенні в діапазоні 5 % від уставки. Цю систему можна використовувати як систему стабілізації температури в приміщенні. Перехідний процес за збурювальним впливом отримав перегулювання 11% і час регулювання, рівний 9880 секунд.

Висновки за розділом:

У цьому розділі було здійснено поетапне проектування автоматизованої системи підтримки заданих параметрів мікроклімату виробничого приміщення. Спочатку було розроблено функціональну схему системи, яка визначає основні компоненти та їх взаємодію. На основі аналізу умов експлуатації сформовано алгоритми роботи, які забезпечують ефективне регулювання мікрокліматичних параметрів.

У процесі вибору технічного забезпечення було підібрано відповідне контролерне обладнання та датчики, що відповідають технічним вимогам до точності, швидкодії та надійності. Для автоматизації системи підтримання мікроклімату були обрані необхідні датчики з цифровими сигналами по інтерфейсу RS-485 та аналоговими вихідними сигналами (4–20) мА. В якості промислового логічного контролера був обраний ОВЕН ПЛК 160. Виконавчі пристрої: радіатор RifarAlp500x10, приточно-витяжна установка Electrolux EPVS-200, теплообмінник WHC 150*150-2,увлажнювач повітря Par-Tuman ГТ-1,6, осушувач повітря Par-Tuman PT-60, клапан запорно-регулюючий КЗР 25ч945п і частотний перетворювач ESQ-210-2S-0.4К.

Побудована математична модель системи дала змогу здійснити теоретичний аналіз її функціонування та стала основою для подальшої настройки регулятора.

Після налаштування регулятора проведено аналіз поведінки системи під впливом зовнішніх чинників. У процесі дослідження було змодельовано систему підтримання мікрокліматичних параметрів, виконано налаштування

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регуляторів за п'ятьма каналами керування, а також проведено аналіз якості роботи системи в умовах зовнішніх збурень.

Результати показали здатність системи стабільно підтримувати задані параметри мікроклімату навіть за змін зовнішніх умов, що свідчить про ефективність розробленого технічного рішення.

Таким чином, розроблена автоматизована система відповідає поставленим вимогам, має широкий потенціал для впровадження в різноманітних сферах: від промислових підприємств і складських приміщень до офісних та житлово-комунальних об'єктів і може бути рекомендована до впровадження у виробничих умовах для забезпечення стабільного мікроклімату.

Економічна ефективність запропонованого рішення полягає у зниженні енерговитрат та підвищенні рівня автоматизації, що особливо важливо в умовах сучасного енергетичного ринку.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного аналізу встановлено, що мікроклімат виробничих приміщень визначається комплексом параметрів, серед яких основними є температура, вологість, швидкість руху повітря, а також ефективність вентиляції. Ці фактори істотно впливають як на самопочуття та працездатність людей, так і на збереження обладнання, матеріалів і продукції. Розглянуто сучасні підходи до керування мікрокліматом, зокрема міжнародний досвід управління попитом на кліматичні послуги (на прикладі Швеції) та використання аналітики даних у будівлях зі складними кліматичними умовами. Це дозволило виділити актуальні тенденції у сфері автоматизованого моніторингу та керування внутрішнім середовищем приміщень.

На основі аналізу сформульовано вимоги до розробки системи автоматизованого керування параметрами мікроклімату, які охоплюють технічне, метрологічне, програмне, інформаційне та автоматичне забезпечення. Врахування цих вимог є критично важливим для забезпечення точності, надійності та економічної доцільності роботи системи.

В результаті виконання роботи була розроблена система управління параметрами мікроклімату в виробничому приміщенні. Була розроблена технічна документація, структурна схема та функціональні схеми автоматизації, що дозволяють визначити склад необхідного обладнання.

У цій роботі була розроблена схема зовнішніх проводок, яка дозволяє зрозуміти систему передачі сигналів від пристроїв нижнього рівня (польового) на щит контрольно-вимірювальних приладів і автоматики та АРМ оператора. Для управління технологічним процесом були розроблені алгоритми пуску/зупинки технологічного обладнання.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ВИСНОВКИі</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Яних Д. І.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-21</i>		
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
						67	2

Розроблена математична модель системи та розраховані параметри налаштування регулятора за методом Циглера-Нікольса та автоматичним налаштуванням в пакеті Matlab з подальшою підстройкою параметрів вручну. Проведено аналіз системи при зовнішньому впливі температури. Система обробляє порушення та зберігає значення температури в приміщенні в межах 5% від уставки.

