

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Освітнього ступеня "магістр"
на тему:

Комп'ютерна-інтегрована система клімат-контролю виробничих цехів
підприємства / Computer-integrated system of climate control of production
workshops of the enterprise

Виконав студент групи АКІТм-21
Партола Ілля Ігорович

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

Тернопіль2024

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"
Спеціальність – 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Партолі Ільї Ігоровичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Комп'ютерна-інтегрована система клімат-контролю виробничих цехів підприємства / Computer-integrated system of climate control of production workshops of the enterprise.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

Затверджені наказом по університету від 12 грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

02 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Аналіз та дослідження різновидів систем кондиціонування та вентиляції.

2. Модуль управління автоматизованою системою клімат-контролю.

3. Підвищення ефективності роботи адаптивної системи регулювання температури.

4. Математична модель системи регулювання температури для АСУ.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Дослідження комп'ютерно-інтегрованих систем клімат-контролю на виробництві.

2. Обґрунтування вибору елементної бази для реалізації автоматизованої системи клімат-контролю виробничого цеху.

3. Підвищення ефективності роботи адаптивної системи регулювання температури.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна схема автоматизованої системи клімат-контролю виробничого цеху.

2. Структурна схема модуля управління автоматизованою системою клімат-контролю.

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		
2	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		
3	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження комп'ютерно-інтегрованих систем клімат-контролю на виробництві	12.2023р. – 02.2024р.	виконано
2	Обґрунтування вибору елементної бази для реалізації автоматизованої системи клімат-контролю виробничого цеху	03.2024р. – 06.2024р.	виконано
3	Підвищення ефективності роботи адаптивної системи регулювання температури	07.2024р. – 11.2024р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату та виправлення недоліків	11.2024р. – 12.2024р.	виконано

Студент

(підпис)

Партола І.І.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент Албанський І.Б.

АНОТАЦІЯ

Партола І.І. Комп'ютерна-інтегрована система клімат-контролю виробничих цехів підприємства. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» - Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2024.

У роботі: досліджено різновиди автоматизованих систем вентиляції та клімат-контролю промислових об'єктів; проаналізовано етапи проектування систем клімат-контролю для виробничих приміщень; розроблено структуру та реалізовано контур регулювання АСУ; реалізовано модуль управління автоматизованою системою вентиляції; обґрунтовано засобів автоматизації; розроблено математичну модель системи регулювання температури для АСУ вентиляцією та кондиціонування; представлено адаптивну систему регулювання температури конденсату рекуператора.

ANNOTATION

Partola I.I. Computer-integrated system of climate control of production workshops of the enterprise. - Manuscript.

Research for obtaining a master's degree in the specialty - 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics", educational and professional program - "Automation and computer-integrated technologies" - Western Ukrainian National University. Ternopil, 2024.

In the work: varieties of automated ventilation and climate control systems of industrial facilities were investigated; the stages of designing climate control systems for industrial premises are analyzed; the structure was developed and the ACS regulation circuit was implemented; the control module of the automated ventilation system was implemented; automated means are substantiated; a mathematical model of the temperature control system for automatic ventilation and air conditioning was developed; an adaptive system for regulating the temperature of the recuperator condensate is presented.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1. ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ НА ВИРОБНИЦТВІ	9
1.1 Аналіз різновидів систем кондиціонування та вентиляції	9
1.2 Автоматизовані системи клімат-контролю промислових об'єктів	16
1.3 Етапи проектування та розробки АСУ клімат-контролю підприємства	22
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЛІМАТ- КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ	29
2.1 Розробка структури та реалізація контура регулювання автоматизованої система клімат-контролю	29
2.2 Розробка модуля управління автоматизованою системою вентиляції на базі програмовано-логічного контролера	35
2.3 Обґрунтування вибору обладнання АСУ	40
2.3.1 Вибір сенсорних елементів та виконавчих механізмів	40
2.3.2 Вибір ПЛК високої надійності	46
3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ	49
3.1 Розробка математичної моделі системи регулювання температури для АСУ вентиляцією та кондиціонування	49
3.2 Адаптивна система регулювання температури конденсату рекуператора	54
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А	67

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУО - автоматизована система управління опаленням;

СО – система опалення;

СКУД - система контролю і управління доступом;

АСУ – автоматизована система управління;

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

ОК – об'єкт керування;

СЖБ - системи життєзабезпечення;

ПІД - пропорційно-інтегрально-диференціальний;

ОМС – оператор-моніторингова система.

ВСТУП

Актуальність теми. Автоматизовані системи вентиляції та кондиціонування, або іншими словами кажучи системи клімат-контролю широко застосовуються у всіх типах приміщень, а яких необхідно створити необхідні умови руху та якості повітря, при цьому не роблячи фінансових витрат на обслуговуючий персонал та вартість зайво витраченої електроенергії. Такі системи чудово підійдуть для регулювання тепла та холоду, за рахунок їх автономності вони зможуть вводити та виводити з робочого стану всю систему вентиляції при нештатних чи аварійних ситуаціях.

У сучасних вентиляційних системах спільно працюють вентилятори, фільтри, насоси, клапани, електричні нагрівачі, рекуператори енергії та багато інших пристроїв. Вихід з ладу будь-якого з них за відсутності контролю може призвести до лавиноподібного наростання неполадок. Наслідком цього може стати вихід вентиляції з ладу, необхідність дорогого ремонту.

З метою коректної роботи даної системи і для досягнення суттєвої економії коштів на електроенергії, на електрощити виносяться основні контрольні прилади. Дана електроніка дозволяє аналізувати та записувати поточний стан усієї автоматизованої системи вентиляції. Всі сенсори необхідно розташовувати не тільки в системах приливних вентиляцій, а також у комбінованих системах опалення та кондиціонування. За допомогою даних сенсорів існує можливість відстеження вологості притоку повітря, температурні параметри води (конденсату), а також виставити необхідні значення тиску при подачі повітря в повітряні камери.

Саме тому на автоматику покладаються як завдання управління устаткуванням, а також контролю його стану – справності, режимів роботи тощо. Автоматика припливної вентиляції забезпечує подачу у потрібних обсягах вуличного повітря, контролює його температуру. Автоматика

витажної частини може забезпечувати як видалення забрудненого повітря, а й контролювати справність рекуператора енергії.

Таким чином, сучасні системи управління не тільки забезпечують функціонування вентиляційної системи в автоматичному режимі, а й захищають обладнання у разі виникнення нештатних ситуацій. Крім того, їх використання дозволяє зменшити витрати енергії, знизити витрати на обслуговування, підвищити рівень безпеки.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження проектування автоматизованої системи клімат-контролю виробничих приміщень та розробка адаптивної системи регулювання температури у рекуператорі.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно:

- проаналізувати відомі методи та математичні моделі адаптивних систем регулювання температури в автоматизованих системах управління (АСУ);
- дослідити існуючі системи клімат-контролю виробничих цехів підприємств;
- проаналізувати елементну базу та структури автоматизованих систем вентиляції та кондиціонування, апаратне та програмне забезпечення;
- розробити структуру автоматизованої системи клімат-контролю виробничих приміщень;
- обґрунтувати вибір елементної бази запропонованої автоматизованої системи;
- розробити математичну модель системи регулювання температури конденсату рекуператора АСУ;
- дослідити роботу адаптивної системи регулювання температури рекуператора АСУ вентиляції і кондиціонування.

Об'єкт дослідження: процеси автоматизації та контролю за температурними параметрами конденсату рекуператора АСУ клімат-контролю виробничих приміщень.

Предметом дослідження є автоматизована система клімат-контролю виробничих цехів підприємства.

Наукова новизна одержаних результатів: реалізовано математичну модель системи регулювання температури автоматизованої системи та досліджено роботу адаптивної системи контролю температурних параметрів рекуператора запропонованої АСУ шляхом використання ефективних способів обробки сигналу, що забезпечує ефективну роботу системи клімат-контролю у виробничих цехах, це в свою чергу дозволяє ефективніше і раціональніше використовувати енергоресурси на підприємстві.

Практичне значення отриманих результатів: гнучкість, простота та технічна можливість масштабування приливно-витяжних систем вентиляції запропонованої автоматизованої системи на виробництві, що дозволяє покращувати безпеку, роботу і комфорт людей на виробництві.

Апробація. На основі досліджень підготовлено та опубліковано 2 тези доповідей на наукових конференціях (додаток А).

1. ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ НА ВИРОБНИЦТВІ

1.1 Аналіз різновидів систем кондиціонування та вентиляції

Системи вентиляції та кондиціонування забезпечують комфортні умови для перебування у приміщенні. Без таких пристроїв досягти бажаної температури та повітряної циркуляції майже неможливо. Тому на кожному підприємстві, фабриці та інших комерційних закладах наявність систем кондиціонування та вентиляції є обов'язковою, адже підвищуючи умови праці, підвищується продуктивність співробітників, а також створюються комфортні умови для відвідувачів.

Система вентиляції відповідає за повітрообмін у приміщенні та призначена для створення задовільних параметрів кліматичної складової, а система кондиціонування є системою з великими можливостями. Для більшого ефекту організації комфортних умов клімату дані системи зазвичай використовують разом.

Існує три типи вентиляції: приливна, витяжна та приливно-витяжна. Приливна відповідає за подачу свіжого повітря до приміщення, а витяжна вентиляція – за його видалення. У свою чергу, приливно-витяжна вентиляція забезпечує повний повітрообмін у приміщенні.

У свою чергу будь-яка із систем може бути [1]:

- загальнообмінними, такі системи служать для рівномірної подачі повітря по всьому об'єму приміщення, а також для рівномірного виведення з нього;
- місцевими, системи призначені для видалення повітряної маси з місць скупчення забруднюючих речовин, не створюючи умов їхнього поширення у всьому приміщенні.

За способом руху повітряного потоку системи діляться на природні та механічні, або примусові. Важливо розуміти, що під час роботи

вентиляційної системи будь-якого виду відбувається зміна повітря. Темп провітрювання залежить від площі приміщення та швидкості циркуляції.

Природна вентиляція має низький рівень шуму і відсутність будь-яких механізмів створення чи регулювання потоків. Її дія обумовлена силою вітру та гравітаційним тиском, який виникає через різницю щільності внутрішнього та зовнішнього повітря. Усередині приміщення повітря має високу температуру, а отже меншу вагу та щільність. Повітрообмін здійснюється через віконні та дверні пройоми, або через трубопровід вертикальної вентиляційної шахти.

Принцип роботи механічної вентиляції, на відміну від природної, не схильний до впливу метеорологічних умов. Така вентиляція з високим ступенем ефективності здатна переміщувати великі обсяги повітря на значні відстані та піддавати його різним видам обробки: очищення, обігрів, охолодження, осушення і, навпаки, зволоження повітря. Крім того, вона має низький рівень шуму, це в середньому 30-35 дБ.

Основна відмінність системи кондиціонування від вентиляції полягає в тому, що кондиціонер підтримує мікроклімат у приміщеннях, автоматично його регулюючи. На відміну від вентиляції, кондиціонери мають низку переваг, які пов'язані з обробкою повітряної маси. За способом розташування можуть бути місцевими та центральними.

Центральне кондиціонування - система, керуючий елемент якої встановлений в окремому приміщенні та забезпечує теплом або холодом від зовнішніх джерел. Може обслуговувати одне чи кілька приміщень. Система може включати різні фільтри очищення, вентилятори, рекуператори, охолоджувальні та нагрівальні секції. Загальний вигляд такої системи представлений на рисунку 1.1.

Місьцеве кондиціонування це коли система встановлена в приміщенні, наприклад, спліт-система. Такі пристрої досить просто монтувати та обслуговувати. Роботу кондиціонера обумовлює механізм який складається з двох блоків: внутрішнього та зовнішнього.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд і компоновка системи центрального кондиціонування

Принцип роботи внутрішнього блоку кондиціонера полягає в подачі освіжаючого потоку до приміщення. У цьому блоці також містяться фільтри для очищення повітря від пилу та бактерій. Зовнішній модуль знаходиться зовні будівлі, на вулиці (рисунок 1.2). У ньому знаходиться компресор для стиснення холодоагенту, який із рідкого стану переходить у газоподібний. Потім охолоджений фреон по мідних трубах надходить у внутрішній модуль. Там він надходить на радіатор, який передає температуру до приміщення.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд і компоновка системи місцевого кондиціонування

Наявність у виробничих та обслуговуючих приміщеннях систем вентиляції та кондиціонування забезпечує гарне самопочуття співробітників та високу їх продуктивність. Більше того, наявність додаткової обробки повітря сприяє покращенню здоров'я. Адже ні для кого не секрет, що чисте повітря особливо важливе під час роботи на фабриці чи підприємстві.

На сьогоднішній день ринку велика кількість систем вентиляції та кондиціонування з повним комплектом найрізноманітнішого обладнання. В процесі вибору системи кондиціонування та вентиляції треба звертати увагу на наявність функцій обігріву, охолодження, очищення, осушення та зволоження повітря і інші. Найпоширенішими моделями на ринку є: Eurohoff EVR-09i, Eurohoff EVR-12i, Eurohoff EV-07A AUX. Ці кондиціонери працюють у чотирьох режимах, включаючи охолодження, підігрів, вентиляування та осушення повітря [1, 2].

Позитивний вплив на здоров'я людини вентиляція буде тільки в тому випадку, якщо вона буде забезпечена додатковими елементами фільтрації, оскільки повітря, яке береться ззовні, містить величезну кількість шкідливих бактерій. Важливо пам'ятати про своєчасне обслуговування систем, оскільки кондиціонери та пристрої вентиляції можуть давати зворотний від корисного ефект. Щоб обладнання безперебійно служило справно і приносило тільки користь, потрібно продумати, який тип техніки вибрати і як його встановити і доглядати за ним. Тому підібрати необхідний пристрій мікроклімату в офіс, квартиру, кафе, ресторан чи майстерню потрібно врахувати ряд вимог та умов до обладнання. Самостійно вибрати кондиціонер чи вентиляційне обладнання можна лише у приміщення з невеликою площею. Великі будинки передбачають планування установки вентиляції та кондиціонування ще на початкових етапах будівництва.

При виборі побутової моделі краще порадитися з фахівцями компанії, що продає таке обладнання. Роботи з монтажу потрібно проводити лише з кваліфікованими фахівцями, оскільки необхідно врахувати усі важливі

моменти під час встановлення техніки. Після складання обладнання потрібно перевірити на герметичність та здійснити діагностику.

Системи вентиляції та кондиціювання є основними помічниками в організації комфортного мікроклімату на будь-якому підприємстві, в магазині та вдома. Вони сприяють підвищенню робочої ефективності співробітників, а за наявності спеціальних секцій для фільтрації повітря - і зовсім знизити ризики захворювання від шкідливих бактерій, що наявні у повітрі. За будь-яким типом обладнання необхідний догляд, оскільки занедбаність може призвести до дорогих поломок, а також утворення забруднень всередині повітровідних магістралей. Тому платити і вчасно проводити сервісне обслуговування дешевше та вигідніше, ніж платити за ремонт.

