

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ

Група СІ-21-1

Аліна Лаврись

2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: Розробка системи управління вентиляцією офісних приміщень із врахуванням мікроклімату

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Студент: 4 курсу, групи СІ-21-1

_____ /А.В. Лаврись/
(підпис) (дата) (розшифровка підпису)

Керівник роботи

к.т.н., доц. _____ /Н.І. Іванюк/
(посада) (підпис) (дата) (розшифровка підпису)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри

д.т.н., проф. _____ /Л.М. Заміховський/
(посада) (підпис) (дата) (розшифровка підпису)

Факультет **інформаційних технологій**

Кафедра **інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем**

Спеціальність **151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТТС

д.т.н., проф. Л.М. Заміховський

“ _____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТОВІ

Лаврись Аліні Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи** **Розробка системи управління вентиляцією офісних приміщень із врахуванням мікроклімату**

Керівник роботи

к.т.н., доц. Іванюк Наталія Іванівна,

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

затверджені наказом по університету від “05” травня 2025 року № 281/7

2. Строк подання студентом роботи **15 червня 2025 року**

3. Вихідні дані до роботи **об'єкт управління – офісне приміщення, просторові параметри приміщення, функціональна схема системи автоматичного управління вентиляцією офісних приміщень, вимоги до якості функціонування системи автоматичного управління вентиляцією офісних приміщень**

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) **Вступ**

1 Огляд систем кондиціонування повітря в офісних приміщеннях

2 Принципи побудови систем автоматичного управління вентиляцією та кондиціонуванням в приміщеннях

3 Розробка функціональної схеми САУ вентиляцією

4 Дослідження моделі системи в середовищі MATLAB

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1 План розміщення офісних приміщень на поверсі будівлі

2 Система кондиціонування і вентиляції. Схема структурна

3 САУ припливно-витяжною вентиляційною установкою.

4 Схема функціонально-структурна модель САУ вентиляцією без регуляторів

5 Імітаційна модель САУ вентиляцією з ПІД-регулятором

6. Дата видачі завдання **03.03.2025**

Керівник _____

(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської випускної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	17.03.25	виконала
2	Огляд систем кондиціонування повітря в офісних приміщеннях із врахуванням мікроклімату	25.03.25	виконала
3	Пошук аналогічних систем та їх порівняльна характеристика	08.04.25	виконала
4	Принципи побудови систем автоматичного управління вентиляцією та кондиціонуванням в офісних приміщеннях	23.04.25	виконала
5	Розробка функціональної схеми САУ вентиляцією	12.05.25	виконала
6	Дослідження моделі системи в середовищі MATLAB	29.05.25	виконала
7	Налаштування параметрів регуляторів	04.06.25	виконала
8	Висновки	07.06.25	виконала
9	Оформлення графічних документів	09.06.25	виконала
10	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	14.06.25	виконала

Студент

(підпис)

Лавриць А. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Іванюк Н. І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В бакалаврській роботі розроблено систему автоматичного управління вентиляцією офісних приміщень із врахуванням основного параметру – температури повітря, проведено огляд існуючих систем вентиляції повітря, розраховано параметри системи вентиляції та розроблено функціональну схему САУ. В роботі розроблено математичні моделі офісних приміщень, датчика температури, теплообмінника, рекуператора, виконавчого механізму та вентиляційних мереж, підбрано параметри регулятора, На основі даних розрахунків побудовано модель системи в середовищі MATLAB з урахуванням особливостей елементів, проаналізовано результати моделювання.

ABSTRACT

In the bachelor's thesis, an automatic control system for office ventilation was developed, taking into account the main parameter – air temperature. A review of existing ventilation systems was conducted, the parameters of the ventilation system were calculated, and a functional diagram of the automatic control system was designed. The work includes the development of mathematical models for office spaces, a temperature sensor, a heat exchanger, a heat recovery unit (recuperator), an actuator, and ventilation networks. Controller parameters were selected, and based on the obtained data, a system model was built in MATLAB, considering the specific features of each component. The simulation results were analyzed.

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 62 сторінки, 15 рисунків, 4 таблиці, 22 посилання.

Об'єктом дослідження є система управління вентиляцією офісних приміщень.

Мета роботи – досягнення задовільних показників якості перехідних процесів системи автоматичного управління вентиляцією офісних приміщень із врахуванням мікроклімату (температури повітря) шляхом налаштування параметрів автоматичних регуляторів.

Головне завдання систем даного класу – досить швидко і точно відпрацьовувати сигнали задавача температури (на вході системи).

В першому розділі роботи проведено огляд систем кондиціонування та вентиляції офісних приміщень, здійснено пошук аналогічних систем та їх порівняльна характеристика.

В другому розділі проведено опис роботи САУ вентиляцією офісних приміщень, розроблено функціональну схему системи, дано характеристики і параметри об'єкта управління – офісного приміщення, а також інших функціональних елементів системи.

В третьому розділі проведено синтез системи управління вентиляцією офісних приміщень за допомогою передаточних функцій, а в четвертому розділі – побудовано імітаційну модель САУ без регулятора та з використанням ПД-регулятора.

ОФІСНЕ ПРИМІЩЕННЯ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ, ТЕМПЕРАТУРА ПОВІТРЯ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ПІДРЕГУЛЯТОР, ПЕРЕДАТОЧНА ФУНКЦІЯ, ПЕРЕХІДНА ХАРАКТЕРИСТИК

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
1 ОГЛЯД СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В ОФІСНИХ ПРИМІЩЕННЯХ	12
1.1 Проектування вентиляції, типи систем вентиляції	12
1.2 Мікроклімат в контексті систем управління вентиляцією офісних приміщень	16
1.3 Огляд систем кондиціонування повітря в офісних приміщеннях	19
1.4 Приклади існуючих систем управління вентиляцією	21
1.5 Постановка завдання	26
2 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯМ В ОФІСНИХ ПРИМІЩЕННЯХ ІЗ ВРАХУВАННЯМ МІКРОКЛІМАТУ	27
2.1 Узагальнена структурна схема САУ вентиляції і кондиціонування	27
2.2 Типова функціональна схема автоматизації припливної системи	27
3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ САУ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ	38
3.1 Розрахунок параметрів системи вентиляції	38
3.2 Розробка функціональної схеми САУ вентиляцією	44
4 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB	53
4.1 Обґрунтування вибору програмного середовища MATLAB для побудови імітаційної моделі системи управління вентиляцією	53
4.2 Створення імітаційної моделі системи	54

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка системи управління вентиляцією офісних приміщень із врахуванням мікроклімату. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
						7	62	
Розроб.		Лавриць				ІФНТУНГ СІ-21-1		
Перевір.		Іванюк						
Н. Контр.		Возний						
Затверд.		Заміховський						

4.3 Структурно-параметрична корекція САУ	57
ВИСНОВКИ	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	60

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ДТ	датчик температури
ПВВУ	припливно-витяжна вентиляційна установка
ПД-регулятор	пропорційно-інтегро-диференціюючий регулятор
ПП	пристрій порівняння
Р	регулятор
САУ	система автоматичного управління
САУВ	система автоматичного управління вентиляцією
СКВ	системи кондиціонування і вентиляції
СНіП	санітарні норми і правила

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку техніки спостерігається активне впровадження автоматизації в різні виробничі процеси. Це дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників, підвищити точність виконання операцій і пришвидшити їх виконання, що в цілому сприяє зростанню продуктивності.

Системи автоматичного управління (САУ) вентиляцією призначені для контролю та управління припливними й припливно-витяжними вентиляційними установками будівель. Такі системи можуть включати в себе різне обладнання: рекуператори, охолоджувачі, калорифери, регулювальні клапани та насоси в їхніх контурах, повітряні заслінки, фільтри тощо.

Основні завдання, які вирішуються завдяки впровадженню таких САУ:

- автоматичне підтримання встановленої температури та складу повітря в приміщеннях;

- забезпечення пожежної безпеки;

- оперативне виявлення несправностей вентиляційного обладнання.

Ключові функції САУ включають:

- автоматичне управління технологічним обладнанням згідно із заданими алгоритмами та режимами роботи;

- підтримання температури в межах, заданих у програмі контролера;

- постійний захист теплообмінника від замерзання на основі температури води та припливного повітря, а також контроль ступеня забрудненості фільтрів;

- інтеграція з системами пожежної безпеки та охорони будівлі;

- робота вентиляції в режимах “день/ніч” і “зима/літо”;

- моніторинг стану керованого обладнання;

- передача даних на диспетчерський пункт про параметри роботи, аварійні події та стан виконавчих механізмів;

- можливість дистанційного управління окремими пристроями при збереженні автоматизованого управління всією системою;

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- отримання команд з диспетчерського пункту для позапланового вмикання/вимикання вентиляції, а також для зміни температурних налаштувань у приміщеннях;

- місцеве управління вентиляційними установками за допомогою кнопових постів, розміщених у відповідних зонах.

Особливості САУ:

- можливість інтегрувати невеликі вентиляційні системи з контролерами більших установок без потреби в додаткових шафах управління;

- підтримка підключення пристроїв інших інженерних систем (наприклад, протипожежні клапани, димовидалювальні вентилятори, насоси) до контролерів вентиляційних систем;

- швидке й недороге внесення змін в контролер або програмне забезпечення у випадку коригування проекту;

- можливість налаштовувати температуру та інші параметри роботи безпосередньо з диспетчерського пункту;

- гнучкість алгоритмів управління, що дозволяє легко адаптувати їх під нові вимоги чи побажання замовника під час проектування інженерних систем [1].

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В ОФІСНИХ ПРИМІЩЕННЯХ ІЗ ВРАХУВАННЯМ МІКРОКЛІМАТУ

1.1 Проектування вентиляції, типи систем вентиляції

1.1.1 Основні принципи проектування вентиляції

Процес проектування вентиляційних систем є складним і потребує глибоких знань та відповідного досвіду. Це один з ключових етапів при створенні ефективно працюючих систем вентиляції та кондиціонування повітря. Для виконання розрахунків і підготовки проектної документації в кожному окремому випадку використовуються сучасні програмні інструменти, а також індивідуальний підхід із застосуванням нестандартних технічних рішень, що відповідають вимогам конкретного замовника.

Завдяки спеціалізованому програмному забезпеченню вже на етапі проектування вдається врахувати всі технічні й функціональні особливості майбутньої вентиляційної системи. Це значно знижує ймовірність виникнення потреби в подальших змінах або корекціях проекту чи обладнання в процесі експлуатації, або при зміні функціонального призначення будівлі. Програми дозволяють точно розрахувати розташування елементів вентиляції, а також їх типорозміри. В межах проектування визначається продуктивність вентиляційного обладнання, розраховується тепло- і повітрообмін у приміщеннях, проектується система повітропроводів та виконується правильний добір обладнання. Якщо система має недостатню продуктивність, вона не справляється з виведенням шкідливих речовин, тому перед її заміною зазвичай спочатку виконують регулювання та налаштування.

Під час теплотехнічних розрахунків беруть до уваги як зовнішні джерела теплового навантаження (що можуть як нагрівати, так і охолоджувати приміщення), так і внутрішні теплові надходження, які створюються людьми,

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технікою чи виробничими процесами, і мають лише позитивний вплив на теплообмін. Основні вимоги до проектування систем вентиляції включають санітарно-гігієнічні, архітектурно-будівельні, протипожежні, експлуатаційні та економічні аспекти, а також забезпечення надійності функціонування.