Таким чином, система може застосовуватися для регулювання та стабілізації параметрів мікроклімату в приміщенні. Використання трьох вузлів вимірювання в різних областях приміщення надає найбільш повну картину про параметри мікроклімату в приміщенні, що підвищує якість вимірювання. Завдяки реєстрації та управлінню витратами сировини теплоносія відбувається його ефективне використання.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sciencedirect: наукова електронна бібліотека: Швеція, 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621000414> (дата звернення: 10.05.2025).
2. Sciencedirect: наукова електронна бібліотека: Малайзія, 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340919308893> (дата звернення: 10.05.2025).
3. ПЛК160 контроллер для средних систем автоматизации с AI/DI/DO/AO: сайт. – URL: <https://www.owen.com/product/plk160> (дата звернення: 10.05.2025)
4. Simatik market интернет-магазин техники автоматизации Siemens: URL: <http://simatic-market/catalog/Siemens-CA01/10000732/info> (дата звернення: 10.05.2025)
5. DVP-SX2 Программируемые логические контроллеры Руководство по эксплуатации: URL: https://www.delta-electronics.info/content/files/DVP-SX2_manual.pdf (дата звернення: 10.05.2025)
6. Термогигрометр СЕМ DT-625: URL: https://novapribor.ru/catalog/temperatura_i_vlazhnost/termogigrometry/termogigrometr_cem_dt_625/ (дата звернення: 10.05.2025)
7. Plantower G3 PMS3003PM2.5 Датчик Модуль высокоточный детектор газового смога и пыли: URL: <https://p424953069-plantower-pms3003-lazer.html> (дата звернення: 10.05.2025)
8. Датчик пыли для лазерных частиц Plantower PMS9003M PM1.0 PM2.5 PM10 для качества воздуха: URL: <https://plantower-pms9003m-pm1-0-pm2-5-pm10-laser-particle-dust-sensor> (дата звернення: 10.05.2025)

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Яних Д. І.			СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ					Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Маринич І.А.										69	3
										КНУ АКІТ-21			
Н. Контр.		Маринич І.А.											
Затвердив		Маринич І.А.											

9. Электромагнитный расходомер ЭМИС-МАГ 270: URL: https://emis-kip./prod/elektromagnitnyj_rashodomer/#teh (дата звернения 25.04.2025).

10. RTD-04-PIPE. Термодатчик двухпроводный накладной на трубопровод: URL: <https://p266651147-rtd-pipe-termodashik.html> (дата звернения 25.04.2025)

11. Терморегулятор Eastec E-35 накладной с датчиком воздуха: URL: <https://p389953868-termoregulyator-eastec-nakladnoj.html?& primelead=NQ> (дата звернения 25.04.2025)

12. Радиатор биметаллический Rifar Alp 500 x10: URL: <https:// radiator-bimetallicheskii-rifar-alp-500-x10/126 44001/сpec?track=tabs> (дата звернения 25.04.2025)

13. Установка приточно-вытяжная Electrolux EPVS-200: URL: https://product-ustanovka_pritочно_vytyazhnaya_ele ctrolux_epvs_200/ (дата звернения 25.04.2025)

14. Фазовый регулятор напряжения цифровой 220В, 4000 Вт: URL: <https://kulibin.su/catalog/avtomatika/regulatory-napryazheniya-oborotov/ac 220 v/pwm-na-4kv.html?r1=yandext&r2=&ymclid=16215885550580 434298600009> (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.

15. Водяной нагреватель WHC 400*400-2: URL: https:// /product-vodyanoy_nagrevatel_whc_400_400_2/ (дата звернения 25.04.2025)

16. Ультразвуковой увлажнитель воздуха ГТ-1,6 настенный - для офиса, лабораторий и больших помещений: URL: <https://par-tuman/uvlazh nitel-dlia-ofisa?Itemid=118> (дата звернения 25.04.2025)

17. Par-Tuman ГТ-5,0: URL: <https://Par-Tuman-gt-5,0/> (дата звернения 25.04.2025)

18. Par-Tuman PT-60: URL: <https://Par-Tuman-PT-60/> (дата звернения 25.04.2025)

19. Частотные преобразователи: [https://nsk/katalog/invertors/frequency_converters/?filter=true&cost_slider=0,61419&pri ce=0,61419&attribute_115\[0\]=0.4](https://nsk/katalog/invertors/frequency_converters/?filter=true&cost_slider=0,61419&pri ce=0,61419&attribute_115[0]=0.4) (дата звернения 25.04.2025)