Кондиціонер на сьогоднішній день є одним з пріоритетних елементів систем вентиляції та клімат-контролю. Тому розглядаючи кондиціонер в контексті автоматизованої системи це є замкнутий контур, що складається з компресора, випарника, вентиляторів, вентилів і сполучних комунікацій, по яких циркулює хладагент (фреон) (рисунк 1.3).

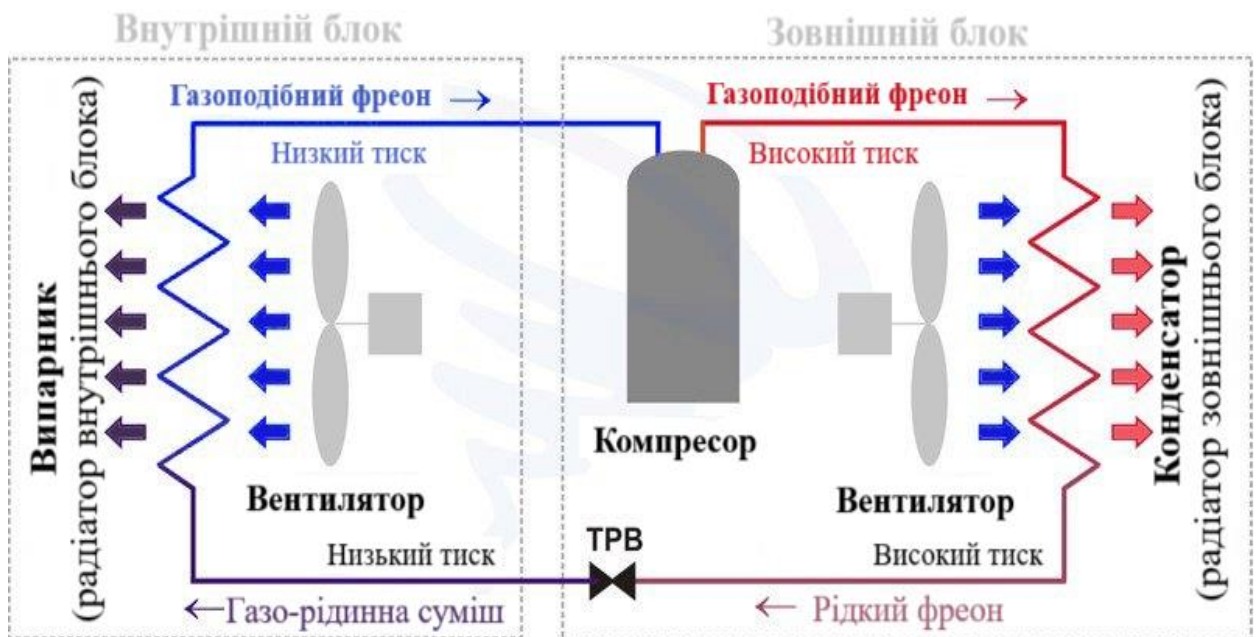


Рисунок 1.3 – Загальна структура кондиціонера

Принцип роботи кондиціонера полягає в тому, що на вході компресора є фреон низького тиску, за рахунок роботи, що здійснюється компресором, газоподібний фреон стискається і на виході з компресора виходить холодоагент під високим тиском, який направляється в конденсатор (радіатор зовнішнього блоку), де за рахунок теплообміну з атмосферним повітрям відбувається перехід фреону в рідкий агрегатний стан (конденсація). Наступним кроком рідкий фреон прямує у випарник, попередньо пройшовши через терморегулюючий вентиль, де відбувається зниження тиску. У випарнику, забравши тепло у «внутрішнього» повітря, фреон знову стає газоподібним і таким чином цикл замикається.

За методом регулювання температури кондиціонери поділяються на два види:

- інверторні;
- не інверторні.

Принцип дії не інверторного кондиціонера полягає в тому, що пристрій запускається і спеціальний сенсор вбудований у внутрішній блок, вимірює температуру в приміщенні та порівнює її із заданою (бажаною) температурою. Якщо дані температури різні, то в роботу включається компресор (відразу на постійній та повній потужності), при тому, що тоді повітря в приміщенні набуває встановлених параметрів. Після чого компресор вимикається і працює тільки вентилятор внутрішнього блоку, який перемішує кімнатне повітря. Як тільки сенсори внутрішнього блоку зафіксують певну зміну температури, в роботу знову вмикається компресор, і так по колу.

Під час роботи кондиціонера такого типу температура у виробничих приміщенні може коливатися у певному діапазоні температур (приблизно 3°C). Компресор в такому разі або вимкнено, або працює з повною потужністю, за період великої послідовності вмикання/вимикання компресора відбувається значно більше споживається електричної енергії, і відповідно заданий температурний діапазон досягається значно повільніше.

Альтернативою цьому є кондиціонер інверторний. Саме слово «інверторний» говорить саме за себе, кондиціонери даного типу мають у своєму ланцюгу управління інвертори. Інвертор – це пристрій, який служить для перетворення постійного струму на змінний. Змінний струм мережі потрапляє в електричний фільтр, де пригнічуються небажані шуми та згладжуються різкі стрибки напруги. Потім «чистий» змінний струм синусоїдального характеру потрапляє у випрямляючий блок, де відбувається виділення його постійної складової, яка приводиться до потрібних параметрів струму та напруги. Інвертор в процесі роботи з постійної напруги отримує трифазну змінну напругу для живлення компресора. Таким чином, компресор працює плавно та безперервно, змінюючи потужність.

При включенні інверторного кондиціонера сенсор здійснює вимірювання температурного параметра у приміщенні. Наступним вмикається компресор, що працює вже в повну потужність (так як у звичайних кондиціонерах) і автоматичний режим вибирає відповідний (оптимальний) рівень потужності компресора, необхідний для охолодження чи нагрівання повітря в приміщенні. Відповідно як тільки температура досягне заданого рівня, компресор не запускається, а працює в режимі пониженої потужності, завжди підтримуючи задану температуру. Параметри кондиціонери є менш енергозатратними (економія електричної потужності становить близько 30%), відповідно вони є вищими в ціні. Для інверторних систем кондиціювання не припустимо температурні стрибки в процесі своєї роботи і також набагато швидше виходять на заданий температурний рівень у приміщенні. А також завдяки плавній та безперебійній роботі компресора такі кондиціонери є довговічнішими (безперебійний режим роботи компресора нівелює згубний вплив пускових струмів) [3].

1.2 Автоматизовані системи клімат-контролю промислових об'єктів

Для будівель та приміщень з високими вимогами до точності підтримки параметрів клімату, зонуванням та високими вимогами до надійності, такі як, наприклад, серверні або спеціалізовані склади та логістичні хаби для фармацевтичної та харчової індустрії, а також інших об'єктів представлені АСУ на світовому ринку технологічних розробок базуються на базі ПЛК Siemens із сенсорними панелями (локальне управління) та віддаленим доступом через Web через інтернет або SCADA систему.

Так як кліматичне обладнання подібних об'єктів часто вимагає значних електричних потужностей та гарантованого електропостачання, пропонована нами комплексна автоматизація може включати [4]:

- централізоване та ефективне управління кліматичними установками в різних зонах, боксах, камерах та ін.;
- контроль та автоматизоване керування гарантованим живленням кліматичних установок та безперебійне живлення серверної через ББЖ (безперебійний блок живлення), у тому числі, живлення з 2-х ліній, а також автономного генератора або системи декількох генераторів.

Зважаючи на можливості центрального управління – оптимізацію енергоспоживання з рознесенням за часом при живленні від генератора для економії палива та використання генераторних установок меншої потужності (рисунки 1.4). Диспетчеризацію та візуалізацію інших пристроїв у загальній SCADA-системі, у тому числі раніше встановлених (за наявності техніко-економічної доцільності); Надсилення повідомлень по e-mail та SMS при настанні аварій або налаштованих подій. Відмовостійкі архітектури АСУ ТП, що дозволяють навіть при критичних помилках та механічних несправностях (наприклад, замикання в лінії датчиків або живлення або навіть вихід з ладу

центрального контролера) продовжити функціонування з мінімальними негативними наслідками.



Рисунок 1.4 – Модуль центрального управління та диспетчеризації SCADA-системи клімат-контролю

Централізація та автоматизація управління вентиляційною системою дозволяє прийти до скорочення витрат на електропостачання та підвищення надійності функціонування. Ефективність використання автоматизованої системи вентиляції на промислових об'єктах дозволить підвищити ефективність працівників на робочих місцях, тим самим створюючи комфортні умови для праці.

Вентиляційне обладнання розподіляється за такими функціональними блоками:

- звичайна вентиляція;
- протипожежне вентиляційне обладнання;
- кондиціонування повітря.

Часто в будинках використовується модульний підхід до монтажу обладнання. Кожен необхідний елемент купується та монтується окремо, як самостійно функціонуюча одиниця: калорифери, фільтри, димарі, вентилятори та інші. Таким чином, обслуговування кожної з частин, не замкнених в систему, проводиться окремо. На початковому етапі, наприклад,

на момент будівництва або обладнання внутрішніх комунікацій будівлі, ціна модулів буде вигіднішою. Однак в обслуговуванні розрізнені блоки завжди дорожчі. Встановити шафу управління вентиляцією – значить об'єднати елементи в систему та керувати нею з єдиного диспетчерського пульта.

До основних переваг централізації управління вентиляційними комплексами відносять [5]:

- економію електроенергії за рахунок точного ПІД регулювання режимів, підтримки оптимальної температури, вологості;
- можливість використовувати різні режими на різних поверхах або приміщеннях;
- регулювати температуру при нерівномірному нагріванні чи охолодженні фасадів будівлі;
- скорочення витрат на утримання та обслуговування.

Єдина вентиляційна система будівлі включає у свою структуру ряд елементів. Основними компонентами, що входять до шафу управління вентиляцією є (рисунки 1.5):

- сенсори вимірювання тиску, температури, вологості, що фіксують основні параметри атмосфери в приміщенні (пристрої фіксують інформацію в реальному часі);
- регулятори керують виконавчими процесами згідно з інформацією, що надходить з сенсорів;
- пристрої вводу дозволяють вносити, додавати необхідні дані до комп'ютера (ПЛК);
- контролери – безпосередньо керуючі елементи;
- виконавчі механізми – приводи, змішувальні вузли (поділяються за напрямками на електричні, пневматичні, гідравлічні).

Основні завдання, які має вирішувати автоматика на вентиляційному устаткуванні це є: регулювати обертання вентилятора, його прискорення чи уповільнення; захищати калорифер від замерзання; працювати за принципом клімат-контролю, підтримуючи задану температуру в будівлі, приміщеннях,

повітропроводах; підтримувати певний режим вологості; сигналізувати про забруднення фільтрів; запобігати можливим аварійним ситуаціям.

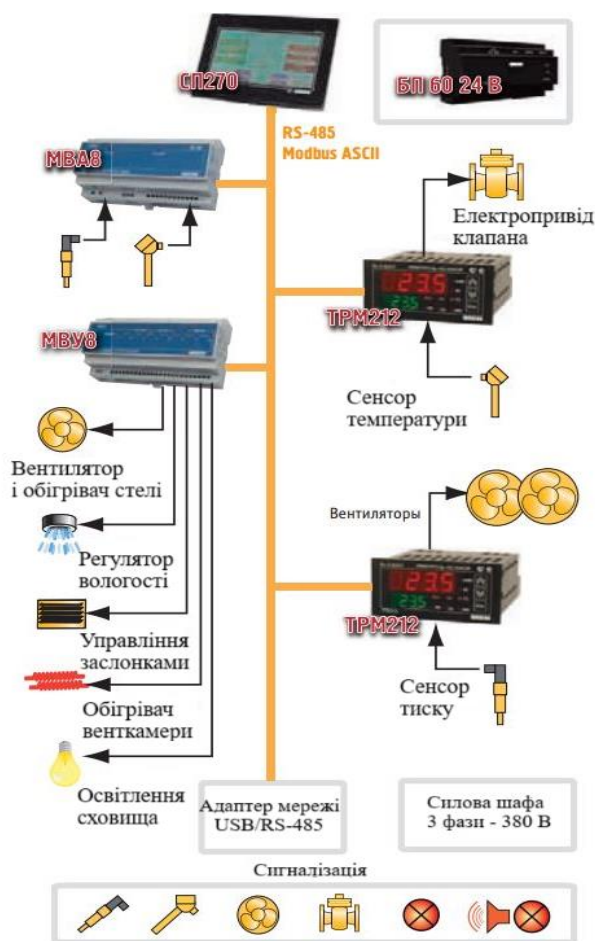


Рисунок 1.5 – Структура компонентної (елементної) бази єдиної вентиляційної системи

Управління автоматизованою системою за допомогою сенсорної панелі дозволяє уявити обладнання у вигляді пов'язаних та інтуїтивно зрозумілих схем, розділити паролями рівні доступу, зробити однією кнопкою відновлення параметрів до налаштованих при налагодженні та інші сучасні та зручні функції. При цьому при великій кількості обладнання сенсорна панель ще й виграє щодо кнопочового інтерфейсу у вартості. Таким чином на кнопки залишаються традиційні команди пуску та зупинки.

Інтерфейс головної панелі може бути повністю або частково дубльований на диспетчерському щиті, у програмі на персональному

комп'ютері або його основні функції передані за універсальними протоколами Modbus/Profinet у загальну систему Scada.

Системи управління вентиляцією, що поставляються спеціалізованими фірмами, як правило працюють у повністю автоматизованому режимі і оператору залишається тільки контролювати з панелі необхідність заміни фільтрів, напрацювання годинників і діагностичні повідомлення обладнання. Так, у загальну панель щита автоматики можуть бути підключені пов'язані установки, що мають технічну можливість віддаленого керування (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Загальна компоновка АСУ, головна шафа управління системи

Окрім автоматичного режиму, з можливістю підстроювання оператором параметрів у вузькому цільовому діапазоні, у кожній системі реалізується ручний та, як правило, захищений паролем режим керування для обслуговування.

Регулювання та економічність АСУ обумовлюється ефективністю роботи – підтримкою мікроклімату у виробничих цехах та складах підприємства. Оскільки основними енерговитратами в холодну пору року є

обігрів і в тому числі підігрів припливного повітря, в системах автоматики використовується [5, 6]:

- максимально точне ПД-регулювання (порівняно ПІ регулювання з неминучим коливанням температур);

- автоматичне обчислення коефіцієнтів регулювання за місцем експлуатації у конкретній вентиляційній системі (ПЗ самостійно обчислює вплив інертності нагрівачів, витрата повітря, інертність приміщення та сенсора – все для того, щоб енергії витрачалося рівно стільки, скільки необхідно);

- рекуперація теплової енергії від компресорів та іншого тепловиділяючого обладнання, якщо це технологічно виправдано у конкретній задачі.

Обладнання, що використовується для створення оптимального клімату в будівлі, різноманітне і є декілька самостійних систем: теплопостачання, кондиціонування, вентиляція, вологість, освітленість. Завдання автоматизованої системи управління – об'єднати функціонування всіх цих систем відповідно до заданого режиму. В ідеалі АСУ інтегрується в систему управління вищого порядку – SCADA, що дозволяє отримувати звіти про роботу системи та аналізувати їх, виділяти можливості економії ресурсів та більш раціонального використання обладнання.