Обов'язковим є також техніко-економічне обґрунтування обраних технічних рішень. В частині техніко-економічного обґрунтування розглядаються всі основні параметри, що необхідні для правильного проектування вентиляції. Аналізується робочий проект системи, який включає повний перелік обладнання, загальну схему його розташування, плани трубопроводів та повітроводів. Визначається обрана типова схема вентиляції, її функціональні характеристики, параметри продуктивності, місця встановлення обладнання, спосіб його монтажу та експлуатації. Також обчислюється вартість системи вентиляції, що дозволяє оцінити доцільність технічних рішень в межах заданого бюджету [2]. В даній роботі техніко-економічне обґрунтування спроектованої системи проводиться не буде.

1.1.2 Типи систем вентиляції

Всі види вентиляційних систем мають такі основні характеристики:

- об'єм повітря, що подається або видаляється (від кількох десятків до десятків тисяч кубічних метрів за годину);
- величина створюваного тиску або статичний тиск (у кілопаскалях);
- теплова потужність калорифера (застосовується в припливних системах для підігріву зовнішнього повітря в холодний період) – від кількох до сотень кіловат;
- акустичні параметри – рівень шуму (у децибелах).

Класифікація вентиляційних систем здійснюється за кількома основними критеріями:

- за принципом руху повітря: (природна або механічна вентиляція);

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- за функціональним призначенням: (припливна або витяжна);
- за охопленням зони дії: (місцева або загальнообмінна вентиляція).

Природна вентиляція працює без застосування електроприладів – вентиляторів чи двигунів. Рух повітря відбувається під впливом природних чинників: різниці температур між вулицею та приміщенням, змін атмосферного тиску з висотою та вітрового навантаження. Такі системи мають просту конструкцію, невисоку вартість і не потребують складного монтажу. Проте їх ефективність залежить від зовнішніх погодних умов, тому не всі вентиляційні задачі можна вирішити лише природним шляхом.

Механічна (або штучна) вентиляція застосовується в разі, коли природної недостатньо. Вона передбачає використання технічних засобів – вентиляторів, фільтрів, калориферів тощо – для регулювання, очищення та підігріву повітря. Такі системи забезпечують подачу або видалення повітря незалежно від погодних умов. У реальних умовах часто використовуються комбіновані (змішані) системи, які поєднують природну і механічну вентиляцію для досягнення оптимального ефекту.

Припливна вентиляція використовується для надходження свіжого повітря у приміщення. За потреби, повітря перед подачею може очищуватися від пилу та підігріватися до комфортної температури.

Витяжна система, навпаки, забезпечує виведення з приміщення забрудненого або перегрітого повітря. У більшості випадків у приміщеннях встановлюють одночасно як припливні, так і витяжні установки. При цьому важливо, щоб їхня продуктивність була узгодженою, інакше виникатиме дисбаланс тиску, що призводить до небажаних ефектів, наприклад, самовільного відкривання або закривання дверей.

Місцева вентиляція призначена для забезпечення повітрообміну в конкретних ділянках простору. Це може бути як локальне надходження свіжого повітря (місцева припливна вентиляція), так і локальне видалення шкідливих домішок (місцева витяжна вентиляція). Останній варіант

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективно використовують у ситуаціях, коли джерела забруднень чітко визначені, і важливо не допустити їх поширення по всьому приміщенню. Така вентиляція є досить ефективною і фінансово доступною. Місцеву припливну вентиляцію часто застосовують для подачі свіжого повітря безпосередньо до зон перебування людей, що допомагає локально знизити температуру повітря.

Загальнообмінна вентиляція забезпечує циркуляцію повітря в усьому приміщенні. Вона також поділяється на припливну і витяжну. Припливна загальнообмінна система зазвичай потребує підігріву і очищення усього обсягу подаваного повітря, тому вона виконується у вигляді механічної установки. Витяжна загальнообмінна вентиляція, як правило, має простішу конструкцію: достатньо встановити витяжний вентилятор у стіну або вікно. Якщо обсяги повітря невеликі, можливе використання природної витяжної вентиляції, що обходиться дешевше, ніж механічна [3].

Крім основної класифікації, припливні вентиляційні установки також поділяють за кількома додатковими критеріями:

1) за типом нагрівального елемента:

- з електричним нагрівачем (електрокалорифером);
- з водяним теплообмінником (водяним калорифером).

2) за обсягом подачі повітря:

- міні-установки, що забезпечують витрату повітря від 200 до 3000 м³/год;
- центральні установки – з продуктивністю понад 3000 м³/год.

3) за способом встановлення:

- моделі для вертикального монтажу;
- пристрої для горизонтального розміщення;
- універсальні варіанти, які допускають обидва типи монтажу.

Щодо автоматизації: в сучасних припливних установках система управління дозволяє регулювати потужність електричного нагрівача як

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поетапно, так і плавно. Це дає змогу точно налаштувати температуру повітря на виході, особливо в зимовий період. Крім того, можливе підключення таймера для автоматичного переходу на знижені температурні параметри в нічний час.

1.2 Мікроклімат в контексті систем управління вентиляцією офісних приміщень

Мікроклімат – це сукупність фізичних параметрів повітряного середовища в замкнутому просторі, які безпосередньо впливають на самопочуття, працездатність і здоров'я людей. Основні параметри мікроклімату включають:

- температуру повітря;
- вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- рівень чистоти повітря (вміст CO₂, пилу, шкідливих газів);
- температуру поверхонь огорожувальних конструкцій.

Умови мікроклімату безпосередньо впливають на продуктивність персоналу, рівень комфорту та виникнення захворювань. Занадто висока температура викликає втому, низька – дискомфорт; підвищена концентрація CO₂ викликає сонливість і головний біль.

Система автоматичного управління вентиляцією (САУВ) офісного приміщення призначена для:

- підтримання стабільного мікроклімату відповідно до нормативних вимог (наприклад, ДБН В.2.5-67:2013 або ASHRAE 55);
- адаптації режимів вентиляції до кількості присутніх осіб і зовнішніх умов;
- енергозбереження за рахунок рекуперації тепла, оптимізації витрат повітря та роботи вентиляторів.

До типових елементів систем управління відносять:

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- датчики температури, вологості, CO₂ – для безперервного контролю стану повітря;
- програмований контролер (ПЛК) – виконує алгоритми управління на основі показів датчиків;
- приводи заслінок, вентилятори, нагрівачі, охолоджувачі – елементи, що безпосередньо змінюють параметри повітря;
- рекуператор тепла (наприклад, роторного типу) – забезпечує повернення частини тепла із витяжного повітря у припливне.

В сучасних САУВ застосовуються:

- ПД-регулятори – для точного підтримання температури;
- логіка управління за графіками навантажень (наприклад, зниження вентиляції вночі або у вихідні);
- сценарне управління – реакція на події (виявлення присутності, відкриття вікон, перевищення CO₂).

При проектуванні САУВ враховується:

- навантаження на вентиляцію – залежить від площі приміщення, кількості людей, техніки;
- нормативні значення параметрів – наприклад, температура 22-25°C, вологість 40-60%, CO₂ < 1000 ppm;
- тип офісу (відкритий простір, переговорні кімнати, серверні);
- варіативність навантаження протягом доби – потрібна гнучка адаптація системи.

Оцінка важливості контролю компонентів мікроклімату базується на міждисциплінарному підході, що включає санітарно-гігієнічні норми (наприклад, ДБН В.2.5-67:2013, ГОСТ 30494-2011, ASHRAE 55), медико-фізіологічні дослідження, стандарти енергоефективності та практичний досвід у проектуванні систем автоматизації вентиляції (табл. 1.1-1.2).

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Узагальнена оцінка важливості компонентів мікроклімату

Компонент мікроклімату	Відсоток важливості	Аргументація
Температура повітря	40%	Основний чинник комфорту і працездатності людини. Навіть відхилення на $\pm 1-2^{\circ}\text{C}$ викликає дискомфорт. Впливає на теплообмін і споживання енергії
Вологість повітря	25%	Надто сухе повітря \rightarrow пересушення слизових оболонок; надто вологе \rightarrow пліснява, конденсат. Впливає на терморегуляцію тіла людини
Рівень чистоти повітря (CO ₂ , пил, VOC)	20%	Високий рівень CO ₂ \rightarrow зниження концентрації, головний біль. Вплив на здоров'я й ефективність роботи особливо відчутний у щільно заселених офісах
Швидкість руху повітря	10%	Має значення при порушенні комфортного теплового балансу (ефект протягу), але менш критична за нормальних умов
Температура огороджувальних конструкцій (стін)	5%	Впливає на радіаційний теплообмін. Важливо в холодних регіонах і при поганій теплоізоляції

Таблиця 1.2 - Узагальнена оцінка важливості компонентів мікроклімату (сумарна оцінка)

Компонент	Важливість (%)
Температура повітря	40%
Вологість повітря	25%
Рівень чистоти повітря (CO ₂ , пил, шкідливі гази)	20%
Швидкість руху повітря	10%
Температура поверхонь огороджувальних конструкцій	5%
Разом:	100%

Отже, мікроклімат – це центральне поняття при розробці систем управління вентиляцією офісів. Ефективна САУВ повинна забезпечувати комфортні умови при мінімальному споживанні енергії, адаптуючись до змін навантаження в режимі реального часу. Саме мікроклімат визначає завдання для всієї автоматизованої системи: які параметри контролювати, які приводи використовувати, як реалізувати алгоритми управління.

1.3 Огляд систем кондиціонування повітря в офісних приміщеннях

Вентиляція в офісних просторах необхідна для подачі свіжого повітря та створення комфортного мікроклімату, що сприяє продуктивній роботі та доброму самопочуттю персоналу. Вибір системи вентиляції залежить від розмірів приміщення, висоти стелі та кількості співробітників, які перебувають у ньому.

Системи кондиціонування в офісі забезпечують підтримання приємної температури, однак цього недостатньо: важливу роль відіграє також якість повітря, яким дихають працівники. Сучасні герметичні вікна й двері, хоча й ефективні з точки зору енергоощадження, утримують у приміщенні повітря, яке вже втратило свої свіжі властивості.

У деяких випадках частково забезпечити потребу в зовнішньому повітрі можуть касетні чи каналні кондиціонери, які можуть подавати до 15% свіжого повітря ззовні. Для житлових приміщень цього, як правило, достатньо, однак в офісах, де зосереджено багато людей і техніки, цього відсотка явно недостатньо.

З цієї причини в офісних приміщеннях потрібно встановлювати повноцінні вентиляційні системи. Це можуть бути компактні припливні установки, що включають вентилятор (подача зовнішнього повітря), фільтр (очищення) і калорифер (підігрів). Ефективнішим варіантом є припливно-витяжні системи. Вони можуть бути електричними або водяними – залежно від того, за рахунок

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чого нагрівається повітря: електронагрівача чи теплоносія з системи опалення. Деякі моделі також оснащуються блоками рекуперації тепла.

Параметри системи вентиляції підбираються з урахуванням площі, планування, призначення приміщення та кількості осіб, які в ньому перебувають. Чим більше людей у приміщенні, тим більший об'єм повітря їм необхідний. Згідно з санітарними нормами, на одну людину має припадати 30–40 м³ свіжого повітря, а мінімальна площа робочого місця – близько 6 м².