20. Динамические свойства асинхронных исполнительных двигателей: URL: <https:// theory/electromach/lecture 18.html> (дата звернения 25.04.2025)

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

21. Ханнанова В. Н. Математическая модель системы регулирования температуры внутри помещения: URL: <https://article/n/matematicheskaya-model-sistemy-regulirovaniya-temperatury-vnutri-pomescheniya/viewer> (дата звернення 25.04.2025)

22. Попович М. Г., Кострицький В.В. Електромеханічні системи автома-тизації та електропривод (теорія і практика) : навчальний посібник. : КНУТД, 2008. 408 с.

23. СНиП 2.04.05-91У: 1996. Отопление, вентиляция и кондиционировнаие. Киев. КиевЗНИИЭП 1996. 89 с.

24. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.

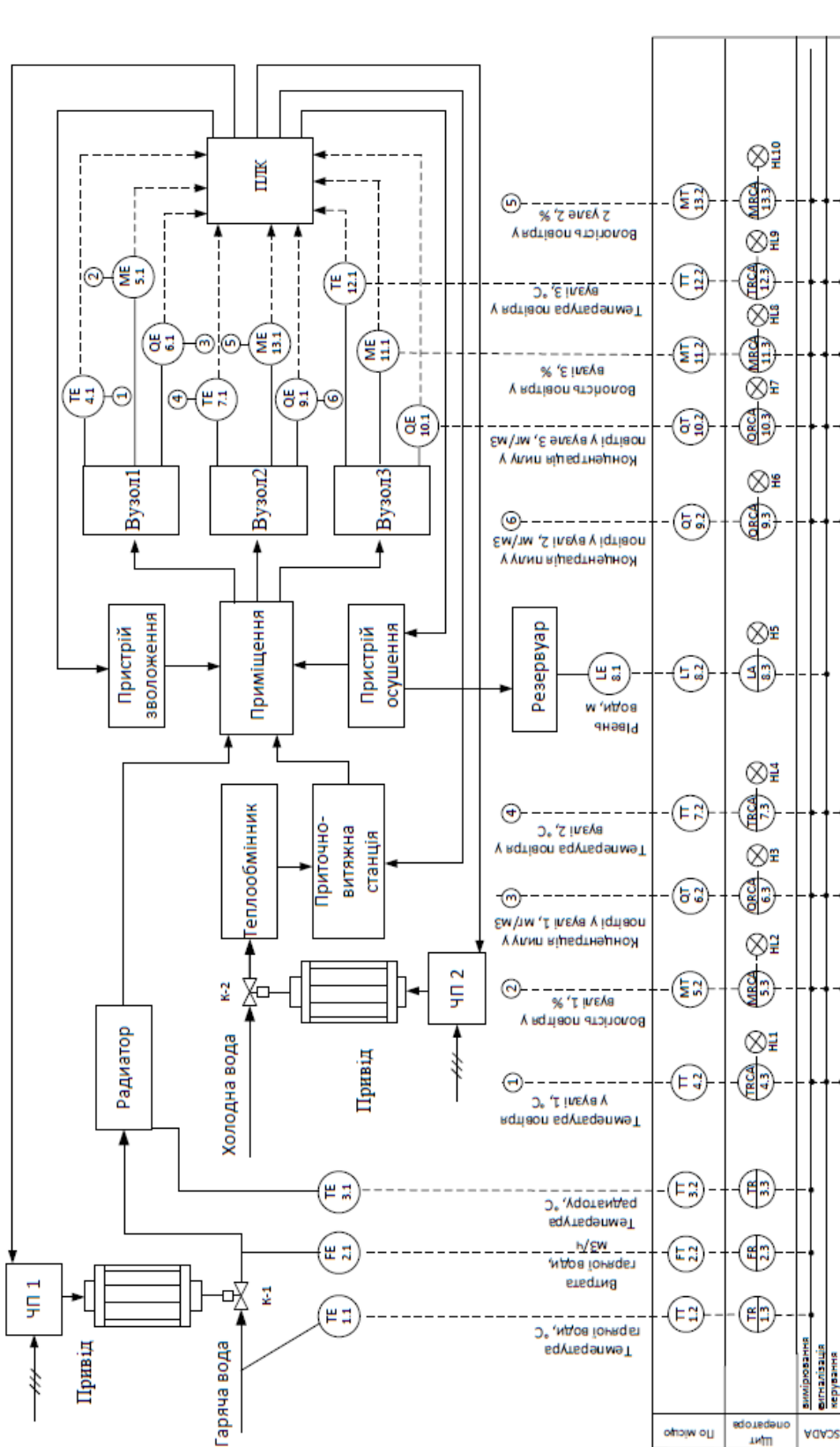
25. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

26. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

27. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація)

28. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація)

Функціональна схема автоматизації



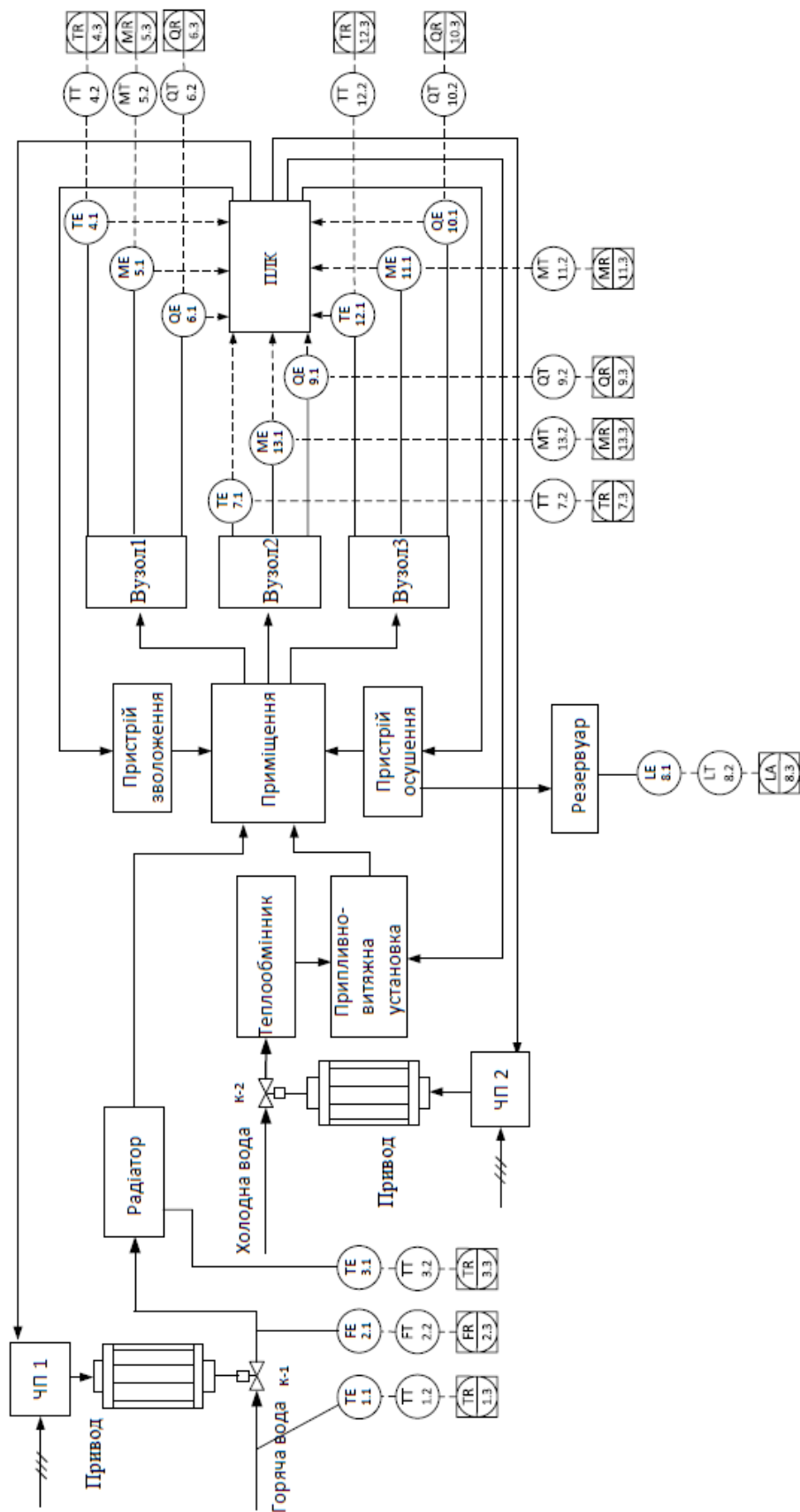


Схема принципова електричних з'єднань