Автоматизована система управління кліматом отримує інформацію з найрізноманітніших параметрів у різних зонах одного об'єкта в реальному часі. Автоматичне управління може орієнтуватися на показання сенсорів або заданий розклад, або те й інше відразу. Складність полягає в тому, що оптимальні показники, які має підтримувати АСУ, різні в різний час, у різних зонах об'єкта та залежать як від внутрішніх, так і зовнішніх умов. Найпростішим прикладом впливу зовнішніх умов може бути робота освітлення в режимі день – ніч відповідно до тривалості світлового дня, що змінюється протягом року. Внутрішні технологічні процеси можуть вимагати регулярного зміни параметрів. Наприклад, зниження температури та

підвищення вологості в період закладання бутонів у квіткових теплицях. Все це вимагає особливої уваги до розробки програмного забезпечення відповідно до індивідуальних умов на об'єкті замовника.

Вимоги до клімату контролю сьогодні пред'являються практично скрізь, відповідно, в регулюванні клімату використовується нескінченний модельний ряд техніки та обладнання. Отже, для контролю та управління різноманітним обладнанням АСУ знадобляться ОРС-технології та відкриті бази даних, які дозволять підключити до системи будь-яке обладнання. ПЗ із застосуванням ОРС буде універсальним та незалежним від апаратної частини. Такі програмно-апаратні системи сприяють поширенню автоматизації у сфері контролю клімату і роблять її доступнішими. Можливості бездротового керування та віддаленого доступу роблять автоматичні системи клімат контролю незамінними сучасними засобами створення комфортного простору.

1.3 Етапи проектування та розробки АСУ клімат-контролю підприємства

Є галузі промисловості, у яких потреба клімат-контролю очевидна: це фармацевтика, тепличне господарство, виробництво та зберігання продуктів харчування. Однак клімат-контроль не менш важливий і в машинобудуванні, де існують досить жорсткі нормативи, запроваджені різними державними і міжнародними стандартами, в свою чергу температура та вологість приміщення залежить від виду виробництва. Оптимальні параметри для виробничих та громадських приміщень, що регламентують температуру та вологість у промислових цехах та на складах. Різкі перепади температури сприяють випаданню конденсату на металевих поверхнях, що викликає корозію, тому в приміщеннях у будь-який час доби необхідно дотримуватись певного температурно-вологісного режиму. Так, якщо виробництво працює з міддю, то її підвищена чутливість до впливу вологи призводить до

додаткових витрат при знятті оксидів, що виступають на поверхні заготовок, а олово руйнується за екстремально низьких температур – і таких прикладів можна навести багато. Крім експлуатації та зберігання, температурний фактор має велике значення у самому виробничому процесі, оскільки при підвищенні температури метал розширюється, а наприклад, у точному машинобудуванні роль грають і кілька мікронів. Не менш ніж метали, чутливі до умов зберігання гумотехнічні вироби, для яких несприятливі перепади температури, перегрів (при якому настає стан перевулканізації) та прямі сонячні промені (ультрафіолет), від яких відбувається їх деградація.

Підприємство - це об'єкт, на території якого працює безліч людей та велика кількість різного обладнання. У процесі експлуатації верстатів та механізмів температура повітря у внутрішніх приміщеннях підприємства може суттєво збільшуватися та досягати вкрай несприятливих для експлуатації об'єкта величин.



Рисунок 1.7 – Кондиціонування і вентиляція виробничих цехів підприємства

Проектування кондиціонування на підприємстві – складне завдання, спеціалістам потрібно буде врахувати велику кількість різних факторів, які можуть впливати на температурні умови у внутрішніх приміщеннях. Щоб фахівці змогли підготувати грамотний проект кондиціонування, їм знадобляться різні вихідні дані. До початку проектування власник об'єкта має

скласти технічне завдання та передати його фахівцям проектного підприємства.

Проектування систем кондиціювання виробничих приміщень вимагає відповідального підходу до поставленої задачі з набором вихідних параметрів і умов. Проектування - це комплексний і багатогранний процес, що вимагає врахування багатьох факторів. До ключових етапів розробки АСУ клімат-контролю відносять [7]:

- аналіз, оцінка об'єкта (спочатку проводиться детальний аналіз виробничого будинку, включаючи його площу, висоту стель, конструктивні особливості, характер роботи, наявність устаткування, перешкод, дана інформація дозволяє визначити обсяг повітря, яке необхідно кондиціонувати, виділити найефективніші рішення);

- визначення вимог (інженери враховують вимоги замовника, включаючи бажану температуру, вологість та якість повітря у приміщенні, це важливо, оскільки різні виробництва можуть мати різні стандарти мікроклімату);

- вибір кліматичної техніки (на основі аналізу та вимог вибираються спліт-системи, чилери, фанкойли та інше обладнання, при цьому враховуються такі параметри: потужність, ефективність, типи холодоагентів, інші технічні параметри);

- проектування розподілу повітря (інженери розробляють схему розподілу повітря, визначаючи розташування внутрішніх блоків, повітроводів, витяжних і припливних пристроїв для забезпечення рівномірного розподілу кондиціонованого повітря, ефективності роботи кліматичної техніки);

- врахування енергоефективності (сучасні системи проектуються з упором на енергоефективність, Інженери вибирають обладнання з високим коефіцієнтом ефективності (EER, COP), а також розглядають можливість використання поновлюваних джерел енергії);

- безпека, дотримання держаних та міжнародних норм (проектування включає дотримання пожежних норм, норм безпеки, а також стандартів СНіП та ДСТУ, щоб гарантувати безпечну експлуатацію кондиціонерів);

- інтеграція (при необхідності інженери можуть інтегрувати систему кондиціонування з іншими інженерними мережами, такими як: вентиляція, опалення, освітлення, безпеки та інше);

- монтаж, налаштування (після розробки проекту кондиціонування та вибору обладнання відбувається монтаж системи, включаючи встановлення внутрішніх та зовнішніх блоків, повітроводів, трубопроводів та інших компонентів, пізніше проводиться налаштування системи для досягнення бажаних параметрів мікроклімату);

- тестування, пусконаладження (після встановлення обладнання проводиться тестування та пусконаладження для перевірки її працездатності, відповідності заданим параметрам у процесі пусконаладження інженери налаштовують роботу устаткування, перевіряють стабільність роботи системи у різних режимах, і навіть виконують випробування визначення ефективності, продуктивності);

- навчання, інструктування (після успішного пусконаладження інженери навчають персонал роботі з системою, цей етап включає демонстрацію роботи, пояснення налаштувань, а також навчання в частині експлуатації обладнання);

- супровід, обслуговування (системи промислового кондиціонування потребують регулярного професійного обслуговування, технічної підтримки, Постійного моніторингу, очищення фільтрів, перевірки наявності витоків та інші профілактичні заходи, що дозволяють підтримувати високу ефективність, надійність роботи обладнання протягом усього терміну служби.

- документація, звітність (важливою частиною процесу є складання документації, включаючи схеми, креслення, специфікації обладнання,

технічні паспорти та інші документи, це дозволяє зберегти повну інформацію про систему для майбутньої експлуатації, обслуговування, модернізації).

Виробничий процес передбачає викид великої кількості гарячого повітря, яке відбувається завдяки обладнанню, що працює. Щоб уникнути перегріву та виходу з ладу машин, необхідно забезпечити підтримку оптимального мікроклімату у приміщенні. Оскільки у будівлі постійно перебувають і працюють люди, необхідно створити сприятливі умови їхнього перебування, відповідні санітарним нормам. Тому кондиціонери у виробничих приміщеннях повинні задовольняти низку вимог:

- оптимальна температура повітря (потрібно знайти баланс цього показника, оскільки необхідно достатньо охолоджувати обладнання та забезпечити нормальний температурний режим, при якому буде комфортно працювати людям);

- підтримка заданої вологості (швидкість циркуляції повітряних мас, переміщення повітря має бути достатнім, щоб уникнути застійних зон, одночасно слід уникати виникнення протягів, здатних нашкодити здоров'ю робітників);

- чистота повітря (у деяких видів виробництва відбувається викид шкідливих парів, частинок, неприємних запахів, система кондиціонування повинна повною мірою справлятися із завданням фільтрації повітряних мас);

- допустимий рівень шуму (людям має бути комфортно перебувати на робочому місці, надходження свіжого повітря у великих закритих приміщеннях найчастіше спостерігається дефіцит якісного повітря, тому система кондиціонування доповнюється опцією підмішування свіжого повітря).

- можливість зонального керування (кондиціонери підбирають та встановлюють таким чином, щоб була можливість індивідуально виставляти певні параметри мікроклімату в окремій зоні обслуговування).

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що промисловий кондиціонер повинен бути досить потужним і мати можливість не лише

контролювати температуру навколишнього повітря. Також холодильна машина повинна виконувати функцію фільтрації повітряних мас і збагачення їх киснем.

При виборі кондиціонерів для забезпечення ефективного кондиціонування виробничих приміщень слід враховувати низку важливих критеріїв [8]:

- продуктивність (одним із основних параметрів є продуктивність обладнання, вона визначається за кількістю повітря, що охолоджується/нагріється і тому Необхідно вибрати систему, яка забезпечує достатню продуктивність конкретного виробничого приміщення);

- енергоефективність (енергозбереження важливе для зниження експлуатаційних витрат, що в свою чергу сприяє вибору систем з високою енергоефективністю, що дозволяє скоротити витрати на електроенергію та зробити внесок у охорону навколишнього середовища);

- точність регулювання (залежно від типу виробництва, а також необхідних параметрів мікроклімату, важливим є можливість точного регулювання температури, вологості повітря, обладнання з сучасними технологіями управління забезпечує більш точну підтримку заданих умов);

- надійність, довговічність (експлуатація кліматичної техніки на деяких об'єктах може відбуватися у несприятливих умовах, тому потрібно вибирати надійні, зносостійкі системи, а також обладнання високої якості, що забезпечує довгу службу без частотої заміни чи ремонту.

- тип холодоагенту (вибір холодоагенту впливає на екологічність системи, відповідність екологічним стандартам, сучасні моделі використовують екологічно безпечні холодоагенти з низьким впливом на озоновий шар);

- варіанти монтажу (різні моделі кондиціонерів пропонують різні варіанти монтажу внутрішніх блоків (на стіні, стелі, підлогові, інші варіанти), необхідно вибрати те, що краще відповідає особливостям виробничого приміщення);

- технічна підтримка, обслуговування (наявність кваліфікованої технічної підтримки з боку проектно-монтажної компанії та можливість проведення регулярного обслуговування обладнання сприяє безперебійній, ефективній роботі системи);

- бюджет (важливо знайти золоту середину щодо ціни та якості відповідно до бюджетних обмежень, іноді дорожче обладнання може окупитися за рахунок економії енергії, зменшення витрат на обслуговування).

Вибір промислових кондиціонерів має бути обдуманим, ґрунтуватися на аналізі потреб конкретного виробничого об'єкта, щоб забезпечити оптимальні умови мікроклімату, ефективне функціонування.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ

2.1 Розробка структури та реалізація контура регулювання автоматизованої система клімат-контролю

Автоматизовані інженерні системи набувають все більшого поширення, причому це стосується об'єктів будь-якого призначення. Житлові багатоповерхові будинки, промислові цехи, комерційна нерухомість - автоматизація важлива завжди. Чим більший об'єкт, тим більшу користь може принести рішення про обладнання такого комплексу. Найчастіше автоматизуються системи вентиляції, завдання яких – забезпечення приміщень достатніми обсягами свіжого повітря, необхідними для комфортного перебування всередині мешканців та персоналу. Автоматика контролює роботу кондиціонерів, що сприяють підтримці комфортного температурного фону. Один із варіантів облаштування автоматизованого комплексу передбачає, що ця робота проводиться ще на етапі будівництва об'єкта. Використання можливе і в будівлі, що вже перебуває в експлуатації.

Автоматизація систем вентиляції застосовується для підтримки у приміщеннях умов, прийнятих за нормативи:

- комфортна температура, яка знаходиться в межах від 20 до 24 градусів;
- вологість – від 40 до 65 відсотків;
- швидкість руху повітряних мас близько метра за секунду.

Умови кожному промислового об'єкта різні, вони залежить кількості людей, що у ньому, кількості устаткування, що виділяє теплову енергію, особливостей його роботи. Іноді необхідно додатково обладнати канали, що відповідають за виведення забрудненого повітря, більших обсягів пилу.

Грамотно спроектована автоматизована вентиляція виконує багато важливих завдань [8]:

- забезпечення функціонування з урахуванням певних алгоритмів;
- відповідність реальних робочих параметрів нормативним значенням;
- зупинення системи в аварійній ситуації;
- контроль стану та роботи всіх модулів;
- відображення параметрів контрольної панелі в режимі реального часу;
- можливість переходу на ручне керування, у тому числі дистанційне.

Автоматизація кондиціювання необхідна для того, щоб досягти найбільш ефективної та економічної роботи кондиціонерів, розташованих на об'єкті. Завдання цих пристроїв – підтримання оптимального температурного режиму, причому сучасні моделі можуть працювати в режимах охолодження повітря, і обігріву. Поточна температура фіксується сенсорами, які передають інформацію на центральний пульт управління, що обробляє її, відправляє команди на пристрої. Пульт управління може збільшити продуктивність кондиціонера, якщо в приміщенні стає занадто жарко, або, навпаки, знизити її, щоб унеможливити надмірну витрату електроенергії. Забезпечується і необхідний рівень вентиляції, автоматика контролює коректність робочих параметрів, своєчасно відключає кондиціонер, якщо відхилення можуть призвести до його виходу з експлуатації (рисунк 2.1).

До складу системи промислової вентиляції великий перелік спеціалізованого вентиляційного обладнання. Механічна вентиляція може бути приливною, витяжною та приливно-витяжною. З основних вентиляційних компонентів (повітрозабірні решітки, повітряний клапан, повітряний фільтр, теплообмінний апарат для нагрівання повітря (калорифер), вентилятор, шумопоглинач), можна зібрати систему приливної вентиляції, здатну підігрівати та очищати повітря від пилу. Витяжна система складається з аналогічних компонентів із зворотним напрямком повітря. Крім

цього, у подібній системі відсутні такі елементи, як калорифер і фільтр, оскільки повітря зазвичай не потрібно обробляти. В даний час найчастіше використовуються приливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією тепла через максимальну ефективність. Приливна вентиляція з рекуперацією тепла дозволяє значно заощадити електроенергію, оскільки її витрачається менше на додатковий підігрів зовнішнього повітря калорифером.