Часто виникає ситуація, коли вентиляційна система для офісу монтується вже після завершення будівельних робіт. При цьому проєктанти найчастіше обирають варіанти, де нагрів повітря здійснюється за допомогою електроенергії. Однак у випадку великих приміщень це рішення не завжди підходить, оскільки ліміти на електроспоживання можуть не дозволяти використовувати необхідну потужність для ефективного обігріву повітря. У такому випадку більш вигідною виглядає система з водяним нагрівом, бо на споживання гарячої води з тепломережі зазвичай обмеження не накладаються. Проте і ця система має свої недоліки: залежність від міської тепломережі з її аваріями та позаплановими відключеннями. Крім того, для безперебійної експлуатації водяної системи зазвичай потрібно мати у штаті спеціаліста. У той час як електричні системи простіші в обслуговуванні і не потребують додаткового персоналу.

Щоб зрозуміти, яка система вентиляції підходить для конкретного офісу, слід виходити з кількості працівників і площі. При нормі площі 6 м² на одну людину, офіс на 30 працівників має займати близько 180 м². Для такого приміщення цілком достатньо вентиляційної системи з електропідігрівом. Якщо ж персоналу більше, а площа більша, то варто проєктувати систему з водяним нагрівом або з рекуперацією тепла. Адже використання лише електричних калориферів в таких умовах може бути обмеженим через встановлені енергетичні ліміти. Електричні установки ефективно обслуговують площу до 500 м². Якщо ж офіс перевищує цю площу, доцільніше застосовувати водяні

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентиляційні системи, які також можуть бути оснащені рекупераційними модулями.

Альтернативою промисловим системам з електронагрівачем та утилізатором тепла є модульні вентиляційні комплекси. До них входять окремі елементи: вентилятор, фільтр, електрокалорифер і рекупераційний блок. Таке рішення дозволяє зменшити витрати на встановлення системи без втрати функціональності, що робить його привабливим варіантом для офісів.

Усі типи вентиляційних установок потребують мережі повітроводів. Вони можуть бути прихованими за підвісною стелею або прокладеними відкрито в коробах уздовж стін приміщення. Деякі системи передбачають використання гнучких повітропроводів, які при відповідному оформленні можуть виконувати ще й декоративну функцію. Повітря подається та видаляється з приміщення через решітки, встановлені у стінах або на стелі, забезпечуючи рівномірний повітрообмін [4-5].

1.4 Приклади існуючих систем управління вентиляцією

В якості аналогів розглянемо дві системи управління вентиляцією: вітчизняну систему припливно-витяжної вентиляції з водяним нагрівачем і рекуперацією тепла VENTS VUT/VUE WH EC та німецьку систему “Klimat” з роторним рекуператором.

VENTS VUT/VUE WH EC – це вискоелективна припливно-витяжна вентиляційна установка (рис. 1.1), яка забезпечує обмін повітря в приміщеннях із одночасною рекуперацією тепла, фільтрацією та нагрівом свіжого повітря. Вона розроблена для забезпечення комфортного мікроклімату в житлових, офісних і комерційних будівлях, при цьому знижуючи енергоспоживання.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Установка типу ВУТ 350 ВБ ЕС

Основні її характеристики:

- тип вентиляції: припливно-витяжна з рекуперацією тепла;
- продуктивність: залежить від моделі (від 400 до понад 2000 м³/год);
- тип теплообмінника: пластинчастий (перехресноточний або ентальпійний, до 98% ефективності);
- тип нагрівача: вбудований водяний нагрівач (WH);
- тип двигунів: ЕС-двигуни (енергоефективні, з низьким рівнем шуму);
- фільтрація: встановлені фільтри класу G4 або F7 (залежно від комплектації);
- матеріал корпусу: оцинкована сталь з тепло- і шумоізоляцією [6].

Установки обробки повітря являють собою повністю завершені вентиляційні агрегати з рекуперацією тепла, які забезпечують фільтрацію повітря, подавання свіжого, а також видалення забрудненого повітря. Установки призначені для використання як енергоефективне рішення для вентиляції приватних будинків та квартир. Корпус виконаний із високоякісної сталі з полімерним покриттям і оснащений внутрішньою тепло- та звукоізоляцією з мінеральної вати.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Потоки припливного та витяжного повітря проходять очищення в панельних фільтрах класів F7 та G4 відповідно. В установках ВУТ/ВУЕ 250 ВБ ЕС для очищення припливного і витяжного повітря застосовуються фільтри G4. Для очищення припливного повітря опційно доступний фільтр F7.

Як вентилятори застосовуються високоефективні електронно-комутовані (ЕС) двигуни із зовнішнім ротором, обладнані відцентровим робочим колесом із загнутими назад лопатками.

Установки ВУТ В(Б) ЕС обладнані протипотоковим рекуператором, виконаним із полістиролу. Також установки ВУТ/ВУЕ ВБ ЕС оснащені байпасом для літнього провітрювання.

Установки ВУТ/ВУЕ В(Б) ЕС А21 оснащені вбудованою системою автоматики. Контролер А21 дає змогу інтегрувати установку до системи “Розумний дім” або BMS (Building Management System). Для управління установкою через Wi-Fi необхідно завантажити мобільний додаток VENTS Home.

Застосування систем даного класу:

- житлові будинки та квартири;
- офіси та адміністративні будівлі;
- магазини, школи, дитячі садки;
- інші комерційні та громадські приміщення.

Переваги:

- висока енергоефективність завдяки ЕС-вентиляторам та рекуперації;
- надійна робота в холодний період року завдяки водяному нагрівачу;
- просте підключення до систем автоматики будівлі;
- компактний дизайн і зручний монтаж [6].

Щодо іноземного аналогу, то основне призначення універсальної системи “Klimat” – прямоточна (без рециркуляції) подача в приміщення очищеного нагрітого або охолодженого зовнішнього повітря з автоматичною підтримкою заданої користувачем температури в приміщенні згідно значення, встановленого

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживачем. Установка забезпечує стабільне співвідношення між припливом і витяжкою повітря у приміщенні або створює необхідну різницю між ними, залежно від потреб. За необхідності допускається часткова рециркуляція, коли частина повітря з приміщення підмішується до зовнішнього потоку. Це дозволяє покращити енергоефективність роботи системи [7].

Через мережу повітропроводів у приміщення подається свіже повітря, яке попередньо проходить фільтрацію та нагрів або охолодження. Забруднене, вологе та насичене випарами повітря виводиться назовні. Завдяки цьому забезпечується постійна вентиляція приміщення протягом доби, навіть при повністю зачинених вікнах.

Управління установкою здійснюється за допомогою компактного настінного пульта з мікропроцесорною автоматикою, розташованого у зручному для користувача місці. Основні функції управління включають:

- налаштування бажаної температури в приміщенні (режими обігріву та охолодження);
- активація режиму вентиляції без зміни температури повітря;
- багатоступенева регуляція обертів вентиляторів;
- вбудований таймер для програмування щоденного або тижневого розкладу роботи;
- відображення заданої та фактичної температури в приміщенні, зовнішньої температури, активних режимів, роботи компресора;
- повністю автоматизоване управління, що не вимагає втручання користувача протягом всього терміну експлуатації, навіть при зміні погодних умов.

Принцип роботи установки “Klimat”. “Klimat” – це припливно-витяжна вентиляційна система (ПВВУ), виконана в теплоізольованому корпусі з оцинкованої сталі. В її конструкції передбачено окремі канали для припливного та витяжного повітря, у яких розміщені два двосторонні радіальні вентилятори,

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

касетні фільтри, тепловий насос реверсивного типу, електричний або водяний нагрівач, а також автоматична система управління.

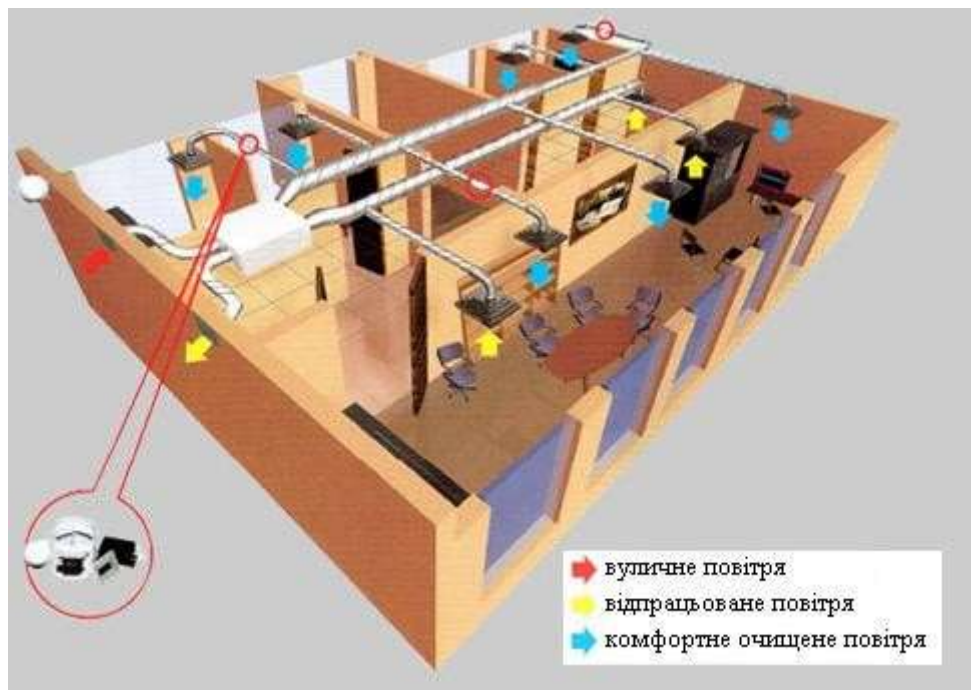


Рисунок 1.2 – Схема будинку з установленою системою “Klimat”

Тепловий насос є герметичною фреоновою системою, заповненою ще на виробництві. У припливному та витяжному каналах встановлено мідно-алюмінієві пластинчасті теплообмінники. У режимі охолодження теплообмінник у припливному каналі працює як випарник і знижує температуру повітря, яке подається в приміщення, а теплообмінник у витяжному каналі віддає надлишкове тепло повітрю, що видаляється назовні.

Склад системи “Klimat”:

- 1) фільтри;
- 2) вентилятори;
- 3) компресор фреонового контуру;
- 4) електричний нагрівач;
- 5) водяний калорифер;
- 6) теплообмінники;

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 7) підсистема автоматики;
- 8) тепло-ізолюваний корпус [7].

1.5 Постановка завдання

Метою роботи є розробка системи автоматичного управління вентиляцією офісних приміщень із врахуванням мікроклімату. Оскільки із врахуванням всіх параметрів мікроклімату система виходить достатньо складною в рамках даної роботи, тому основний акцент буде зроблено проектуванні на дослідженні контуру управління температурою в офісних приміщеннях.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- описати загальні підходи до проектування систем вентиляції;
- провести огляд існуючих систем вентиляції та кондиціонування повітря;
- розробити функціональну схему системи;
- виконати математичний опис функціональних елементів системи автоматичного управління вентиляцією;
- записати передаточні функції елементів системи;
- побудувати модель системи в середовищі MATLAB;
- оцінити якісні показники перехідної характеристики;
- провести корекцію даної системи шляхом введення в систему регулятора;
- зробити висновки.