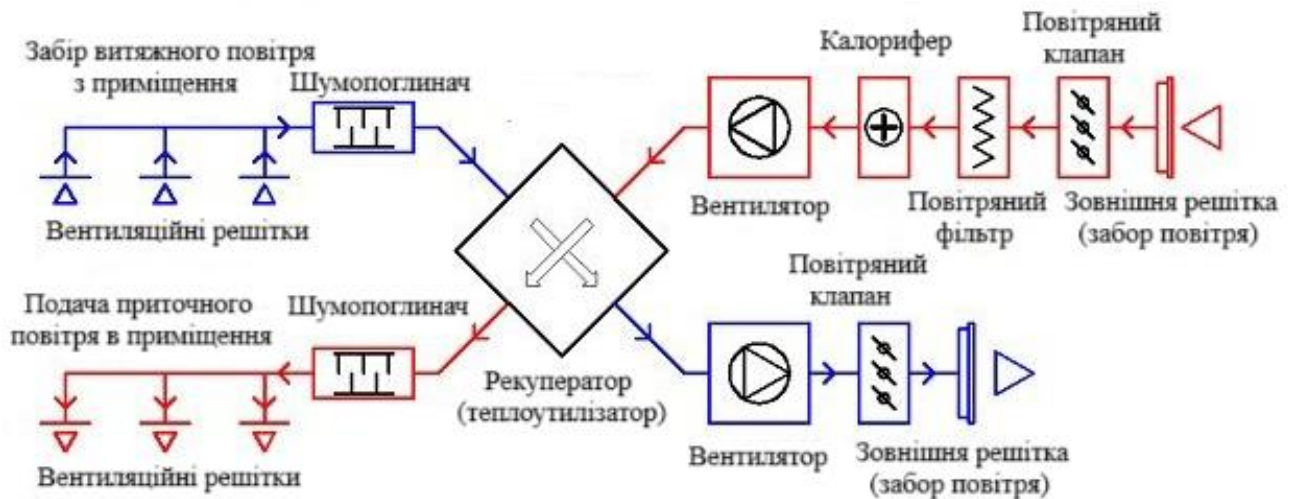


Рисунок 2.1 – Загальна структура приточно-витяжної системи вентиляції і кондиціонування

Комплекс приладів та обладнання, необхідних для автоматизації вентиляційних та кондиціональних систем, приблизно ідентичний, а це є (рисунок 2.2) [9]:

- сенсори (Вони знімають основні робочі параметри і передають їх на основний керуючий пульт, який обробляє інформацію, що робить діагностує про стан системи. Сенсори можуть відрізнятися за типом, вони можуть контролювати і температурні показники, швидкість руху повітряних мас в повітроводах, і параметри вологості, тиску.);
- виконавчі механізми або пристрої (Приводи, що змінюють положення заслінок у повітроводах, що дозволяє блокувати потік повітря або навпаки збільшувати обсяги надходження. До

виконавчих пристроїв належить електроніка, яка коригує продуктивність кондиціонерів.);

- керуючий пульт (Основний пристрій, на якому є контролери, які ведуть автоматичну обробку інформації, що надсилають команди на керування, дисплеї за допомогою яких оператор може відстежувати показники в режимі реального часу, а також органи ручного керування. Технологічний керуючий пульт також дозволяє зберігати дані, щоб фахівці могли аналізувати їх, робити висновки про ефективність автоматики, вносити відповідні коригування в її роботу.).

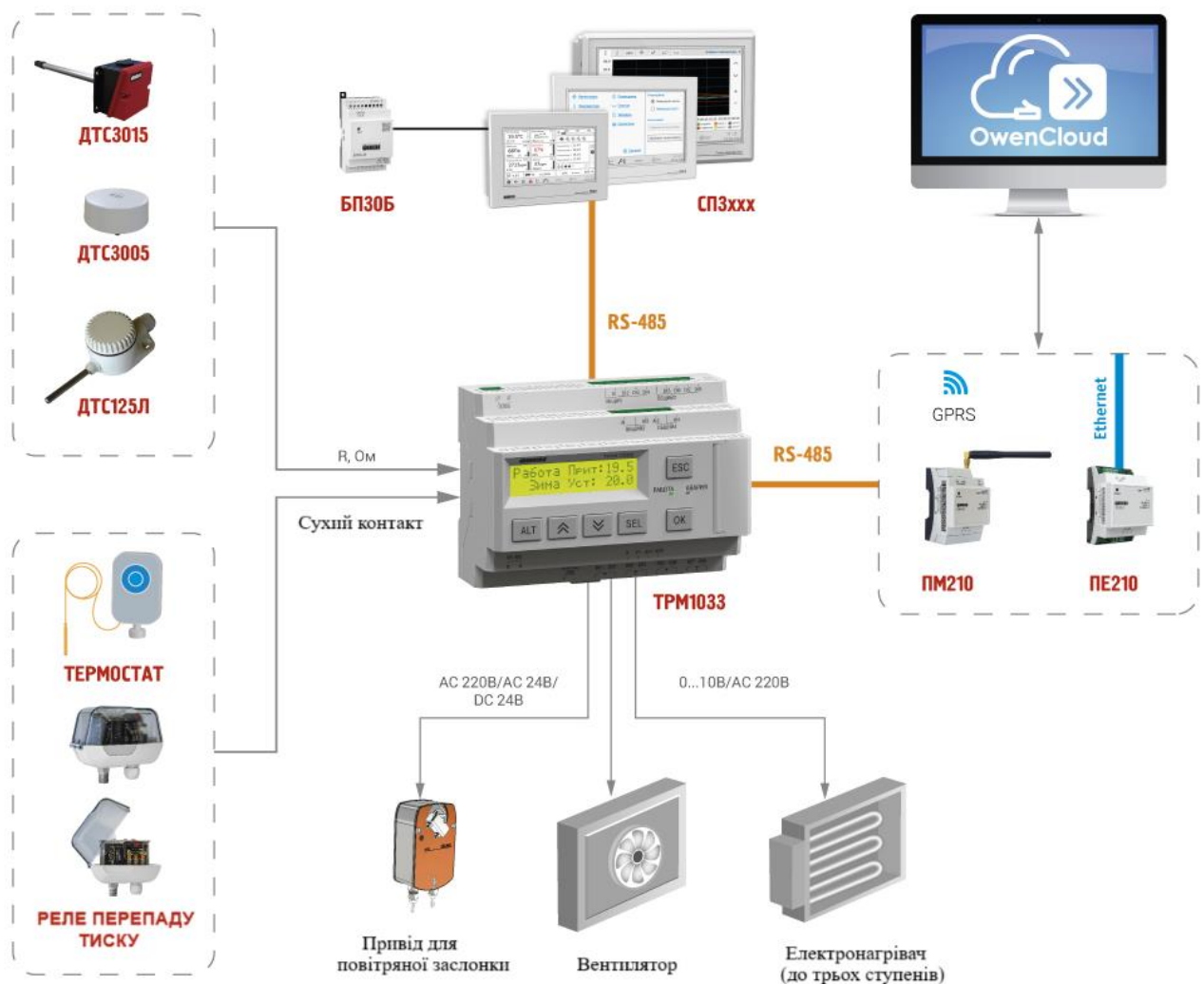


Рисунок 2.2 – Структурна схема автоматизованої системи клімат-контролю виробничого цеху

Точний перелік модулів і електронного обладнання підбирається для кожного конкретного об'єкта індивідуально. Спеціалізовані фірми, які кваліфікуються на проектуванні і монтажі систем клімат-контролю промислових об'єктів підбирають максимально ефективні пристрої, які будуть економічними, надійними та простими в експлуатації в залежності вихідних умов і параметрів того чи іншого об'єкта.

Основними переваги запропонованого рішення (рисунк 2.2) є швидке введення в експлуатацію за рахунок наявності готових алгоритмів керування та гнучкість налаштувань і редагування параметрів системи, можливість локального та віддаленого конфігурування. Зручний інтерфейс користувача дозволяє виконувати налаштування параметрів регулятора з панелі оператора, а також віддалений моніторинг та керування системою через хмарний сервіс OwenCloud [9, 10].

Запропонована система забезпечує керування наступними модулями вентиляційної установки:

- обігрівом приливної заслінки;
- приливним вентилятором;
- трьома групами ТЕНів, однією групою - плавне, з регулюванням потужності.

Для управління АСУ використовується три ступені або режими: перша ступінь – це є плавне керування, другий і третій ступені є опорними і керуються дискретними сигналами. Для захисту від частого включення опорних щаблів використовується гістерезис, що дорівнює 10% потужності.

Система дозволяє керувати приливними вентиляційними установками із електричним нагрівачем. Конфігурування системи та відображення інформації здійснюється за допомогою панелі оператора. Вимірювання температури повітря, що надходить ззовні, здійснюється двома сенсорами температури зовнішнього повітря. У рішенні реалізовано захист калорифера від замерзання – система контролює температуру зворотної води за допомогою занурювального сенсора температури.

Контролер опитує сенсори за встановленим алгоритмом, виходячи з аналізу отриманих даних виконується управління виконавчими механізмами. Регулятор отримує дискретні сигнали типу "сухий контакт" з реле перепаду тиску та від термостату захисту від замерзання, з сенсорів температури надходить сигнал – опір. Далі видається сигнал на реле керування заслінкою або ТЕНи. Управління ТЕНами здійснюється за допомогою аналогового сигналу 0...10В, управління заслінкою відбувається за допомогою дискретного сигналу 24/220В, залежно від модифікації приладу.

Обмін даними сенсорної панелі з регулятором відбувається через мережу RS-485 (Modbus RTU). Для доступу до сервісу OwenCloud використовується шлюз ПМ210. Налаштування регулятора ТРМ1033 здійснюється з передньої панелі приладу або з панелі оператора СП307 [10].

До функціональних можливостей запропонованої системи можна віднести:

- підтримку заданого значення температури повітря у приливному каналі;
- захист електричного калорифера від перегріву;
- обігрів приливного повітряного клапана за допомогою ТЕНу або периметрального кабелю;
- контроль працездатності вентилятора приливу за сигналом від сенсора перепаду тиску;
- сумісність із сенсорами температури типу Pt100, Pt1000, Ni1000, NTC10k;
- контроль засміченості фільтра;
- обмін даними через інтерфейс RS-485 (протокол Modbus);
- відображення параметрів, оперативне керування, ведення архіву подій на сенсорній панелі оператора;
- каскадне регулювання температури повітря (до трьох ступенів нагріву);

- тестовий режим дозволяє перевірити працездатність окремих вузлів керування вентиляційною установкою у ручному режимі з панелі контролера;
- архів аварій у пам'яті контролера та у хмарному сервісі OwenCloud;
- таймер для вимкнення або запуску вентиляційної установки щодня, щотижня в автоматичному режимі;
- режим роботи «Зима/Літо».

2.2 Розробка модуля управління автоматизованою системою вентиляції на базі програмовано-логічного контролера

Сьогодні виробники систем автоматичного керування (АСУ) вентиляцією застосовують програмовано-логічні контролери (ПЛК) та промислові мережі для об'єднання кількох систем та диспетчеризації. АСУ вентиляцією забезпечує необхідний повітрообмін і контроль температури та вологості повітря, що подається для комфортної роботи персоналу.

Основні функції такої системи полягають в:

- управлінні виконавчими механізмами;
- звуковому оповіщенні у разі виникнення аварійної ситуації;
- зв'язку систем через мережу;
- можливість зміни налаштувань клімату;
- візуалізацію роботи системи на екрані диспетчера.

Модуль управління автоматизованою системою клімат-контролю включає в себе керуванням рядом підсистем, а саме припливною системою, яка служить для подачі у приміщення свіжого повітря (рисунки 2.3). Припливне повітря може піддаватися спеціальному обробленню - очищенню, нагріванню, зволоженню. Витяжні системи видаляють з приміщення відпрацьоване повітря.

Запропонована система має два режими роботи, що автоматично включаються за показниками температурного сенсора зовнішнього повітря.

У теплий період – температурний режим регулюється за рахунок відключення нагрівача та циркуляційного насоса, в холодний – за рахунок відключення охолодження. Управління установками здійснюється інтерфейсним модулем.

Першим елементом, розташованим на вході системи, є сенсор температури, що вимірює температуру зовнішнього повітря. За значенням сенсора визначається температура прогріву вентиляційної системи для безпечного та швидшого виходу на задану температурну точку.

Наступним елементом системи є клапан свіжого повітря, що подає та перекидає подачу повітря до цеху при вимкненій системі вентиляції в цехах. Наявність цього клапана у вентиляційній установці з водяним калорифером обов'язкова для захисту від замерзання. При подачі команди «Пуск», що формується системою диспетчеризації, на електропривід повітряної заслінки подається напруга, і відбувається відкриття заслінки. При переході вентилятора у стан «Off», автоматично заслінка закривається [11].

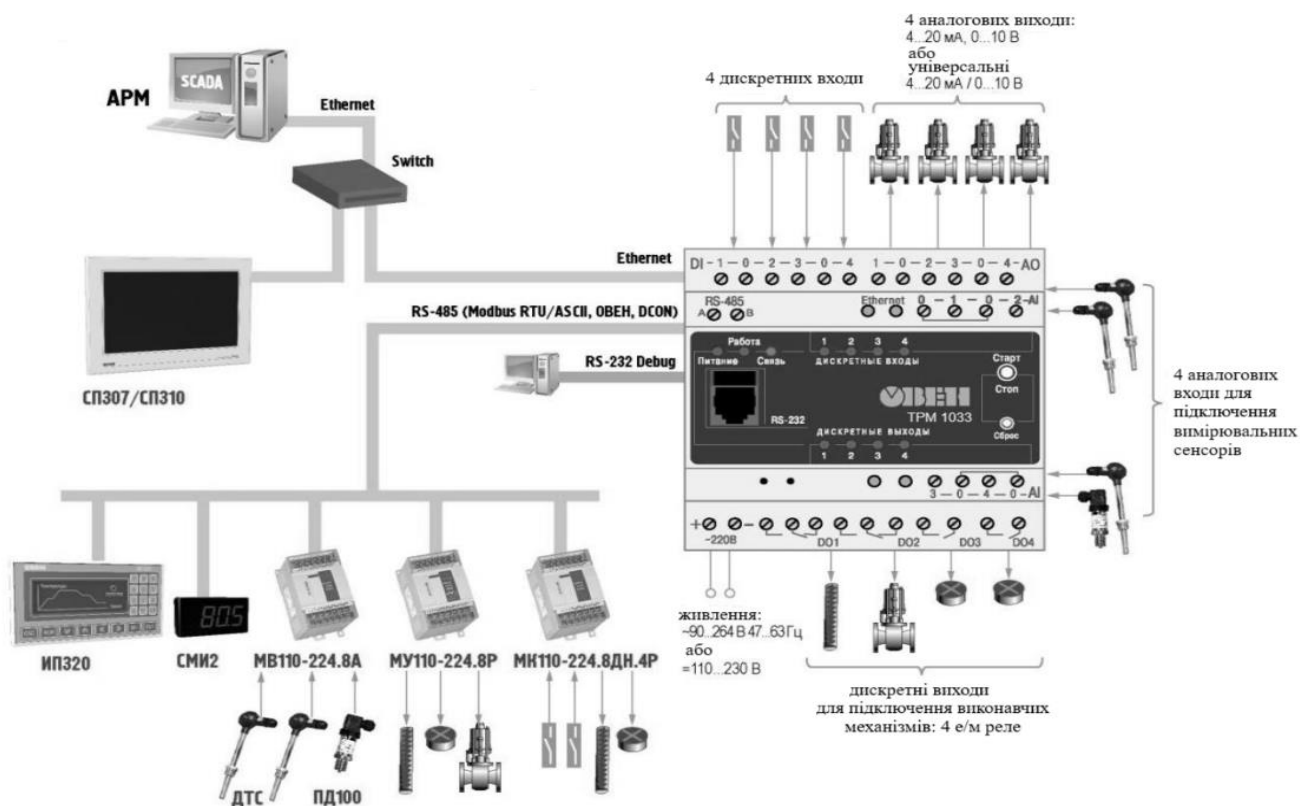


Рисунок 2.3 – Структурна схема модуля управління автоматизованою системою клімат-контролю на основі ПЛК TPM 1033

При зникненні живлення шафи автоматики, «поворотна пружина» перекидає доступ холодного повітря у вентиляційну установку та в приміщення. Фільтр, наступний елемент установки, захищає від сторонніх частинок і саму вентиляційну установку, та вентильоване приміщення. На фільтрі розташований диференціальний сенсор-реле тиску повітря, і якщо перепад тиску вище заданої величини, то реле видає сигнал забруднення фільтра. Сигналізація виводиться на панель керування на шафі керування та на АРМ диспетчера світінням індикатора "Фільтр забруднений".

На виході системи розташований сенсор температури, що вимірює температуру повітря у приміщенні. За показаннями температурного сенсора здійснюється керування приливно-витяжною установкою свіжого повітря. Автоматизована система управління обчислює неузгодженість між температурою в приміщенні і установкою, та визначає необхідну продуктивність калорифера.

У шафі автоматизації знаходиться контролер. Управління технологічним процесом організується за принципом прямого контролерного управління. Контролер з'єднується через комунікаційну шину Ethernet із системою диспетчеризації будівлі.

Рівень диспетчеризації включає візуалізацію та управління приливною вентиляційною установкою (ПВУ), а також її елементами окремо. Для відображення параметрів технологічного процесу та безпосереднього управління робочим процесом на дверях шафи автоматизації розташовується сенсорна панель оператора.

Візуалізація технологічного процесу на панелі управління АРМ оператора реалізовується за допомогою SCADA-системи. На екрані панелі управління виводиться інформація з сенсорів температури зовнішнього повітря, повітря в системі теплоносія та повітря в приміщенні. Під кожним елементом системи відображається його статус. Зазвичай на бічній панелі відеокадра виводиться інформація про режим керування системою («Автоматичний з панелі» / «Ручний режим» / «Автоматичний з диспетчера»)

та режим керування установкою («Комфорт»/«Економ»), а також здійснюється завдання встановлення температури в приміщенні [12].

При сигналі засмічення фільтра роботи від джерела безперебійного живлення, а також спрацюванні захисту від замерзання загоряється червона лампочка. Скидання всіх «Аварій» йде за допомогою кнопки "Скидання аварій".

Робоче місце диспетчера повинно включати набір мнемосхем, через які диспетчер може керувати установкою та спостерігати за параметрами системи в дистанційному режимі, коригувати установки температури, обробляти аварійні повідомлення. При необхідності використання диспетчером кількох станцій необхідно включати в схему системи сервера. У цьому випадку клієнти зчитують необхідну інформацію з сервера по мережі Ethernet, що дає можливість здійснювати паралельну роботу кільком диспетчерам з одною і тією ж установкою. До кожного інтерфейсного модуля підключається панель оператора, що дозволяє керувати окремою установкою з щита керування. Структурна схема мережі, що описується САУ, детально представлена на рисунку 2.3, а функціональна схема контролера для управління приливними системами вентиляції ТРМ 1033 представлена на рисунку 2.4.

Використаний ПЛК ТРМ 1033 – це спеціалізований контролер з готовими алгоритмами для автоматизації припливної вентиляції. Контролер дозволяє керувати стандартними вузлами вентиляції для досягнення максимально комфортної температури припливного повітря для приміщень:

- приливна вентиляція з водяним калорифером нагріву;
- приливна вентиляція з електричним нагріванням (до 3-х ступенів);
- приливна вентиляція з водяним нагріванням та водяним охолодженням;
- приливна вентиляція з водяним нагріванням та фреоновим охолодженням;

- приливна вентиляція з електричним нагріванням та фреоновим охолодженням.

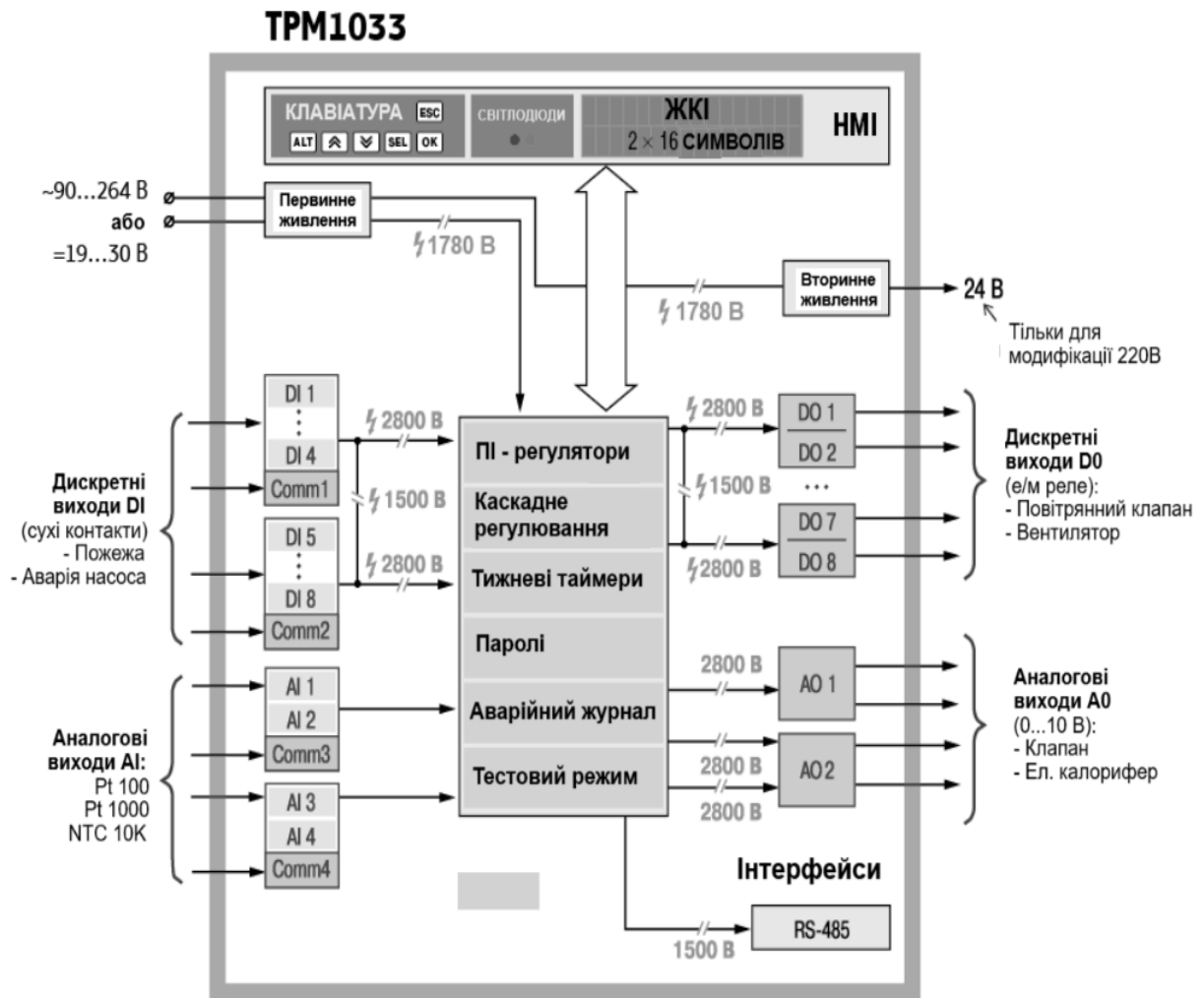


Рисунок 2.4 - Функціональна схема контролера для керування приливними системами вентиляції TRM1033

На сьогоднішній день стоїть завдання підвищення ступеня автоматизації та якості управління вентиляцією в виробничих приміщеннях. Вирішення цього завдання полягає у формуванні та впровадженні інтелектуальної системи управління, яка забезпечить повний та безперервний контроль параметрів мікроклімат приміщення, що дозволить також знизити споживання енергії на експлуатацію системи клімат-контролю.

2.3 Обґрунтування вибору обладнання АСУ

2.3.1 Вибір сенсорних елементів та виконавчих механізмів

Основне призначення автоматики для вентиляції – підтримувати режим роботи вентиляційних установок, необхідний для забезпечення комфортного мікроклімату у виробничих приміщень, та здійснювати управління регулюючими пристроями для перерозподілу повітряних потоків по мережі. Якщо раніше за управління відповідала спеціально навчена людина, що включає і вимикає відповідні рубильники при необхідності, то зараз з усім цим цілком успішно справляється розумна електроніка. Щоб повноцінно керувати процесом провітрювання, необхідний постійний моніторинг параметрів повітряних потоків у вентиляційній системі, аналіз інформації з виробленням керуючих команд і роботою виконавчих пристроїв, що безпосередньо змінюють режим роботи того чи іншого обладнання вентиляційних установок.

Одним з ключових елементів системи автоматичного управління вентиляцією та кондиціонуванням є сенсори та вимірювальні прилади. Сенсори є невід'ємною частиною будь-якої автоматизованої системи вентиляції, вони відстежують різні параметри повітря, такі як температура, вологість, вміст вуглекислого газу та наявність шкідливих домішок. Залежно від конкретних вимог до вентиляції можуть використовуватися такі види сенсорів:

- температурні сенсори;
- сенсори вологості;
- сенсори тиску;
- сенсори CO₂ та інших газів;
- швидкісні сенсори (для вимірювання швидкості повітряного потоку).

Сенсори вологості, швидкості повітряного потоку, тиску, температури, наявності шкідливих газів та домішок у приміщенні можуть мати різну конструкцію та передавати сигнал про стан різних параметрів атмосфери при досягненні будь-яких встановлених дискретних значень та в режимі реального часу. Монтуються як у вентиляційних каналах, так і безпосередньо в приміщеннях, що обслуговуються, або окремих зонах.

Сенсори температури в АСУ можуть використовуватися двох типів (рисунок 2.5): термоелектричні перетворювачі або термопари (дія заснована на вимірюванні термоелектрорушійної сили, термопарою, що розвивається), термоопори або термістори (дія заснована на залежності електричного опору матеріалу від температури навколишнього середовища). Розрізняють два типи таких сенсорів - NTC термістори (опір матеріалу знижується з підвищенням температури) та PTC термістори (опір матеріалу підвищується з підвищенням температури). Сенсори температури можуть бути як кімнатного, так і зовнішнього виконання, канальними (вимірюють температуру повітря в повітропроводах), накладними (вимірюють температуру поверхні трубопроводу). Підбираючи сенсор, потрібно звернути увагу на температурні характеристики чутливого елемента, вони повинні збігатися з рекомендованими в описі регулятора температури [12, 13].

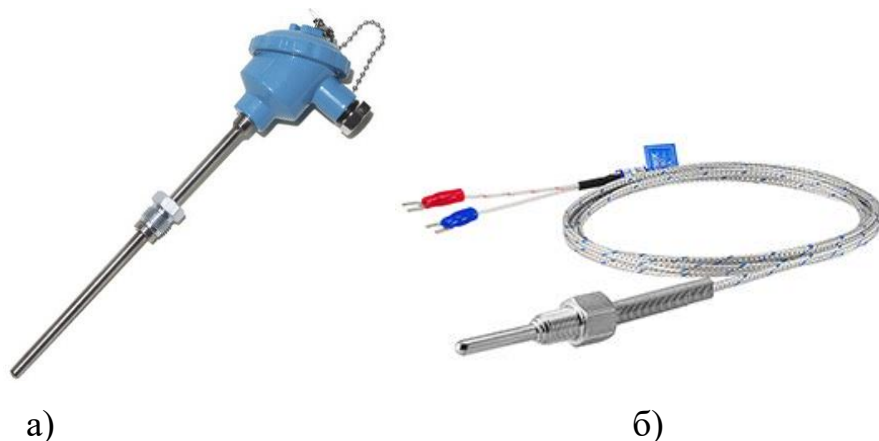


Рисунок 2.5 – Промислові термопари для АСУ вентиляцією та кондиціонуванням: ТД729-d10-H100-M22-XA – а), TW-N(K) 4.8*30*1.5m PT1/8.

Термопара ТД 729 та TW-N(K) використовується для вимірювання температури рідких, газоподібних та твердих тіл у діапазоні від -150 до +800°C (при довжині занурювальної частини менше 80 мм діапазон вимірювання від -70 до +350°C). Номінальна статична характеристика ТХА (К) та ТХК (L) за ГОСТ Р 8.585-2001. Клас допуску 2 та 3 за ГОСТ 6616-94.

Сенсори вологості (рисунок 2.6) - електронні пристрої, що вимірюють відносну вологість зміни електричної ємності в залежності від відносної вологості повітряного середовища. Сенсори вологості ділять на два типи: кімнатні та каналні. Один від одного вони відрізняються конструкцією. При установці сенсора потрібно вибирати місце зі стабільною температурою та швидкістю руху навколишнього повітря, а також небажано розташовувати сенсор біля розгалужень та люків, під прямим сонячним промінням та поблизу нагрівальних приладів.



Рисунок 2.6 – Промисловий сенсор вологості ПВТ 100 в різному виконі і захистом IP

ОВЕН ПВТ100 (рисунок 2.6) – промисловий сенсор температури та вологості, який здійснює безперервний моніторинг відносної вологості та температури неагресивного газового середовища, перетворюючи вимірювальні значення у два незалежні уніфіковані сигнали струму 4...20 мА. Передача обчислюваних значень здійснюється за допомогою інтерфейсу RS-485 протоколу Modbus RTU.

Промисловий сенсор вологості ПВТ100 призначений для роботи в неагресивних газових середовищах. Здійснює безперервне перетворення значень температури та відносної вологості робочого середовища у два незалежні уніфіковані сигнали струму 4...20 мА. Виміряні значення передаються через інтерфейс RS-485 протоколу Modbus RTU. Сенсори можуть розміщуватися в каналах припливної вентиляції, повітроводах і димоходах, сушильних та холодильних камерах, включаючи неопалювані приміщення з важкими температурними умовами.

Особливості та функціональні можливості ПВТ100:

- температура, що вимірюється: $-40 \dots +80 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- розширений діапазон вимірювання температури (до $+120 \text{ }^{\circ}\text{C}$) за рахунок використання високотемпературного кабелю;
- висока точність вимірювання, абсолютна похибка вимірювання вологості – до $\pm 2,5 \%$, температури – до $\pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- висока повторюваність результатів вимірювання, $\pm 0,1 \%$ RH, $\pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- висока стабільність, $\pm 0,25 \%$ RH, $\pm 0,02 \text{ }^{\circ}\text{C}$ на рік;
- два незалежні вихідні канали 4... 20 мА;
- можливість обміну інформацією за інтерфейсом RS-485 (протокол Modbus RTU), швидкість до 57 600 біт/с;
- розбірна конструкція, що дозволяє за необхідності здійснювати заміну сенсора та/або фільтра зонда;
- ергономічний корпус із ступенем захисту IP65.