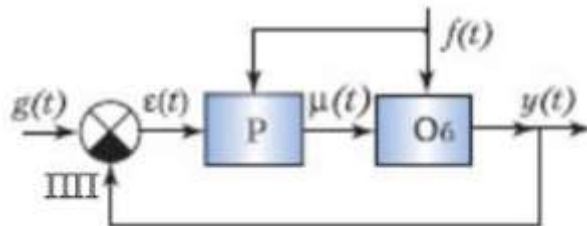
					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯМ В ОФІСНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

2.1 Узагальнена структурна схема САУ вентиляції і кондиціонування

Під час проектування та впровадження систем автоматичного управління вентиляцією та кондиціонуванням повітря важливо враховувати характеристики як окремих компонентів системи управління, так і системи загалом. Ці характеристики відображають поведінку елементів у перехідних і сталих режимах, що дозволяє правильно підібрати регулятор, датчики та виконавчі пристрої, а також ефективно налаштувати САУ.

Найчастіше для математичного опису таких систем використовують передаточні функції $W(s)$, які демонструють залежність між вхідними та вихідними сигналами окремих вузлів і всієї системи в цілому [8]. Узагальнена структурна схема системи автоматичного управління може бути подана у вигляді, наведеному на рисунку 2.1.



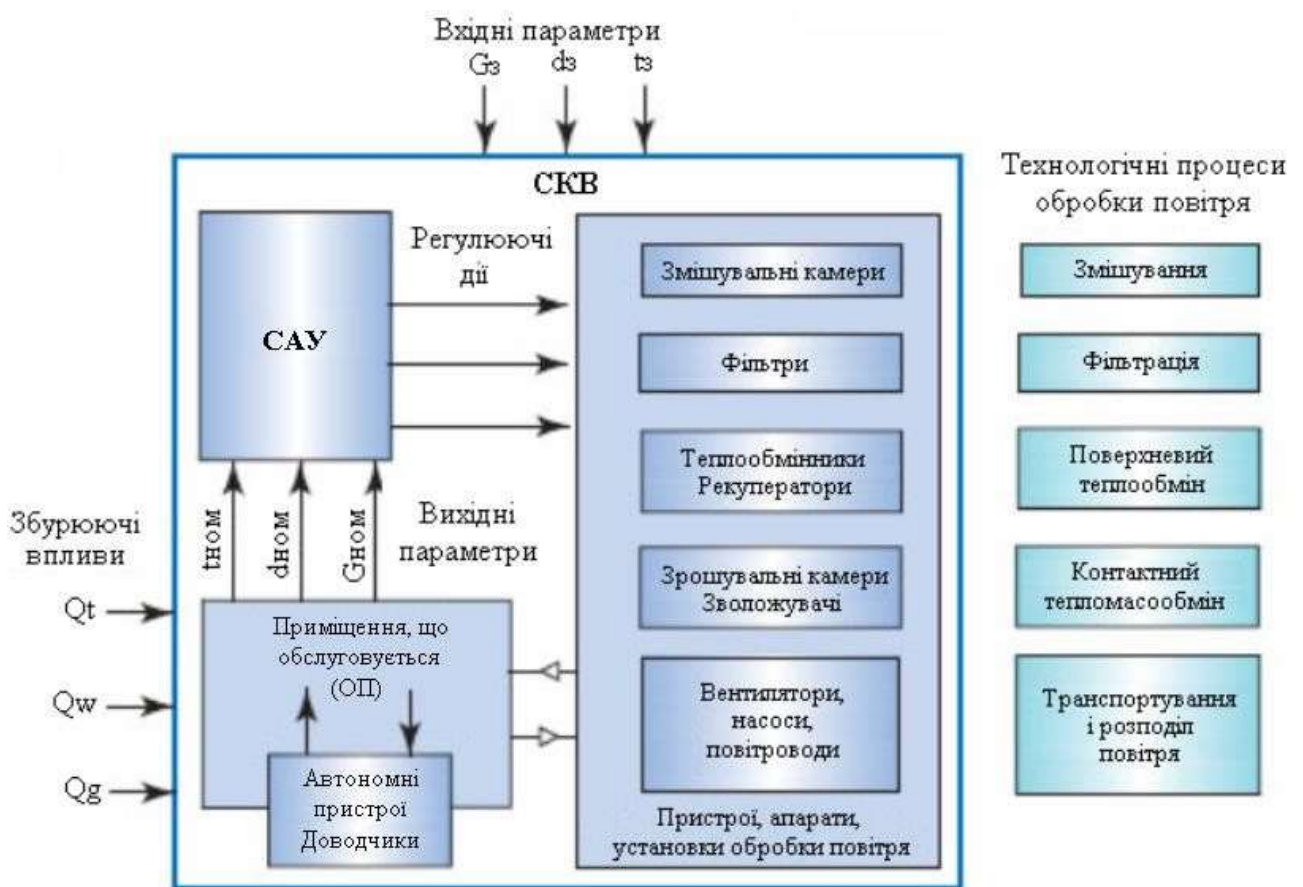
Об – об’єкт управління, ПП – пристрій порівняння, Р – регулятор,
 $f(t)$ – збурення, $y(t)$ – регульована величина, $\varepsilon(t)$ – помилка управління,

$g(t)$ – задаюча дія, $\mu(t)$ – управляюча дія

Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема САУ

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаючи $W_{об}(s)$ і задаючись властивостями САУ – передаточною функцією $W_{пп}(s)$, можна вибрати регулятор – $W_p(s)$. Реально система кондиціонування та вентиляції (СКВ) як об’єкт управління достатньо складна (рис. 2.2). Тому передаточні функції об’єкту управління $W_{об}(s)$ визначають для окремих функціональних елементів системи з використанням передаточних функцій типових динамічних ланок. Знаходження передаточної функції всієї СКВ як об’єкту управління проводиться за правилами визначення сумарної передаточної функції при різному з’єднанні ланок [8].



t_3, d_3, G_3 – температура, вологість, витрата зовнішнього повітря

t_n, d_n, G_n – температура, вологість, витрата повітря в приміщенні

Q_t, Q_w, Q_g – теплове, вологісне та газове навантаження

Рисунок 2.2 – Узагальнена структурна схема СКВ як об’єкта автоматизації

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо найбільш типові функціональні елементи СКВ як об'єкти управління: обслуговувані приміщення, теплообмінники, камери змішення, повітроводи тощо.

2.2 Типова функціональна схема автоматизації припливної системи

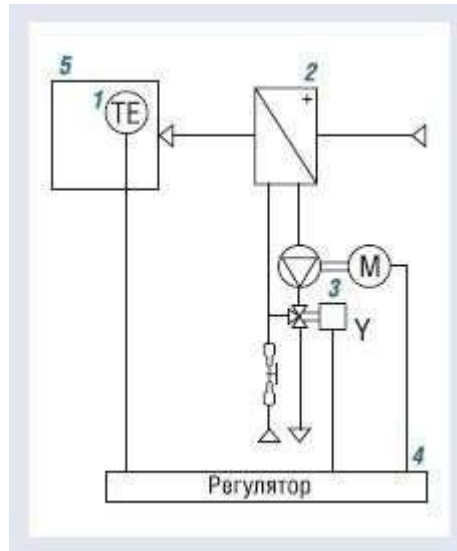
Щоб оцінити, як система автоматичного управління реагує на збурення, зазвичай достатньо побудувати її перехідну характеристику $W_{\text{сист}}(s)$, яка демонструє реакцію системи на одиничний стрибкоподібний вплив. Таку характеристику можна визначити на основі математичної моделі системи або ж за допомогою передаточної функції.

Початковий етап створення математичної моделі динаміки системи найдоцільніше почати з аналізу процесів, що відбуваються в припливній вентиляційній установці, яка обслуговує конкретне приміщення. У цій системі теплообмінник функціонує відповідно до сигналу температурного датчика, встановленого в приміщенні, який реагує на відхилення температури від заданого значення. Таким чином, система формує замкнутий контур управління. При цьому передбачається реалізація якісного управління: зміни теплових надходжень і втрат у приміщенні компенсуються зміною температури повітря, яке подається при незмінному об'ємі його подачі. Температура припливного повітря регулюється за рахунок зміни пропорції охолодженої води, що змішується з гарячою через триходовий клапан, при цьому сумарна витрата води через теплообмінник залишається сталою [9].

Схематично функціональна схема автоматизації припливної системи представлена на рисунку 2.3.

На рисунку 2.4 наведено структурну схему системи автоматичного управління, яка призначена для підтримання мікроклімату в приміщенні. При її розробці було враховано, що обраний спосіб управління передбачає вплив на вхідні параметри приміщення, яке розглядається як об'єкт управління.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – датчик температури, встановлений в приміщенні;
 2 – теплообмінник (водяний повітрянагрівач); 3 – виконавчий орган (трьохходовий клапан з електроприводом); 4 – регулятор; 5 – приміщення
 Рисунок 2.3 – Функціональна схема автоматизації об’єкта управління

До вхідних параметрів (рис. 2.4) належать змінні тепловтрати або теплопоступлення Q , Вт, тоді як керованим параметром є температура повітря в приміщенні $t_{п}$, °С. У такому підході САУ разом із вентиляційною установкою утворюють контур зворотного зв’язку зі знаком “-” між подачею тепла Q та температурою $t_{п}$. Подібне функціональне рішення вже раніше розглядалося авторами в одній із попередніх публікацій [10].

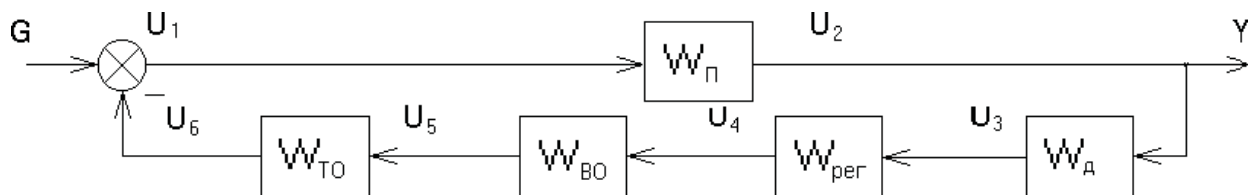


Рисунок 2.4 – Функціонально-структурна схема САУ для системи забезпечення мікроклімату приміщення

Передаточна функція системи згідно положень теорії автоматичного управління буде мати вигляд:

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{сист}} = \frac{W_{\text{П}}}{1 + W_{\text{Д}}W_{\text{рег}}W_{\text{ВО}}W_{\text{ТО}}W_{\text{П}}}, \quad (2.1)$$

де:

$W_{\text{рег}}$ – передаточна функція регулятора;

$W_{\text{ВО}}$ – передаточна функція виконавчого органу. У даному випадку виконавчим органом є триходовий кран з електроприводом;

$W_{\text{ТО}}$ – передаточна функція теплообмінника, тобто повітрянагрівача;

$W_{\text{П}}$ – передаточна функція приміщення;

$W_{\text{Д}}$ – передаточна функція датчика.

Символи U_1-U_6 позначають сигнали після проміжних ланок системи. Тоді математична модель перехідного процесу в САУ виглядатиме так [11]:

$$W_{\text{сист}}(s) = \frac{a_1s^2 + a_2s + a_3}{a_4s^3 + a_5s^2 + a_6s + a_7}, \quad (2.2)$$

де:

a_1-a_7 – коефіцієнти, що отримують при підстановці в (2.1) передаточних функцій елементів САУ з урахуванням їх коефіцієнтів передачі та сталих часу;

s – деякий комплексний параметр розмірності, s^{-1} .

Відповідно до визначень, даних раніше, і схеми САУ, наведеною на рисунку 2.4, за фізичним змістом передаточна функція $W_{\text{сист}}$ представляє зміну температури $t_{\text{П}}$ в часі при одиничному тепловому стрибку, тобто при $Q = 1$ Вт. Отже, розмірність $W_{\text{сист}}$ повинна бути $[K / \text{Вт}]$.

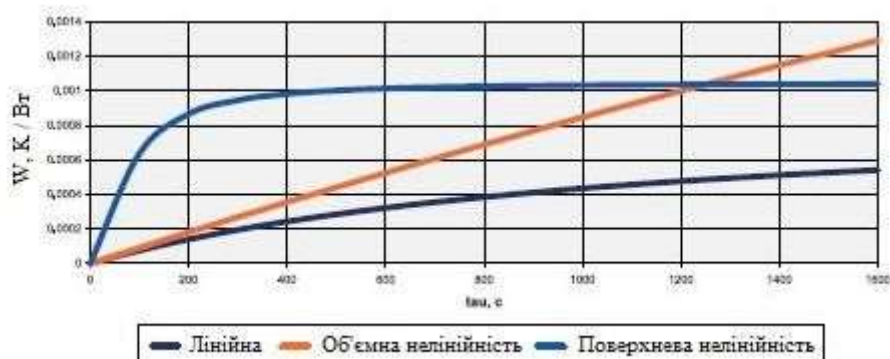


Рисунок 2.5 – Перехідні характеристики САУ ($K = 0,002$)

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівняння (2.2) описує перехідний процес у формі зображення, що отримується шляхом застосування інтегрального перетворення Лапласа до оригінальної перехідної функції. Щоб відновити цю початкову функцію на основі її зображення, необхідно скористатися зворотним перетворенням Лапласа, яке також відоме як інтегральне перетворення Карсона [12]. Проте, в більшості практичних випадків, окрім найпростіших, виконання такого зворотного перетворення потребує застосування чисельних методів, що, в свою чергу, вимагає використання комп'ютерів і спеціального програмного забезпечення.

З цієї причини доцільним є використання наближених аналітичних підходів для отримання значень оригіналу перехідної функції. Суть цього підходу полягає у формальному заміщенні оператора s на $1/\tau$, де τ – час, що минув з моменту прикладання впливу до системи (у секундах). Така заміна обґрунтовується аналізом розмірностей і дозволяє, як показує досвід роботи з простими прикладами, доволі точно оцінити поведінку перехідної функції з використанням нескладного математичного апарату. При цьому похибка при розрахунку максимального відхилення зазвичай не перевищує 15-20%, що є цілком прийнятним для інженерної практики.

Застосувавши описаний метод, можна без значних труднощів вирішити одне з головних завдань при проектуванні САУ – визначити коефіцієнт підсилення регулятора. Проте додатковий інтерес становить вивчення впливу динамічних характеристик приміщення, що обслуговується, на форму перехідного процесу, а отже, і на необхідну настройку $K_{рег}$. На рисунках 2.5 і 2.6 зображено графіки перехідних процесів для одноразового теплового впливу, побудовані за наближеним методом для трьох варіантів функції $W_{прим}$. Чорні криві відповідають найпростішому випадку, коли приміщення моделюється як інерційна ланка першого порядку. Червоні криві ілюструють розвиток процесу з урахуванням так званої об'ємної нелінійності, або точніше – тієї фази, коли

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщення на початку можна вважати інтегруючою ланкою з відповідною передаточною функцією:

$$W_{\text{прим}}(s) = \frac{K_{\text{прим}}}{s}, \quad (2.3)$$

де $K_{\text{прим}} = 1/(V \cdot c \cdot \rho)$,

V – об'єм приміщення, м^3 ,

c – питома теплоємність внутрішнього повітря, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$,

ρ – густина внутрішнього повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$.

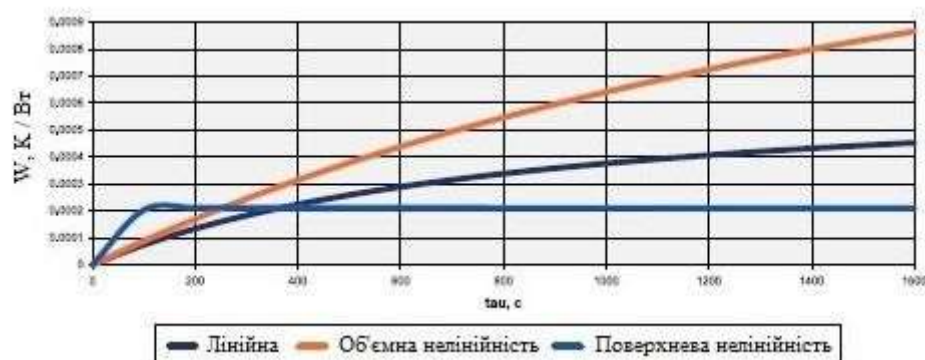


Рисунок 2.6 – Перехідні характеристики САУ ($K = 0,01$)

Сині криві на графіках ілюструють динаміку переходної функції за другим рівнем наближення, в якому враховано поверхневу нелінійність, пов'язану з поширенням температурної хвилі всередині шарів огорожувальних конструкцій, що прилягають до внутрішнього об'єму приміщення. В такій ситуації поведінку приміщення можна змоделювати як напівінтегруючу ланку з передаточною функцією відповідного вигляду:

$$W_{\text{прим}}(s) = \frac{K_{\text{прим}}}{s^{3/2}}, \quad (2.4)$$

тому що швидкість початкового прогріву огорожень пропорційна $\tau^{1/2}$ [12].

Коефіцієнт $K_{\text{прим}}$, $\text{К}/(\text{Вт} \cdot \text{с}^{1/2})$ визначається через площі поверхонь F_i , м^2 та їх показники теплопоглинання Y_i , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що обчислюються у відповідності з [13]:

$$K_{\text{прим}} = \frac{0,886}{\sum(Y_i F_i)} \sqrt{\frac{2 \cdot \pi}{86400}}, \quad (2.5)$$

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де 0,886 – значення спеціальної гамма-функції для аргументу, рівного 3/2, 86400 – період гармонічних коливань температурної хвилі в секундах.

В даному випадку вираз для перехідної функції може бути записаним у вигляді:

$$W_{\text{сист}}(s) = \frac{a_1 s^2 + a_2 s + a_3}{a_4 s^{7/2} + a_5 s^{5/2} + a_6 s^{3/2} + a_7} \quad (2.6)$$

Тоді за допомогою методу заміни оператора s на $1/\tau$ модель цієї функції виглядатиме наступним чином:

$$W_{\text{сист}}(t) = \frac{a_1 \left(\frac{1}{t}\right)^2 + a_2 \left(\frac{1}{t}\right) + a_3}{a_4 \left(\frac{1}{t}\right)^{7/2} + a_5 \left(\frac{1}{t}\right)^{5/2} + a_6 \left(\frac{1}{t}\right)^{3/2} + a_7} \quad (2.7)$$

Для побудови повнішої моделі, яка враховує як процес теплообміну на поверхні, так і теплову інерційність огорожень, доцільно використати передаточну функцію, що є сумою двох окремих функцій, кожна з яких описує відповідний фізичний вплив. Такий підхід дає змогу адекватно змоделювати загальну реакцію приміщення на теплове збурення, оскільки обидва ефекти – поверхнева передача тепла та його накопичення в товщі матеріалів – відбуваються одночасно та можуть розглядатися як паралельні процеси [12]:

$$W_{\text{прим}}(s) = \frac{K_{\text{прим}}}{T_{\text{прим}} s + 1} + \frac{K_{\text{прим}}}{s^{3/2}}, \quad (2.8)$$

де $T_{\text{прим}}$, s , і $K_{\text{прим}}$, К/вт – відповідно постійна часу і коефіцієнт передачі приміщення по каналу “Q - $t_{\text{пов}}$ ” при врахуванні тільки поверхневого теплообміну та акумулювання теплоти в об’ємі повітря. Втім, результати обчислень свідчать, що графіки перехідних функцій, побудовані за допомогою наближення (2.8), практично повністю збігаються з кривими, отриманими для повної нелінійної моделі (2.4), причому розбіжність між ними не перевищує товщину лінії на графіку.

Отже, цілком обґрунтовано зупинитися на варіанті моделювання, який враховує лише поверхневу нелінійність, пов’язану з процесом поширення теплової хвилі в матеріальних шарах конструкцій, звернених у бік приміщення.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб провести подальші розрахунки, необхідно подати коефіцієнт передачі приміщення в одиницях К/Вт. Для цього зручно представити $K_{\text{прим}}$ як добуток $C_{\text{прим}} \cdot K_{\text{прим}}$, де $K_{\text{прим}} = 1/\sum(\gamma_i F_i)$, К/Вт, а $C_{\text{прим}} = 7.56 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1/2}$.

Таким чином, передаточну функцію САУ у формі (2.6) можна перетворити у спрощений вираз, який зберігає характерні риси оригінальної перехідної функції, враховує ключові впливові фактори і при цьому не включає ступінь оператора s , вищу за $3/2$. Отримане рівняння приймає наступний вигляд [10]:

$$W_{\text{прим}}(s) = \frac{K_{\text{прим}}(1+sT)}{BK_{\text{пер}}+As^{3/2}}, \quad (2.9)$$

де $T = T_{\text{ТО}} + T_{\text{дат}}$, s – еквівалентна стала часу системи; A – деякий параметр, значення якого повинно підбиратися за результатами чисельних розрахунків, а коефіцієнт $B = K_{\text{прим}} \cdot K_{\text{дат}} \cdot K_{\text{ТО}} \cdot K_{\text{во}}$, де $K_{\text{дат}}$, $K_{\text{ТО}}$ і $K_{\text{во}}$ – відповідно коефіцієнти передачі датчика, теплообмінника та виконавчого органу.

Важливою перевагою передаточної функції, поданої у вигляді (2.9), є те, що вона дозволяє шляхом нескладних перетворень отримати явний вираз для максимальної динамічної похибки регулювання Δ_{max} , K . Це, у свою чергу, дає змогу на початковому етапі вирішити головне завдання – вивести аналітичну формулу для визначення необхідного коефіцієнта підсилення регулятора. Реалізувати це можна наступним чином. Спочатку, використовуючи вираз (2.9), записуємо формулу для поточного температурного відхилення в приміщенні від заданого значення Δ , K , пам'ятаючи, що передаточна функція описує відносну зміну температури при одиничному впливі. Потім вводимо вже знайому заміну оператора s на $1/\tau$. Після цього доцільно винести $1/\tau$ з чисельника, щоб спростити подальші обчислення й отримати зручний вираз для визначення Δ_{max} . Для цього застосовується метод рівномірного наближення [8], що в обраному діапазоні параметрів дозволяє представити вираз $1 + T/\tau$ у формі ST/τ . Подібна апроксимація обрана з метою зменшити складність знаменника, який уже містить компонент виду $A/\tau^{3/2}$.