Сенсори тиску розрізняють два типи (рисунок 2.7) - аналогові сенсори тиску та реле тиску. Обидва типи сенсорів можуть вимірювати тиск як в одній точці, так і різницю тиску в двох точках. І тому сенсор називається диференціальним сенсором тиску. Прикладом використання реле тиску в кліматичних системах може бути сенсор тиску, що служить для захисту компресора від занадто низького або високого тиску фреону. Також диференціальні манометри застосовуються для визначення ступеня засмічення у фільтрах систем вентиляції. За допомогою аналогових сенсорів

визначається тиск у точці вимірювання. Виміряний тиск конвертується в електричний сигнал вторинним перетворювачем сенсора [13].



Рисунок 2.7 - Сенсор абсолютного тиску ТД-10.107 промисловий

Сенсор тиску загальнопромисловий ТД-10.107 - це надійний та точний перетворювач тиску з аналоговим виходом, що вимірює абсолютний та надлишковий тиск газу або рідини. Даний пристрій має універсальну конструкцію, чутливим елементом є високочутливий п'єзорезистивний кремнієвий сенсор. Особливості та функціональні можливості ТД-10.107:

- діапазон вимірювання тиску – до 600 бар;
- похибка вимірів 0,5, 0,25 або 0,1% (за запитом);
- електричне приєднання – Round Packard, M12x1, кабель;
- різні варіанти технологічного приєднання - G1/4, M12x1.5, 7/16-20UNF;
- висока довготривала стабільність (<0,2% ВП/рік);
- максимальна температура середовища – 125 °C;
- MEMS-технології.

Сенсори потоку, принцип роботи яких полягає в наступному: в першу чергу вимірюється швидкість руху газу або рідини в повітропроводі або трубопроводі, після чого виміряний сигнал перетворюється у вторинному перетворювачі в електричний, потім розраховується витрата газу або рідини

в обчислювальному блоці. Найбільш популярні такі сенсори у сфері обліку теплової енергії. За принципом дії первинних перетворювачів сенсори потоку діляться на лопатеві пристрої, що звужують, турбінні, вихрові, роторні, ультразвукові та електромагнітні. У системах вентиляції та кондиціонування найбільш поширені сенсори-реле протоки. Вони реагують на швидкість газу, що створює напір на лопатку сенсора, яка приводить в дію мікроперемикач із сухим контактом. У той момент, коли швидкість потоку досягає заданого порога перемикання, відбувається замикання контактів. Коли швидкість потоку падає нижче цього порога, контакти розмикаються. Передбачається можливість регулювання порогу перемикання.

Сенсори концентрації вуглекислого газу За змістом вуглекислого газу повітря прийнято оцінювати газовий склад повітря у приміщенні. У системі вентиляції та кондиціонування концентрація вуглекислого газу може бути об'єктом регулювання. (Нормою вмісту вуглекислого газу у повітрі вважається значення від 600 до 800 ppm) [14].



Рисунок 2.8 - Сенсори концентрації вуглекислого газу ПКГ100-CO2

Промисловий сенсор концентрації вуглекислого газу ПКГ100-CO2 призначений для безперервного перетворення концентрації газу в два уніфікованих вихідних сигнали 4...20 мА та передачі вимірянних значень за

інтерфейсом RS-485 (Modbus RTU). Функціональні особливості ПКГ100-CO2:

- точність вимірювання з похибкою трохи більше 15 %;
- концентрація, що вимірюється від 400 до 5000 ppm;
- комбінований вихідний сигнал, два канали з 4...20 мА + RS-485 (Modbus RTU);
- можливість заміни зонда із сенсором;
- ергономічний корпус, рівень захисту IP65.

Сенсори можуть використовуватись у складі вентиляційних систем для керування мікрокліматом різних приміщень.

2.3.2 Вибір ПЛК високої надійності

Програмований логічний контролер (ПЛК) – необхідний елемент систем управління промисловими установками та виробничими процесами. Застосування пристрою значно розширює функціональні можливості АСУТП та обладнання, суттєво здешевлює собівартість продукції, підвищує ефективність обліку та контролю. Іншими словами, контролери забезпечують відпрацювання заданого алгоритму дій, наприклад, маніпуляторів промислових роботів або подачу ріжучого інструменту металообробних верстатів з ЧПУ. Пристрої також дозволяють вирішувати інші технічні завдання: підтримання величини будь-якого технологічного параметра на певному інтервалі значень, наприклад температури теплоносія в системі опалення, автоматичного регулювання за будь-яким алгоритмом.

Класифікація контролерів ПЛК проводиться за кількома основними параметрами. По конструкції розрізняють пристрої із закритою та відкритою архітектурою. Перші зазвичай мають встановлене програмне забезпечення, можливості використання прикладного програмного забезпечення обмежені виробником. Підключення додаткових модулів, як правило, неможливе або зводиться до встановлення одного, двох блоків того ж виробника. У

контролерах з відкритою архітектурою передбачено встановлення прикладних програм, їх самостійне доопрацювання. Такі пристрої сумісні з додатковим обладнанням для інших виробників.

ПЛК типу ТРМ1033 – це контролер із готовими алгоритмами для автоматизації вентиляційних систем (рисунок 2.9). Підходить для керування приливними та приливно-витяжними установками. Автоматика на базі ТРМ1033 дозволяє контролювати роботу стандартних елементів вентиляції та регулювати температуру повітря у приміщенні [15]:

- припливна вентиляція з водяним калорифером нагріву;
- припливна вентиляція із електричним нагріванням (до 3-х ступенів);
- припливна вентиляція з водяним нагріванням та водяним охолодженням;
- припливна вентиляція з водяним нагріванням та фреоновим охолодженням;
- припливна вентиляція з електричним нагріванням та фреоновим охолодженням.

Загалом ефективність даного контролера закладається в кількості готових алгоритмів та можливість управління вузлами вентиляції (наприклад, зволожувач, резервний вентилятор, рециркуляція тощо) буде збільшуватись для ефективної роботи.



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд ПЛК ТРМ1033 орієнтований на автоматизацію вентиляційних систем

До основних функціональних можливостей регулятора на основі ПЛК TRM1033 відносять:

- м'який запуск (запобігає різкому закриттю регулюючого клапана по воді після прогріву з метою захисту теплообмінника від замерзання (плавний вихід на уставку після прогріву));
- каскадне регулювання температури припливного повітря (для досягнення максимально комфортної температури приміщення застосовується каскадне регулювання, температура припливного повітря коректується за необхідним значенням температури в приміщенні);
- тестовий режим роботи (режим роботи дозволяє перевірити працездатність окремих вузлів керування вентиляційною установкою у ручному режимі з панелі контролера);
- журнал аварій з квітуванням за часом (контролер фіксує всі аварійні ситуації, що виникають у процесі роботи, окрім поточних аварій, додатково аварії архівуються із записом про квітування, об'єм архіву розрахований на 24 записи);
- тижневий таймер роботи (контролер може в автоматичному режимі керувати вимкненням або запуском вентиляційної установки по днях тижня);
- режим роботи зима/літо (зміна сезону здійснюється в автоматичному режимі, тим самим визначається який режим роботи потрібно: зима (відключення охолодження) / літо (відключення нагрівача та циркуляційного насоса).

3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

3.1 Розробка математичної моделі системи регулювання температури для АСУ вентиляцією та кондиціонування

Автоматизація одна із найважливіших чинників ефективності функціонування будь-якого промислового чи побутового об'єкта. Основне завдання, яке вирішує система вентиляції, – забезпечення максимально комфортного повітряного простору у приміщенні. Широке застосування систем приливо-витяжної вентиляції у виробничих та житлових будинках обумовлено такими причинами: розвиток нових виробництв електронної, електротехнічної, машинобудівної, хімічної, текстильної та інших галузей промисловості, які потребують підтримки певних та постійних параметрів стану повітря; зростаючі вимоги до умов праці та підвищення продуктивності у гарячих та мокрих цехах, вугільних шахтах, рудниках та інше; оснащення підприємств промисловості, зв'язку, конструкторських та науково-дослідних організацій приладами, точна та безвідмовна робота яких можлива лише за певних температур і відносної вологості повітря; збільшення кількості закритих приміщень для тривалого перебування великої кількості людей (театри, кінотеатри, концертні зали, стадіони, ресторани, вокзали тощо).

Системи вентиляції в більшості випадків є складними системами інженерного обладнання для забезпечення ефективного повітрообміну. Ручне управління в цьому випадку нераціональне, тому, що постійно змінюються показники повітря в залежності від пори року, кліматичних умов, змінюється кількість повітря, що видаляється і надходить.

Розробка автоматизованої системи управління вентиляцією як промислових об'єктів, а й більшості житлових, суспільно-побутових будинків є актуальним завданням. Впровадження систем автоматичного керування

дозволяє: підтримувати оптимальну температуру повітря та інші показники, що впливають на життєдіяльність та працездатність людини; регулювати інтенсивність роботи вентиляторів, розташованих у припливному та витяжному повітроводах; своєчасно запобігати замерзанню водяного калориферу та інше. Важливою перевагою впровадження системи автоматизації вентиляції можна назвати те, що автоматизація підвищує рівень безпеки об'єкта. Наприклад, при спрацьовуванні пожежної сигналізації може бути передбачено відключення пристроїв, що працюють на приплив, що сприяє стримуванню поширення полум'я та максимально швидкої локалізації. Впровадження системи автоматизації дозволяє виключити роботу системи вентиляції в критичних режимах, при високих або низьких температурах, що сприяють виходу з ладу обладнання системи вентиляції, що призводить до необхідності його заміни або ремонту. Використання системи автоматизації вентиляції об'єкта знижує споживання електроенергії загалом на 15-20% [15, 16].

Для досягнення заданої якості регулювання у процесі роботи систем автоматичного регулювання (САР) нестационарних об'єктів необхідно забезпечити цілеспрямовану зміну динамічних характеристик регулюючого пристрою, щоб компенсувати небажані зміни властивостей об'єкта управління. Як правило, це можливо за рахунок зміни параметрів пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів (ПІД-регуляторів). Такі підходи на сьогоднішній день застосовуються більшості випадках, однак для їх реалізації необхідна або ідентифікація, або використання спеціальних способів, заснованих на обчисленнях по кривій перехідного процесу. Обидва ці підходи досить складні та вимагають значних витрат часу на підстроювання.

Менш поширеним, але ефективним є спосіб, заснований на застосуванні спеціальних адаптивних коригувальних пристроїв, що включаються послідовно з регуляторами. Змінюючи належним чином свої

параметри, пристрої коригують динамічні властивості САР і тим самим компенсують зміну властивостей об'єкта управління.

У даному розділі наводяться результати досліджень властивостей системи автоматичного регулювання температури на виході з теплообмінника (рекуператора), реалізованої на основі ПІ-регулятора та послідовного адаптивного псевдолінійного коректуючого пристрою динамічних характеристик САР з амплітудним придушенням.

Запропонований спосіб адаптації характеризується тим, що в процесі роботи системи регулювання параметри регулятора не змінюються і відповідають налаштуванню, що передуює запуску системи в роботу. Ця зміна відбувається тільки в тих випадках, коли якість регулювання стає незадовільним внаслідок зміни властивостей об'єкта управління чи впливу на об'єкт управління збурень. Це дозволяє забезпечити необхідний запас стійкості системи та підвищити якість перехідних процесів.

Технологічний процес охолодження і сушки повітряних потоків здійснюється на установці – рекуператорі, що надходять на її вхід. У цьому вузлі первинного функціонування, очищення та сушці повітря з виробничих цехів надходить у сепаратор, де відбувається його первинне відділення від конденсату та води. Після проходження через сепаратор повітря надходить на вхід першого ступеня турбокомпресора і, пройшовши через холодильник, потрапляє до наступного сепаратора для подальшого відділення від конденсату та води. Цикл проходження повітрям ступенів турбокомпресора, холодильників і сепараторів повторюється п'ять разів, після чого охолоджений та осушений потік повітря надходить у первинну колону, призначену для грубої очистки вуглекислотної фракції. Тяжкі рідкі суміші (вуглеводневий конденсат і вода), що залишилося в сепараторах після відділення від цехового повітря, потрапляє в кожухотрубний теплообмінник, в якому нагрівається до температури 90°C, а потім відкачується на склад [16].

У даному технологічному процесі застосовується теплообмінник із змінним агрегатним станом речовини. Передавальна функція теплообмінника має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{K}{T_1 s + 1} \frac{1 - b e^{-\tau s}}{(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)} \frac{1}{T_4 s + 1},$$

де K - статичний коефіцієнт передачі теплообмінника; T_1, T_2, T_3, T_4 – постійні часу теплообмінника; b - константа, що враховує конструктивні особливості теплообмінника; τ - час, що характеризує запізнення теплообмінника.

Постійна часу T_1 визначає зміну тиску пари в міжтрубному просторі, T_2 та T_3 враховують зміну теплообмінних властивостей стінок та рідини у трубках теплообмінника T_4 враховує інерційність вихідної камери для технологічного потоку.

При дослідженні САР конденсату використовувалася наступна функція передавального теплообмінника:

$$W(s) = \frac{9}{0,27s + 1} \frac{1 - 0,7e^{-10s}}{(25,8s + 1)(0,94s + 1)} \frac{1}{1,11s + 1}.$$

Система автоматичного регулювання температури в теплообміннику повинна підтримувати температуру конденсату, що у ньому, постійною на рівні 90°C. З формули функції передавального теплообмінника випливає, що теплообмінник як об'єкт управління має суттєве запізнення. Це необхідно враховувати під час вибору закону регулювання. Вимогами якості перехідного процесу для даної САР є величина перерегулювання менше 20% і час регулювання менше 60 с.

З урахуванням зазначених вище особливостей кожухотрубного теплообмінника із змінним агрегатним станом як об'єкта управління для САР температури конденсату була обрана одноконтурна САР з ПІ-регулятором. З використанням методу розширених частотних характеристик було розраховано налаштування ПІ-регулятора, що забезпечують вимоги до якості перехідного процесу. Установки мають такі значення: $K_p=0,2$, $K_i=0,05$. На

рисунку 3.1 представлена модель САР температури конденсату на виході із кожухотрубного теплообмінника, складена у системі MatLab 6.5 (Simulink).



Рисунок 3.1 – Модель САР температури конденсату на виході з кожухотрубного теплообмінника

Внутрішніми збуреннями об'єкта управління є зміни коефіцієнта теплопередачі на зовнішній та внутрішній поверхнях труби, питомої теплоємності стінки трубки теплообмінника. Основними зовнішніми збуреннями є зміни температури теплоносія та навколишнього середовища. Ці параметри включені у формули для визначення постійних часу T_2 і T_3 передавальної функції теплообмінника. При зменшенні питомої теплоємності стінки трубки теплообмінника або рідини зменшаться і значення постійних часу T_2 та T_3 передавальної функції теплообмінника [17].