Коефіцієнт C у цьому випадку має розмірність $\text{с}^{-1/2}$, і його орієнтовне значення становить близько 0,8. При цьому відмінності між результатами,

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отриманими на основі початкової формули та її спрощеної версії, будуть незначними і повністю припустимими для інженерної практики. Отже, для Δ можна записати формулу у вигляді (2.10): [10]:

$$\Delta = \frac{K_{\text{прим}} Q (1 + T/\tau)}{BK_{\text{рег}} + \frac{A}{\tau^2}} \approx \frac{K_{\text{прим}} Q}{BK_{\text{рег}} + AS^2} \cdot \frac{CT}{\sqrt{\tau}} \quad (2.10)$$

Аналізуючи графіки на рисунках 2.5 і 2.6, можна побачити, що врахування нелінійного ефекту, пов'язаного з теплоаккумуляцією в повітряному об'ємі приміщення, не спричиняє суттєвої зміни форми перехідної характеристики. Проте змінюється динаміка – швидкість зростання або зниження температури стає більшою, як і остаточне температурне відхилення, і це відбувається незалежно від значення коефіцієнта підсилення регулятора. По суті, спостерігається ситуація, коли фактична дія регулятора виявляється слабшою за номінально очікувану, тобто ефективний коефіцієнт підсилення ніби зменшується. Однак остаточне відхилення нас не надто цікавить у цьому випадку, адже при тривалому часі після збурення модель уже втрачає точність. Зате облік об'ємної теплоаккумуляції дає позитивний ефект у вигляді зменшення часу регулювання: процес досягає стаціонарного стану швидше за тих самих умов управління.

Водночас врахування поверхневої нелінійності, яка виникає внаслідок акумуляції теплоти в шарах огорожувальних конструкцій, більш суттєво впливає на форму графіка: у початкові моменти часу температура зростає швидше, поки теплова хвиля не проникне вглиб конструкцій, а потім настає сповільнення процесу. Як видно з рисунка 2.6, при зростанні коефіцієнта підсилення можливе навіть певне зменшення температурного відхилення за рахунок того, що загальна теплоємність огорожень та вентиляційної системи перевищує надходження тепла у приміщення. У підсумку кінцева температура відхиляється менше, ніж у випадку лінійної моделі, тому поверхнева нелінійність дозволяє зменшити необхідне значення $K_{\text{рег}}$.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Слід також зазначити, що об'ємна теплоаккумуляція найбільш впливає на систему на початку процесу, тоді як поверхнева стає домінуючою на пізніших етапах. З цього випливає, що реальний перехідний процес є своєрідним компромісом між моделями з об'ємною та поверхневою нелінійностями. Отже, швидкість зміни температури, як і тривалість регулювання, слід визначати, вважаючи приміщення інтегруючою ланкою, тоді як остаточне відхилення та коефіцієнт підсилення потрібно встановлювати з урахуванням поширення температурного фронту.

Таким чином, вдалося побудувати спрощену методику розрахунку перехідної функції автоматизованої системи управління з урахуванням нелінійних властивостей приміщення як елемента регуляторного контуру. Запропонований підхід має відносну простоту і в разі подальшої адаптації може стати основою для створення інженерних методичних вказівок щодо вибору регуляторів для систем мікроклімату, з урахуванням усіх ключових чинників, що впливають на перехідні процеси, та придатних для широкого практичного застосування.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ САУ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ

3.1 Розрахунок параметрів системи вентиляції

Проектування систем вентиляції, опалення та кондиціонування повітря виконується відповідно до санітарних норм і вимог, викладених у СНіП 2.04.05. При розміщенні систем опалення або теплового обігріву слід дотримуватись правила, за яким ні теплі, ні холодні повітряні потоки не повинні бути спрямовані безпосередньо на людину. Допустима різниця температур між рівнем підлоги та висотою голови не має перевищувати 5 °С. В офісних зонах, де розміщено багато працівників, комп'ютерного обладнання та офісної техніки, необхідно впроваджувати припливно-витяжну вентиляцію.

Ключовим показником, що визначає ефективність роботи вентиляційної системи, є кратність повітрообміну – тобто кількість повних змін повітря в приміщенні протягом однієї години. Досвід показує, що при значенні кратності менше 0,5 люди починають відчувати задуху в житлових приміщеннях. Для офісів, де робота ведеться постійно, рекомендоване значення цього параметра становить від 3 до 8. У таблиці 3.1 наведено рекомендовані значення повітрообміну для різних типів приміщень залежно від їхнього призначення [14].

Таблиця 3.1 – Кратність повітрообміну в різних приміщеннях

Види приміщень	Кратність повітрообміну, n (1/год)
Офісні приміщення	3 - 8
Шкільний клас	3 - 8
Серверна	5 - 10
Театр, кінотеатр	4 - 6
Торгове приміщення	4 - 8
Господарське приміщення (склад)	1 - 2
Ресторан	8 - 12

Згідно СНіП 2.04.05 витрата повітря, необхідна для створення нормативних умов роботи:

$$L=k \cdot V, \quad (3.1)$$

де:

$L_{\text{вент}}$ – витрата повітря, м³/год;

k – часова кратність повітрообміну, яка визначає скільки разів на протязі години повітря в приміщенні повинно змінитися, 1/год;

$V_{\text{прим}}$ – об'єм приміщення, м³.

Об'єм приміщення:

$$V_{\text{прим}} = a \cdot b \cdot h, \quad (3.2)$$

де:

a – довжина приміщення, м;

b – ширина приміщення, м;

h – висота приміщення, м.

Сумарна кількість повітрообміну в усіх зонах приміщення визначає загальну повітряну продуктивність системи вентиляції. Зазвичай для офісних приміщень типовими є значення продуктивності в межах від 1000 до 10000 кубічних метрів на годину.

Робочий тиск у системі визначається, перш за все, потужністю встановленого вентилятора і розраховується з урахуванням таких параметрів, як діаметри повітроводів, кількість переходів між різними діаметрами, а також число поворотів. Зі зростанням довжини вентиляційної мережі, а також збільшенням числа її елементів – поворотів і перехідних ділянок – необхідно також підвищувати і робочий тиск [15].

Швидкість руху повітря залежить від діаметра повітроводів і в більшості випадків становить від 12 до 16 м/с. У робочій зоні допустимий рівень швидкості повітря визначається кількома чинниками – температурою в кімнаті, характером діяльності, особливостями інтер'єру. Встановлено, що неприємне відчуття протягу зникає, коли швидкість не перевищує 0,2 м/с за температури в межах 20-

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22 °С. Якщо повітря рухається повільніше – в приміщенні стає задушливо, а при вищій швидкості – відчувається протяг, що може бути допустимим лише за умов перевищення нормативної температури. При розробці вентиляційної системи необхідно досягти балансу між потужністю вентилятора, акустичним комфортом і розміром повітроводів.

Потужність калорифера визначається з урахуванням бажаної температури всередині приміщення та мінімального рівня температури зовнішнього повітря. Орієнтовні значення потужності для різних типів приміщень такі:

- для житлових квартир – від 1 до 5 кВт;
- для офісних приміщень – у межах 5–50 кВт.

Одним із ключових завдань при проектуванні автоматизованої системи управління вентиляцією є правильний вибір обладнання, зокрема – калорифера. При визначенні необхідної потужності слід враховувати площу приміщення (приблизно приймається: 100 Вт на кожен м²), а також наповнення кімнати меблями, технікою чи іншими об'єктами, що можуть впливати на тепловий баланс.

Існує альтернативний підхід до розрахунку вентиляції, заснований на кількості осіб, які перебувають у приміщенні. За санітарними нормами (СНіП), мінімальний обсяг свіжого повітря на одну людину становить 20 м³/год. Для забезпечення комфортного мікроклімату і гарного самопочуття рекомендовано збільшити цю кількість до 60 м³/год при відносній вологості 50% і швидкості руху повітря близько 0,5 м/с в межах приміщення.

У подальших розрахунках вентиляційної системи буде використано перший підхід, що базується на геометричних параметрах простору. На рисунку 3.1 зображено план будівлі, яка потребує вентиляції. Згідно зі схемою, слід організувати повітрообмін у п'яти офісних кімнатах, де розміщено персонал, а також комп'ютерна та офісна техніка.

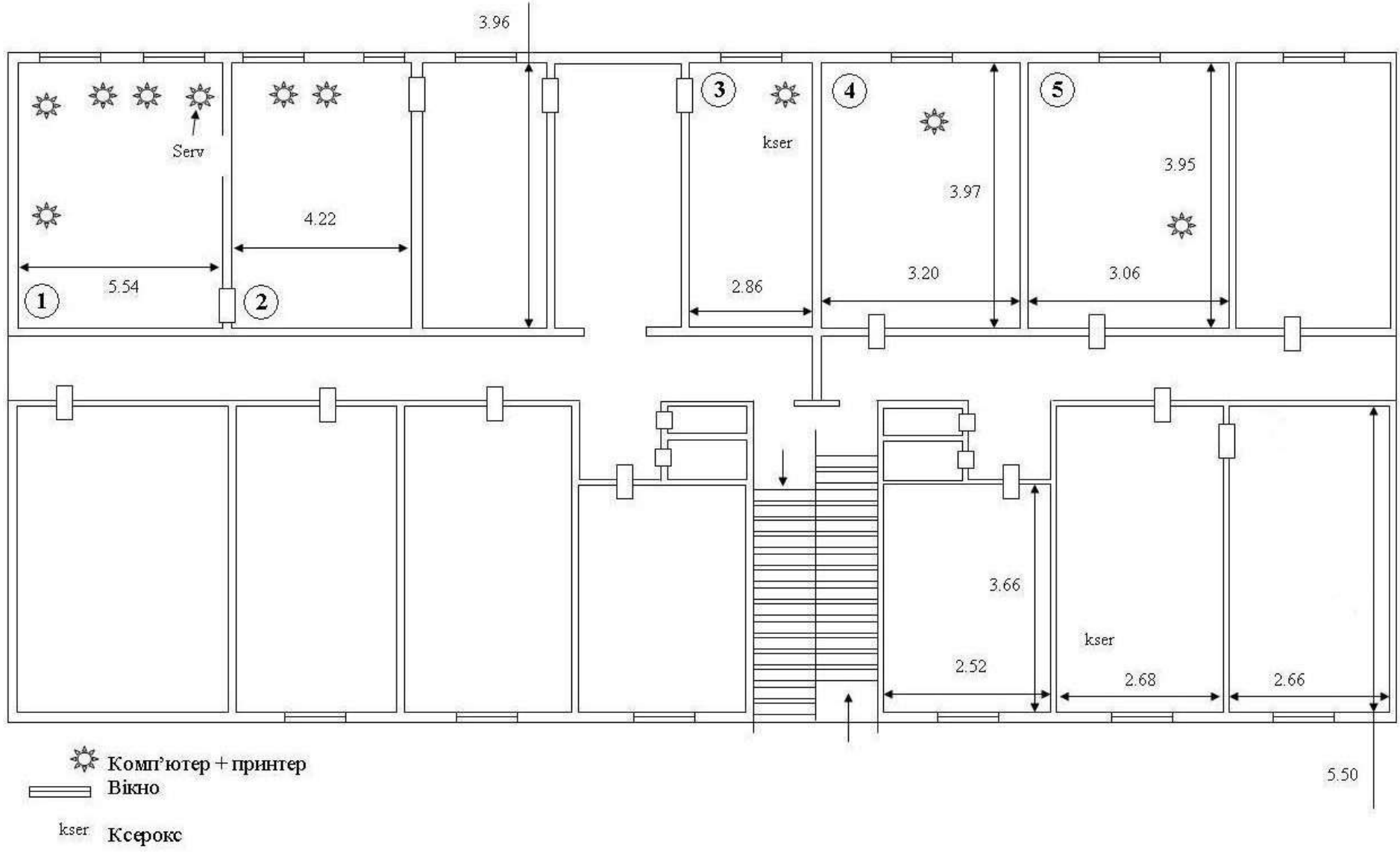
Проведемо розрахунок вентиляції для офісних приміщень, позначених на рисунку 3.1 відмітками 1, 2, 3, 4, 5. Задаємо кратність повітрообміну для офісних приміщень $k = 4$ 1/год.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змін.	
Арк.	
№ докум.	
Підпис	
Дата	

КРБ.СІ-08.00.00.000

Арк.	41
------	----



- Комп'ютер + принтер
- Вікно
- Ксерокс

Рисунок 3.1 – План розміщення офісних приміщень на поверсі будівлі

Приміщення 1.