Розглянувши випадок, коли питома теплоємність стінки трубки теплообмінника знижується настільки, що значення постійної часу T_2 передавальної функції теплообмінника зменшується з 258 до 170 с. На рисунку 3.2 представлені криві перехідного процесу при ступінчатому задаючому впливу САР температури конденсату на виході із кожухотрубного теплообмінника з ПІ-регулятором та налаштуваннями, описаними вище, при значеннях постійної часу $T_2=25,8$ с (крива 1) та $T_2=17$ с (крива 2).

Аналіз перехідних процесів показує, що у зміні значення постійної часу T_2 з 25,8с до 17,0с якість САР виявляється незадовільною. Незадовільною є також якість САР при впливі на об'єкт управління

неконтрольованих збурень і не стаціонарності об'єкта управління, що виявляється з часом.

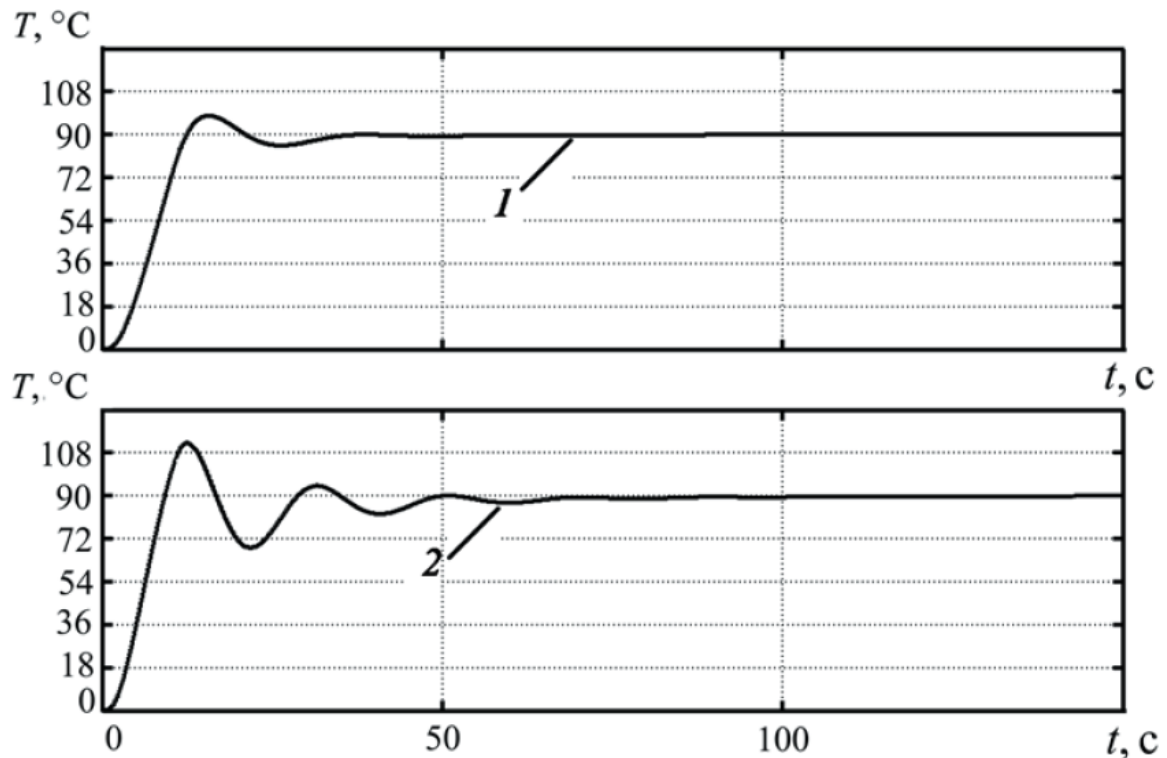


Рисунок 3.2 - Графіки перехідного процесу САР температури конденсату:

1 - $T_2 = 25,8\text{с}$, 2 - $T_2 = 17\text{с}$.

У цих випадках в системі використовується регулятор, що не забезпечує прийнятну якість регулювання, тому система може стати нестійкою, що у свою чергу може призвести не лише до випуску бракованої продукції, а й до підвищення рівня вибухо- та пожежної безпеки об'єкта.

3.2 Адаптивна система регулювання температури конденсату рекуператора

Для поліпшення якості регулювання температури конденсату в теплообміннику і зменшення негативного впливу неконтрольованих збурень і не стаціонарності об'єкта управління на процес регулювання запропоновано

ввести в САР послідовний адаптивний псевдолінійний коректуючий пристрій з амплітудним пригніченням об'єкта управління.

На рисунку 3.3 представлена схема САР з адаптивним псевдолінійним коректуючим пристроєм з амплітудним придушенням (g – задаючий вплив системи регулювання, ε і ε_1 – вхідний і вихідний сигнали коректувального пристрою, u – керуючий вплив, y – вихід об'єкта управління, КП – псевдолінійний коректуючий пристрій з амплітудним придушенням сигналу, БН – блок налаштування псевдолінійного коректуючого пристрою, БАЯ – блок аналізу якості системи; ГПС – генератор пробного сигналу; z – збурюючий вплив об'єкта управління, q – параметр, що характеризує не стаціонарність об'єкта управління, T – постійна часу об'єкта управління системи, I – критерій якості системи, S_1 і S_2 – сигнал запуску (зупинки) генератора пробного сигналу) [18].

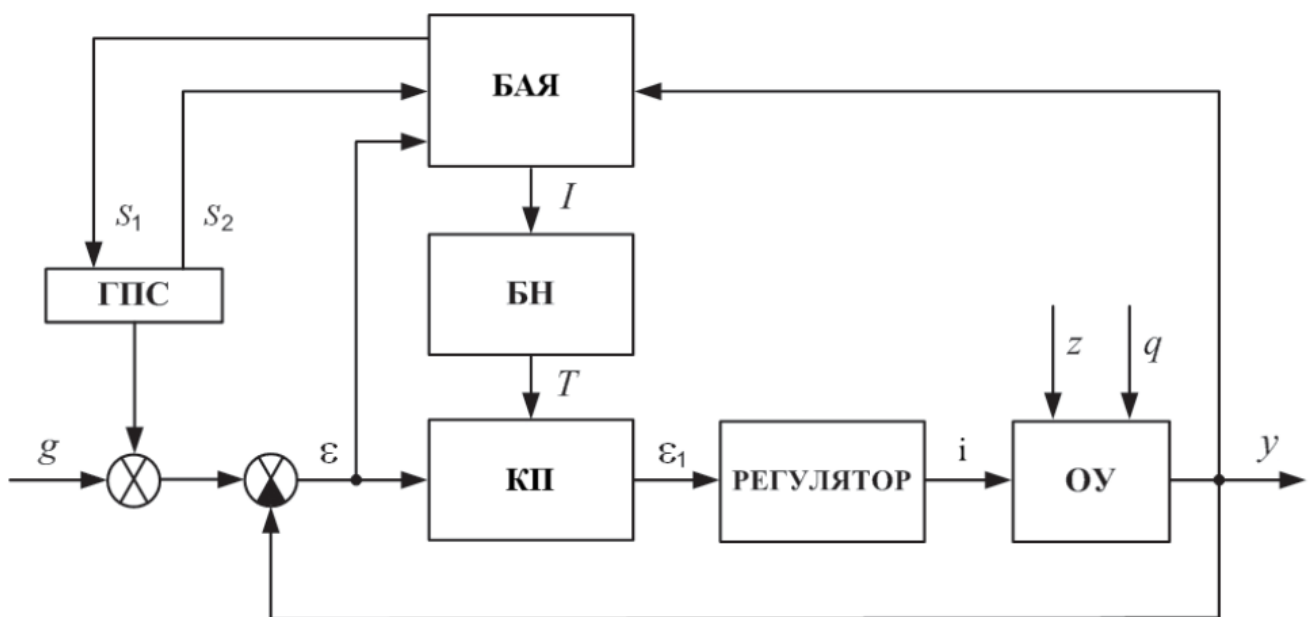


Рисунок 3.3 – Структурна схема САР з адаптивним псевдолінійним коректуючим пристроєм з амплітудним придушенням

Спосіб адаптації запропонованої САР характеризується тим, що в процесі роботи системи регульовані параметри ПІ-регулятора не змінюються та відповідають налаштуванню, що передуює запуску системи в роботу. У

процесі роботи в залежності від зміни параметрів об'єкта управління змінюється запас стійкості, що створюється коректором амплітуді. Ці зміни відбуваються лише у тих випадках, коли якість регулювання САР стає незадовільною внаслідок зміни властивостей об'єкта управління або впливу на об'єкт управління збуренням. Це дозволяє забезпечити стійкість системи та підвищити якість управління.

Робота адаптивної САР здійснюється наступним чином. При початковому запуску системи в роботу в режимі, що встановився ГПС подає в САР прямокутний пробний імпульс, амплітуда якого дорівнює 1/10 значення сигналу завдання, а тривалість складає 175с. Після подачі пробного імпульсу в блоці БАЯ визначається оцінка критерію якості системи протягом тривалості пробного імпульсу. Критерієм якості системи є інтегральний критерій, який має наступний вигляд [19]:

$$I_1 = \int_{t_1}^{t_2} |\varepsilon(t)| dt,$$

де ε - помилка регулювання.

Обчислена оцінка критерію якості запам'ятовується в блоці БН як еталонна оцінка. Через певний проміжок часу ГПС знову подає в систему прямокутний пробний імпульс, потім БАЯ обчислює оцінку критерію якості САР за час, що дорівнює тривалості пробного імпульсу. Далі поточна оцінка критерію порівнюється з еталонною оцінкою, і за результатом порівняння приймається рішення про необхідність підстроювання коректуючого пристрою. Прийняття рішення ґрунтується на аналізі наступної умови:

$$|I_t - I_0| > \Delta,$$

де I_t , I_0 - поточне та еталонне значення критерію, величина Δ характеризує припустиме відхилення якості САР від еталонного.

Якщо прийнято рішення про підстроювання коректуючого пристрою, то в блоці БН розраховується значення постійної часу коректуючого

пристрою T , після чого значення даного параметра надходить у КП та запам'ятовується в ньому. Для визначення постійної часу у цій роботі використовується градієнтний метод. Корекція постійної часу здійснюється з урахуванням наступної залежності:

$$T_i = T_{i-1} + \Delta T,$$

де T_i , T_{i-1} - значення постійного часу на поточному та попередньому кроках, ΔT - збільшення T .

Діапазон значень постійної часу коригувального пристрою визначається з урахуванням забезпечення стійкості системи та необхідної якості перехідних процесів. Для дослідження роботи системи автоматичного регулювання із адаптивним коректуючим пристроєм з амплітудним придушенням створена модель САР температури конденсату на виході з кожухотрубного теплообмінника в системі MatLab 6.5 (Simulink) (рисунок 3.4). На рисунку 3.4 наведена також модель САР, що не має властивостей адаптації. Початкові значення параметрів об'єкта управління та ПІ-регулятора однакові і у процесі роботи системи залишаються незмінними. Початкове значення постійної часу T пристрою, що коректує, прийнято рівним 0,01с. Значення параметра початкової настройки КП вибрано таким чином, щоб воно вносило мінімальну зміну частотних характеристик САР. Постійна T часу коректуючого пристрою змінюється за допомогою апарату S-функцій в блоці БН. Запуск ГПС також проводиться за допомогою апарату S-функцій у блоці БАК [20].

На рисунку 3.5 представлені криві перехідних процесів у системах регулювання тільки з ПІ-регулятором (крива 1) і регулятором, доповненим послідовно включеним в ланцюг регулювання адаптивним псевдолінійним коректуючим пристроєм з амплітудним придушенням (крива 2). Характер цих кривих дозволяє судити про здатність адаптацію системи регулювання до зміни параметрів об'єкта управління. Крива 3 відповідає імпульсам, що надходять САР з генератора пробного сигналу [21].

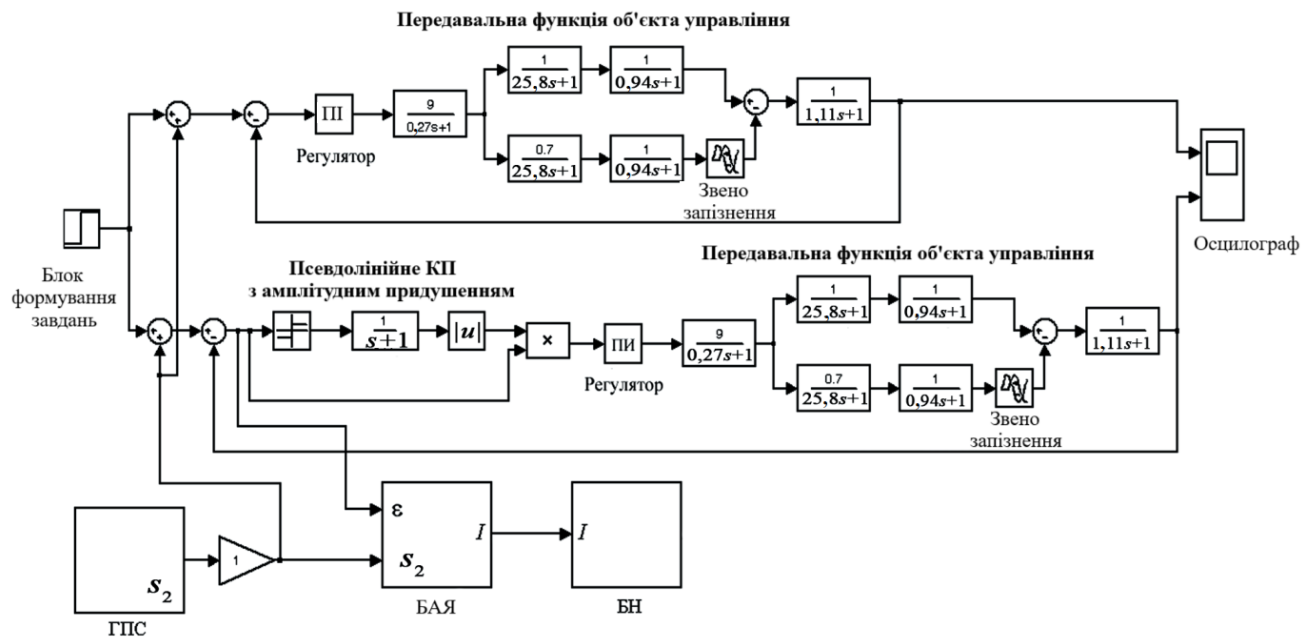


Рисунок 3.4 – Структурна модель адаптивної САР температури конденсату на виході з кожухотрубного теплообмінника

Спочатку налаштування ПІ-регуляторів обох систем було проведено таким чином, щоб при ступінчастому впливі на об'єкт управління перехідний процес задовольняв вимогам до якості, описаних вище. Також спочатку було проведено налаштування коректуючого пристрою: $T = 0,01\text{с}$. При такому налаштуванні коректуючий пристрій вносить мінімальне ослаблення амплітудно-частотну характеристику.

Після запуску систем у роботу та закінчення перехідних процесів, в момент часу t_1 , в обидві системи з генератора пробного сигналу надходить імпульс (крива 3 на рисунку 3.5). Після подачі імпульсу в блоці БАЯ розраховується еталонна оцінка критерію якості САР і запам'ятовується як еталонна оцінка. На момент часу t_2 постійна часу T_2 передавальної функції об'єкта управління змінюється з 258с до 170с. При таких параметрах об'єкта керування та початкових налаштуваннях ПІ-регулятора коливальні властивості процесу переходу до ступінчастої дії стають більш вираженими, що видно на графіках при поступленні чергового імпульсу з ГПС на момент часу t_3 . Далі розраховується поточна оцінка критерію якості САР,

проводиться порівняння її з еталонною оцінкою, і за результатом порівняння приймається рішення про підстроювання коректуючого пристрою. У момент часу t_4 значення постійної часу T коректуючого пристрою змінюється на величину збільшення ΔT , рівну 15с. Після зміни постійної часу КУ її значення надходить у коректуючий пристрій і запам'ятовується в ньому.

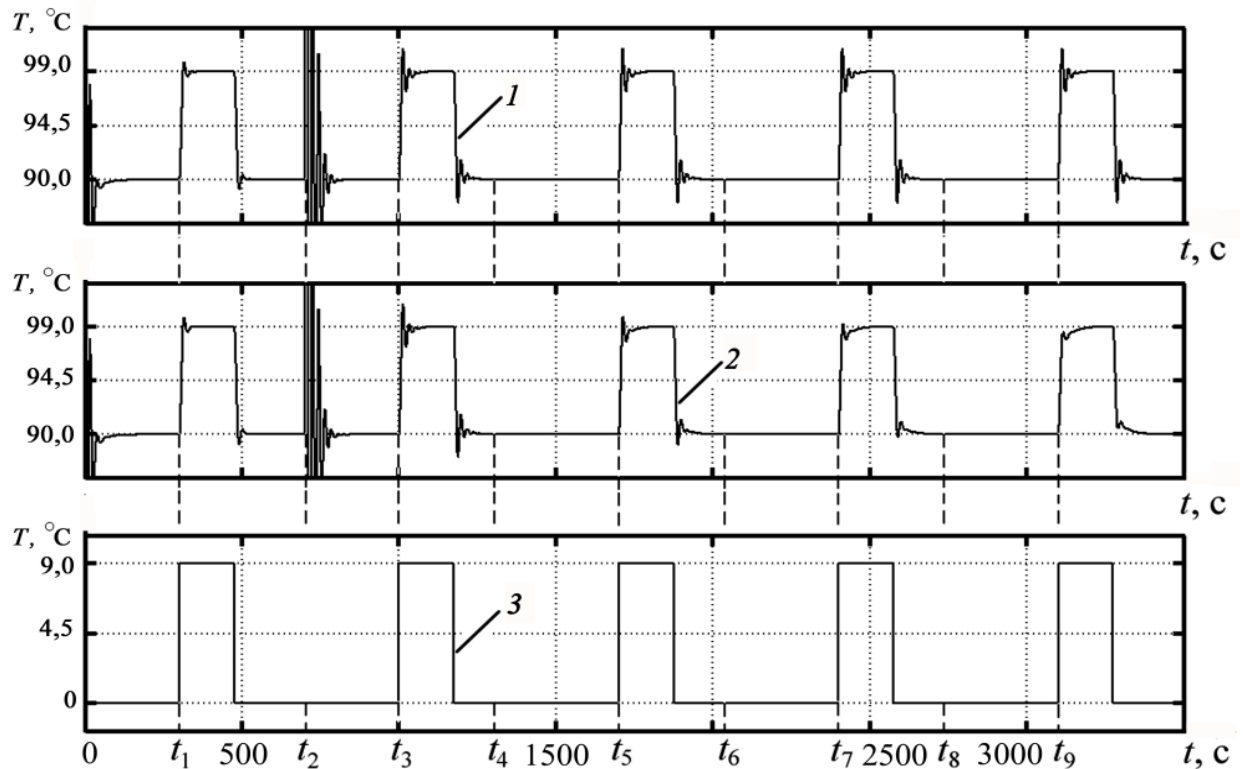


Рисунок 3.5 - Графіки перехідних процесів:

1 - система регулювання тільки з ПІ-регулятором; 2 - система регулювання з ПІ-регулятором та регулятором, доповненим послідовно включеним у ланцюг регулювання адаптивним псевдолінійним коректуючим пристроєм з амплітудним придушенням; 3 – імпульс.

У момент часу t_5 в САР знову подається пробний сигнал, і цикл підстроювання повторюється. У момент часу t_9 значення поточної оцінки критерію якості САР стає задовільним, і підстроювання припиняється.

Для підстроювання знадобилося три ітерації. Після закінчення процесу підстроювання значення постійного часу T коректуючого пристрою дорівнювало 45с. Характер кривої 2 в момент часу t_9 свідчить про те, що при

змінених параметра об'єкта управління та підстроюванні до них КУ якості САР з коректором (крива 2) значно краще, ніж безкоректора (крива 1). Якість роботи САР із КУ залишається задовільним при зміні постійної часу об'єкта до значення $T_2=3\text{с}$, вчасно як із $T_2=8\text{с}$ система безкоректора стає нестійкою.

На основі моделі, що представлена на рисунку 3.4, проведено дослідження властивостей адаптивної системи при зміні часу запізнення теплообмінника. Результати дослідження показали, що при збільшенні часу запізнення з 10 до 150с САР з адаптивним псевдолінійним коректуючим пристроєм з амплітудним придушенням залишається стійкою. Слід зазначити, що у звичайній системі втрата стійкості відбувається вже за часу запізнення, що дорівнює 28 с.

Застосування запропонованого пристрою корекції дозволило реалізувати адаптивну систему регулювання температури об'єкта з нестаціонарними параметрами. Експериментальні дослідження показали ефективність запропонованої адаптивної системи регулювання при зміні параметрів об'єкта управління з часом у досить широкому діапазоні. Коректуючий пристрій можна додавати в діючі системи регулювання з урахуванням мікропроцесорів без додаткових витрат на апаратну частину, що безперечно, дозволить підвищити якість регулювання.

ВИСНОВКИ

У представленій магістерській роботі розроблена автоматизована система клімат-контролю виробничих приміщень. У ході роботи проаналізовані системи вентиляції та кондиціонування виробничих цехів підприємств, що в свою чергу дозволило реалізувати ефективну АСУ клімат-контролю промислового типу.

Досліджено та проаналізовано автоматизовані системи промислової вентиляції та кондиціонування, що дало можливість вибрати оптимальний варіант для реалізації ефективної автоматизованої системи на основі високопродуктивного ПЛК.

Представлено технічні, функціональні можливості та основні завдання автоматизованої системи клімат-контролю, що базуються на апаратних засобах, програмовано-логічному контролері, сенсорах, виконавчих механізмах.

Обґрунтовано вибір обладнання, пристроїв та технічних засобів автоматизації для розробки АСУ клімат-контролю виробничих цехів. Реалізовано структурну схему та оптимізовано вибір компонентів автоматизації, для ефективного функціонування запропонованої системи. Представлена структура модуля управління системи, що дозволяє максимально ефективно враховувати температурні параметри приливних повітряних мас, для ефективної роботи рекуператора і мінімізації утворення конденсату та нормальної вологості повітря в приміщеннях. Система дозволяє ефективно очищувати та нейтралізувати шкідливі домішки у повітрі, що надходить із зовнішнього середовища.

Для забезпечення якісного функціонування автоматизованої системи відповідно встановленим нормам, здійснено обрання технічних пристроїв та вузлів автоматизації, які б відповідали вимогам і задачам, щодо якісного протікання технологічного процесу. В процесі вибору засобів автоматизації обґрунтовано застосування технічних пристроїв для представленого об'єкту

керування, з урахуванням параметрів, що контролюються, а саме температури, вологості повітря, затратами електроенергії, засобами контролю відкривання заслінок тим самим регулювання повітряних потоків та ін. Обґрунтовано перспективи використання різнотипних сенсорів при зборі та обробці даних автоматизованою системою вентиляції та кондиціонування.

Запропоновано підвищення ефективності роботи адаптивної системи регулювання температури на основі застосування пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів, що дає можливість використання спеціальних способів, заснованих на обчисленнях по кривій перехідного процесу.

Проведений аналіз технологічного процесу вентиляції виробничих приміщень, як об'єкта керування та виявлення недоліків існуючих інформаційних алгоритмів і технічних пристроїв, що застосовуються при функціонуванні обладнання і систем клімат-контролю. Визначено та перераховано контрольовані параметри технологічного процесу.

Досліджено властивості системи автоматичного регулювання температури на виході з теплообмінника (рекуператора), реалізованої на основі ПІ-регулятора та послідовного адаптивного псевдолінійного коректуючого пристрою динамічних характеристик САР з амплітудним придушенням. Запропонований метод адаптації описується тим, що в процесі роботи системи регульовані параметри регулятора не змінюються і відповідають налаштуванню, що передує запуску системи в роботу.

Розроблено математичну модель САР температури конденсату з ПІ-регулятором на виході з кожухотрубного теплообмінника, це дозволяє забезпечити необхідний запас стійкості системи та підвищити якість перехідних процесів.

Представлено структурну схему адаптивної системи регулювання температури конденсату рекуператора із адаптивним псевдолінійним коректуючим пристроєм з амплітудним придушенням. Методи інтеграції запропонованої САР характеризується тим, що в процесі роботи системи

регульовані параметри ПІ-регулятора не змінюються та відповідають налаштуванню, що передуює запуску системи в роботу.

Промодельовано за допомогою математичного комплексу програмного забезпечення MatLab 6.5 (Simulink) модель САР, що не має властивостей адаптації. Початкові значення параметрів об'єкта управління та ПІ-регулятора однакові і у процесі роботи системи залишаються незмінними, це відображають графіки перехідних процесів побудовані за допомогою Simulink. Характер кривих дозволяє судити про здатність адаптацію системи регулювання до зміни параметрів об'єкта управління.

Запропонована автоматизована система клімат-контролю забезпечує надійну, безперебійну та якісну роботу і показала, що при збільшенні часу запізнення САР з адаптивним псевдолінійним коректуючим пристроєм з амплітудним придушенням залишається стійкою. Дослідження показали ефективність запропонованої адаптивної системи регулювання при зміні параметрів об'єкта управління з часом у досить широкому діапазоні. Це в свою чергу дає мінімізувати витрати фізичної праці, що значно підвищує надійність роботи такої системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і дог. К.: Либідь, 2007. — 656 с.
2. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042 - 99 [Чинний від 1999-12-01]. — К., Мінрегіонбуд України, 1999. - 9с.
3. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. ДБН В.2.5- 28-2006. [Чинний від 1 жовтня 2006 р.]. — К.:Мінбуд України, 1996. — 62 с.
4. Котунова, Д. Г. Огляд DIY елементів для систем «Smart Home» / Д. Г. Котунова, О. М. Павловський // XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна: збірник праць конференції. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — С. 35–38.
5. Кравченко В. Є. «Підвищення рівня енергетичної ефективності житлового будинку з побудовою системи енергетичного менеджменту»: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Кравченко В. Є. — Київ, 2019. — 84 с.
6. Розумне освітлення [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://milight.com.ua/ua/umnoe-osveshchenie/> 6. Семенюк В. В. Спосіб організації системи управління “Розумний Дім»» : 121. «Програмне забезпечення високопродуктивних комп’ютерів» / Семенюк В. В. — Київ, 2019. — 71 с.
7. Chen S, Xu H, Liu D, Hu B, Wang H. A vision of IoT: applications, challenges, and opportunities with China perspective. IEEE Internet Things J [Електронний ресурс].— 2019. — Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6851114>
8. D. Kundu, M. E. Khallil, T. K. Das, A. A. Mamun, and A. Musha. Smart home automation system using on IoT [Електронний ресурс] / Kundu, Mamun. — 2020. —

- Режим доступа до ресурсу: <https://www.ijser.org/onlineResearchPaperViewer.aspx?Smart-Home-AutomationSystem-Using-on-IoT.pdf>
9. Dickson B. How to prevent your IoT devices from being forced into botnet bondage [Электронный ресурс] / Dickson. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://techcrunch.com/2016/08/16/how-to-prevent-your-iot-devices-from-beingforced-into-botnet-slavery/>.
10. Gao, L.L. and Bai, X.S. A Unified Perspective on the Factors Influencing Consumer Acceptance of Internet of Things Technology. Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics [Электронный ресурс] / Gao, Bai. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/APJML-06-2013-0061/full/html>
11. Granzer W. P. Security in Building Automation Systems / Wolfgang Praus Granzer. Munich: Appress, 2019. – 578 с.
12. S. V. Gunge and S. P. Yalagi. Smart home automation: Arduino [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Smart%20home%20automation:%20a%20literature%20review&author=S.%20V.%20Gunge%20&author=S.%20P.%20Yalagi
13. Schaffers H, Komninou N, Pallot M, Trousse B, Nilsson M, Oliveira A Smart cities and the future internet: towards cooperation frameworks for open innovation. In The future internet assembly [Электронный ресурс] / Schaffers. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-20898-0_31
14. Santos L. Soares Performance Assessment of ESP8266 Wireless Mesh Networks / Luís Santos, Tiago Costa, João M. L. P. Caldeira, Vasco N. G. J. // Information. – 2022. – № 13 (5). – P. 1-15.
15. Cilfone A. Wireless Mesh Networking: An IoT-Oriented Perspective Survey on Relevant Technologies / A. Cilfone, L. Davoli, L. Belli, G. Ferrari // Future Internet. – 2019. – № 11 (4). – P. 1-35.

16. Trunov A., Kazan P., Aliksieiev V., Korolova O., Sliusarenko O., Dronyuk I. Functioning model of the ground robotic complex. CSIT Proc. 2021. Vol. 2. P. 128–131. DOI: 10.1109/CSIT52700.2021.9648595.
17. О. М. Трунов Рекурентна апроксимація у задачах моделювання та проектування : Монографія. Видавництво ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв. Миколаїв, 2012. – 275 с.
18. Trunov A., Recurrent Transformation of the Dynamics Model for Autonomous Underwater Vehicle in the Inertial Coordinate System. EasternEuropean Journal Enterprise Technologies, №2/4 (86), 2017, pp. 39–47.
19. Овчинников Н.А., Мисюрина К.В., Рудникова М.Н., Максимова Е.А. Формализованная модель информационной безопасности системы «Умный дом» // Апробация № 1. Ежемесячный научно-практический журнал – Махачкала: НИЦ «Апробация», 2016. – № 1 (40). – С.49-51. 67.
20. Моніт Я.В. Система «Розумний будинок» з відкритим програмним забезпеченням/ Я.В.Моніт // XIX науково-технічна конференція студентів та молодих учених «Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки», 15-16 лютого 2016 р. – К.: «Політехніка», 2016. – С. 43-44.
21. Котунова, Д. Г. Огляд DIY елементів для систем «Smart Home» / Д. Г. Котунова, О. М. Павловський // XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 35–38.

ДОДАТОК А