Параметри приміщення 1:

- $a_1 = 3,96$ м – довжина приміщення 1;

- $b_1 = 5,54$ м – ширина приміщення 1;

- $h_1 = 3$ м – висота приміщення 1.

Об'єм приміщення 1:

$$V_{\text{прим1}} = a_1 \cdot b_1 \cdot h_1 = 3,96 \cdot 5,54 \cdot 3 = 65,82 \text{ м}^3.$$

Витрата повітря, необхідна для створення нормативних умов роботи в приміщенні 1:

$$L_1 = k \cdot V_{\text{прим1}} = 4 \cdot 65,82 = 263,28 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приміщення 2.

Параметри приміщення 2:

- $a_2 = 3,96$ м – довжина приміщення 2;

- $b_2 = 4,22$ м – ширина приміщення 2;

- $h_2 = 3$ м – висота приміщення 2.

Об'єм приміщення 2:

$$V_{\text{прим2}} = a_2 \cdot b_2 \cdot h_2 = 3,96 \cdot 4,22 \cdot 3 = 50,13 \text{ м}^3.$$

Витрата повітря, необхідна для створення нормативних умов роботи в приміщенні 2:

$$L_2 = k \cdot V_{\text{прим2}} = 4 \cdot 50,13 = 200,52 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приміщення 3.

Параметри приміщення 3:

- $a_3 = 3,97$ м – довжина приміщення 3;

- $b_3 = 2,86$ м – ширина приміщення 3;

- $h_3 = 3$ м – висота приміщення 3.

Об'єм приміщення 3:

$$V_{\text{прим3}} = a_3 \cdot b_3 \cdot h_3 = 3,97 \cdot 2,86 \cdot 3 = 34,06 \text{ м}^3.$$

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата повітря, необхідна для створення нормативних умов роботи в приміщенні 3:

$$L_3 = k \cdot V_{\text{прим3}} = 4 \cdot 34,06 = 136,25 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приміщення 4.

Параметри приміщення 4:

- $a_4 = 3,97$ м – довжина приміщення 4;

- $b_4 = 3,20$ м – ширина приміщення 4;

- $h_4 = 3$ м – висота приміщення 4.

Об'єм приміщення 4:

$$V_{\text{прим4}} = a_4 \cdot b_4 \cdot h_4 = 3,97 \cdot 3,20 \cdot 3 = 38,11 \text{ м}^3.$$

Витрата повітря, необхідна для створення нормативних умов роботи в приміщенні 4:

$$L_4 = k \cdot V_{\text{прим4}} = 4 \cdot 38,11 = 152,45 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приміщення 5.

Параметри приміщення 5:

- $a_5 = 3,95$ м – довжина приміщення 5;

- $b_5 = 3,06$ м – ширина приміщення 5;

- $h_5 = 3$ м – висота приміщення 5.

Об'єм приміщення 5:

$$V_{\text{прим5}} = a_5 \cdot b_5 \cdot h_5 = 3,95 \cdot 3,06 \cdot 3 = 36,26 \text{ м}^3.$$

Витрата повітря, необхідна для створення нормативних умов роботи в приміщенні 5:

$$L_5 = k \cdot V_{\text{прим5}} = 4 \cdot 36,26 = 145,04 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахуємо сумарну витрату повітря, необхідно для забезпечення комфортних умов праці в офісних приміщеннях:

$$\begin{aligned} L_{\Sigma} &= L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = \\ &= 263,28 + 200,52 + 136,25 + 152,45 + 145,04 = 897,54 \text{ м}^3/\text{год} \approx 900 \text{ м}^3/\text{год.} \end{aligned}$$

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, для підтримання нормативних умов праці необхідно забезпечити приблизну витрату повітря 900 м³/год.

3.2 Розробка функціональної схеми САУ вентиляцією

Стандартна припливна механічна система вентиляції включає кілька основних елементів [16]:

1. повітрозабірна решітка – саме через неї свіже повітря з вулиці потрапляє до вентиляційної системи. Виготовляються такі решітки у формі кола або прямокутника. Окрім естетичної ролі, вони виконують захисну функцію, перешкоджаючи попаданню в систему сторонніх предметів, дощових крапель або снігу;

2. клапан повітряного припливу – відповідає за те, щоб у момент, коли система не працює, зовнішнє повітря не проникало в приміщення. Його наявність особливо важлива в зимовий період, оскільки через відсутність клапана в середину можуть потрапляти холодне повітря або сніг. У сучасних вентиляційних установках зазвичай використовують електричні повітряні клапани, які автоматично відкриваються при запуску вентилятора і закриваються при його вимкненні;

3. фільтрувальний елемент – виконує роль бар'єра для забруднень, таких як пил, комахи, пух та інші частинки, захищаючи як вентиляційне обладнання, так і самі приміщення. Найчастіше в систему вбудовують фільтр грубого очищення, який вловлює частинки розміром понад 10 мікрметрів. Якщо ж існують підвищені вимоги до якості повітря, додаються фільтри тонкого очищення (до 1 мкм) або надтонкого (до 0,1 мкм). Матеріалом для грубого очищення слугує зазвичай синтетична тканина, наприклад, з акрилу. Очищення фільтра слід виконувати регулярно, орієнтовно один раз на місяць, залежно від рівня забруднення;

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. калорифер, або повітряний нагрівач – елемент, який забезпечує нагрівання повітря, що надходить ззовні в холодну пору року. Калорифери поділяються на водяні (при цьому температура теплоносія має бути щонайменше 70 °С) та електричні. У випадку з малогабаритними вентиляційними установками доцільніше використовувати електричні нагрівачі, оскільки їх встановлення є простішим і менш витратним. Для приміщень з великою площею, понад 100 м², рекомендовано використовувати водяні калорифери, оскільки електронагрів у таких умовах буде дуже енерговитратним. Для економії на нагріванні припливного повітря часто застосовують рекуператор – пристрій, який дозволяє передати тепло від витяжного повітря припливному без їх змішування завдяки теплообміну;

5. шумоглушник – монтується поблизу вентилятора, адже саме вентилятор генерує значний рівень шуму. Його основна задача – запобігти розповсюдженню шумових коливань повітроводами. Найчастіше джерелом такого шуму виступає турбулентний рух повітря на лопатях вентилятора, що створює характерний аеродинамічний шум;

6. вентилятор – головний виконавчий пристрій, який забезпечує рух повітря в системі, нагнітаючи його в приміщення та створюючи потрібний рівень тиску у вентиляційній мережі;

7. повітроводи – після проходження через шумоглушник оброблене повітря готове до подальшого розподілу по приміщеннях. Для цього застосовується повітропровідна система, яка складається з повітроводів та фасонних деталей (трійники, кути, переходи). Основні параметри повітроводів – це форма (кругла або прямокутна), площа поперечного перерізу і ступінь жорсткості (жорсткі, напівгнучкі або гнучкі повітроводи).

Швидкість повітряного потоку всередині повітроводу не повинна перевищувати певного ліміту, оскільки це може викликати шум. Тому розміри повітроводів підбираються з урахуванням необхідного повітрообміну і максимально допустимої швидкості руху повітря. Жорсткі повітроводи

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виготовляють з оцинкованої сталі, і вони можуть бути круглої або прямокутної форми. Напівгнучкі та гнучкі повітроводи мають зазвичай круглу форму і робляться з багатошарової алюмінієвої фольги. Для збереження круглої форми використовується каркас із сталевого дроту, скрученого у спіраль. Така конструкція зручна тим, що повітроводи легко складати під час транспортування та монтажу у вигляді “гармошки”. Водночас гнучкі повітроводи мають значний аеродинамічний опір через нерівну внутрішню поверхню, тому їх застосовують тільки на коротких ділянках;

8. розподільники повітря – повітря з повітроводів потрапляє в приміщення через розподільники. Найчастіше використовують решітки (круглі або прямокутні, настінні чи стельові) або дифузори (плафони). Окрім естетичного вигляду, розподільники забезпечують рівномірний розподіл повітряного потоку в кімнаті та дозволяють регулювати кількість повітря, що подається в кожне приміщення індивідуально;

9. системи управління та автоматики – заключним етапом вентиляційної системи є електроцит, де розміщується система управління вентиляцією. У простих випадках це може бути лише вимикач з індикатором, який дозволяє вмикати і вимикати вентилятор. Проте, найчастіше застосовують більш складні системи з елементами автоматики: вони керують калорифером при зниженні температури припливного повітря, контролюють стан фільтра, регулюють роботу повітряних клапанів тощо. Для цього використовують різноманітні датчики – термостати, гігростати, датчики тиску та інші.

Спрощена схема припливно-витяжної вентиляційної установки з електричним обігрівачем представлена на рисунку 3.2 [17], а в таблиці 3.2 даються відповідні позначення функціональних елементів.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

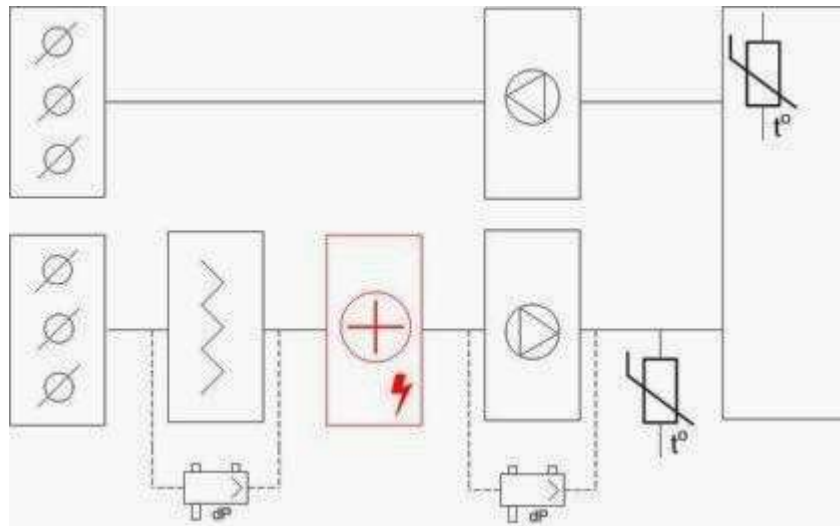


Рисунок 3.2 – Спрощена схема припливно-витяжної вентиляційної установки з електричним обігрівачем

Таблиця 3.2 – Позначення функціональних елементів

Схематичне позначення	Назва елемента
	Датчик температури
	Повітряний фільтр
	Електрокалорифер
	Вентилятор
	Повітряна заслінка
	Реле контролю перепаду тиску
	Водяний калорифер

На рисунку 3.3 представлена деталізована функціональна схема припливно-витяжної вентиляційної установки [1].

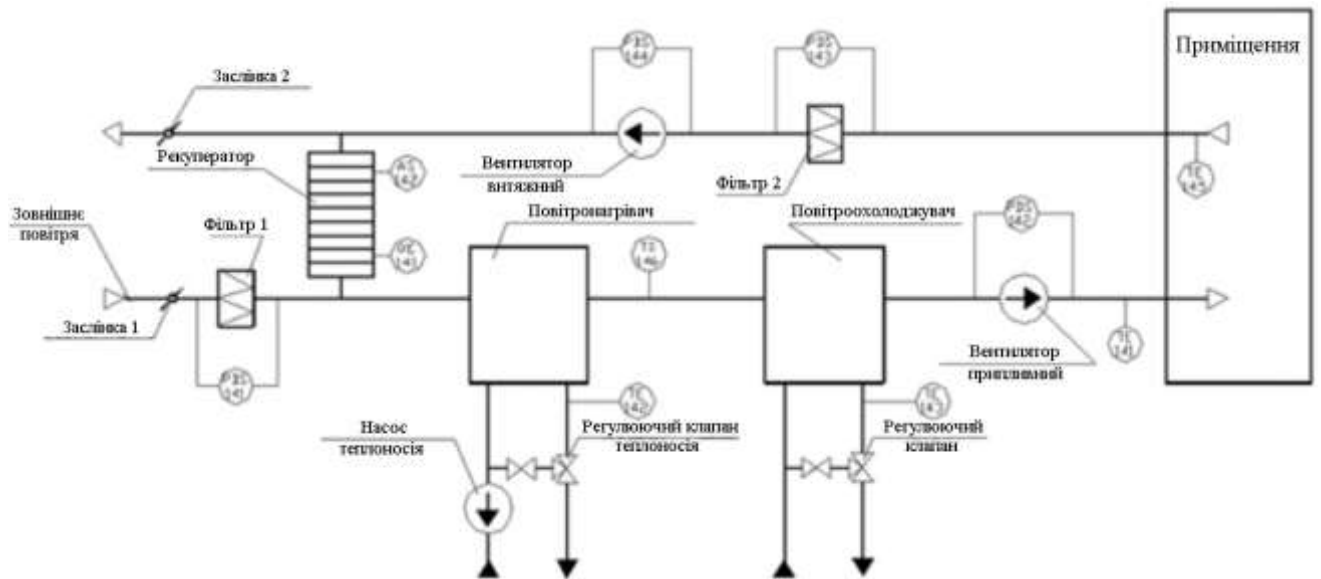


Рисунок 3.3 – Функціональна схема припливно-витяжної вентиляційної установки

Розглянемо основні функціональні елементи даної САУ детальніше:

1. офісні приміщення – є центральними компонентами систем кондиціонування та вентиляції повітря, де постійно відбувається зміна параметрів повітряного середовища. Для забезпечення необхідних умов у простір подається припливне повітря, характеристики якого відрізняються від наявних всередині приміщення. Через складність точного обліку розподілених параметрів в приміщенні, під час моделювання систем автоматичного управління приміщення умовно розглядається як об'єкт із зосередженими характеристиками.

Найбільш поширеним підходом є якісне регулювання температури в приміщеннях – тобто стабілізація температури шляхом зміни температури припливного повітря. Такі системи добре досліджені як об'єкти автоматизації: для них виведено передаточні функції, визначено коефіцієнти підсилення й часові сталі, які були підтверджені як аналітично, так і експериментально. Динаміка поведінки приміщення при цьому залежить від кратності

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітрообміну $K_{\text{ПОВ}}$, умовного розміру L_V (що є відношенням об'єму приміщення $V_{\text{ПРИМ}}$ до площі його огорожувальних конструкцій F), коефіцієнтів теплопередачі огорожень $K_{\text{ОГР}}$ і сталої часу $T_{\text{ОГР}}$.

Передаточна функція по каналу зміни температури припливного повітря отримується у вигляді [18]:

$$W_{t_{np}}(s) = \frac{T_{\text{огр}}s+1}{T_{\text{прим}}s+1} K_{\text{прим}}, \quad (3.3)$$

де:

$K_{\text{ПРИМ}}$ – коефіцієнт передачі приміщення,

$T_{\text{ПРИМ}}$ – стала часу приміщення,

$T_{\text{ОГР}}$ – стала часу теплопередачі огорожень.

Часто інерційністю огорож можна знехтувати і представити модель об'єкта управління у вигляді простої аперіодичної ланки.

2. теплообмінні апарати. В найпоширеніших типах поверхневих теплообмінників управляючі впливи можуть реалізовуватись за рахунок зміни витрати рідини (G_w), температури рідини на вході ($t_{w_{\text{ВХ}}}$) або витрати повітря ($G_{\text{ПОВ}}$), при цьому контрольованим параметром є температура повітря на виході ($t_{\text{ВИХ}}$).

В найпоширеніших типах поверхневих теплообмінників, таких як “повітря-рідина” або “повітря-холодоагент”, основними збуреннями виступають температура рідини на вході ($t_{w_{\text{ВХ}}}$), витрата повітря ($G_{\text{ПОВ}}$) та температура вхідного повітря ($t_{\text{ВХ}}$). Керуючі впливи в таких системах можуть реалізовуватись за рахунок зміни витрати рідини (G_w), температури рідини на вході ($t_{w_{\text{ВХ}}}$) або витрати повітря ($G_{\text{ПОВ}}$), при цьому контрольованим параметром є температура повітря на виході ($t_{\text{ВИХ}}$).

Динаміка таких теплообмінників добре описується типовою аперіодичною ланкою першого порядку, яка має наступний вигляд [18]:

$$W_{\text{тобм}}(s) = \frac{K_{\text{тобм}}}{T_{\text{тобм}}s+1}, \quad (3.4)$$

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

$K_{\text{тобм}}$ – статичний коефіцієнт передачі апарату,

$T_{\text{тобм}}$ – постійна часу теплообмінного апарату.

3. роторний рекуператор – розглядається як керований об’єкт з одним каналом управління – єдина дія, що здійснюється на систему, полягає в зміні частоти обертання ротора. При цьому контрольованим параметром є температура припливного повітря $t_{\text{ПР}}$. Передаточна функція роторного рекуператора $W(s)$ може бути представлена у вигляді типової аперіодичної ланки першого порядку з інерційністю до кількох хвилин.

4. контактні тепломасообмінні апарати (зрошувальні камери та парозволожувачі) є одними з найскладніших з точки зору моделювання як об’єктів автоматичного управління. Основними впливами на зрошувальну камеру є температура зрошуючої рідини t_w , об’ємна витрата повітря $G_{\text{пов}}$ і витрата води G_w . До збурюючих дій належать температура $t_{\text{вх}}$ і вологість $d_{\text{вх}}$ вхідного повітря.

Передаточна функція зрошувальної камери при управлінні зміною параметрами води може бути представлена у вигляді:

$$W_{\text{ЗР}}(s) = K_{\text{ЗР}} \frac{T_{\text{ЗР}}s + 1}{-\alpha e^{\rho\tau} + T_{\text{ЗР}}s + 1} \quad (3.5)$$

Значення T і K , а також коефіцієнти α і ρ можна знайти в [19].

5. змішувальні камери – призначені для поєднання потоків зовнішнього та рециркуляційного повітря. З точки зору систем автоматичного управління, змішувальна камера розглядається як безінерційна підсилювальна ланка, для якої коефіцієнт передачі $K_{\text{СМ}}$ визначається на основі рівнянь теплового і масового балансу [18]:

$$K_{\text{СМ}} = \frac{G_{\text{Н}}}{G_{\text{Н}} + G_{\text{РЦ}}}, \quad (3.6)$$

де:

$G_{\text{Н}}$ – об’ємна витрата нагнітального потоку,

$G_{\text{РЦ}}$ – об’ємна витрата рециркуляційного потоку.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. вентиляційні мережі – складаються з вентиляторів, повітроводів і пристроїв, що регулюють витрату повітря. В системах кондиціонування повітря ці компоненти розглядаються як транспортні елементи в контурі автоматичного управління.

Якщо температура $t_{вх}$ на вході повітроводу змінюється стрибком, то на виході температура відреагує із затримкою τ_3 – спочатку незначним імпульсом, а згодом поступово досягне нового сталого рівня. Така поведінка описується складною трансцендентною передаточною функцією, яка для практичних розрахунків спрощується:

$$Wt_{ПВОД}(s) = \frac{K_{ПВОД}e^{-\tau_3s}}{T_{ПВОД}s+1}, \quad (3.7)$$

де:

$K_{ПВОД}$ – коефіцієнт передачі повітропроводу,

$T_{ПВОД}$ – стала часу повітропроводу,

τ_3 – часові затримка.

7. датчики і регулюючі органи. Датчики, які фіксують параметри повітря або тепло- та вологонесучих середовищ, зазвичай моделюються як аперіодичні ланки першого порядку. Їхня інерційність, тобто стала часу, визначається масою і конструктивними особливостями чутливого елемента, а ще більшою мірою – швидкістю потоку повітря. З метою зменшення інерційності застосовують такі технічні рішення, як підвищення локальної швидкості повітря в зоні розташування датчика, встановлення приладів у припливних або рециркуляційних повітропроводах тощо.

Регулюючі елементи, як-от клапани для повітря або води, здійснюють контроль витрати $G_{ПОВ}$ або G_w шляхом зміни положення поворотної заслінки (на певний кут) чи переміщення плунжера на величину h . При різкій зміні керуючого впливу h витрата також змінюється практично миттєво, отже, ці пристрої можна розглядати як підсилювальні ланки.

8. виконавчі механізми. В якості виконавчих механізмів можуть використовуватися двигуни постійного струму.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складемо передаточну функцію двигуна постійного струму “кут θ – напруга управління”:

$$W_{Дв}(s) = \frac{\theta(s)}{u(s)} = \frac{K_{Дв}}{s(\tau_{Мs}+1)(\tau_{Яs}+1)}, \quad (3.8)$$

де:

s – оператор Лапласа,

$K_{Дв}$ – коефіцієнт передачі двигуна,

$\tau_{Я}$ – електромагнітна постійна часу якоря,

$\tau_{М}$ – електромеханічна постійна часу.

Коефіцієнт передачі двигуна постійного струму при якірному управлінні:

$$K_{Дв} = \frac{\omega_{Н}}{U_{Н}}, \quad (3.9)$$

де:

$\omega_{Н}$ – номінальна кутова швидкість обертання, рад/с,

$U_{Н}$ – номінальна напруга, В.

Електромагнітна постійна часу:

$$\tau_{Я} = \frac{L_{Я}}{R_{Я}}, \quad (3.10)$$

де:

$R_{Я}$ – опір ланцюга обмотки якоря, Ом,

$L_{Я}$ – індуктивність ланцюга обмотки якоря, Гн.

Електромеханічна постійна часу:

$$\tau_{М} = \frac{J_{Дв} \cdot \omega_{Н}}{M_{Н}}, \quad (с) \quad (3.11)$$

де:

$J_{Дв}$ – момент інерції якоря, кг·м²,

$M_{Н}$ – номінальний момент двигуна.

В цьому розділі проведено розрахунок параметрів системи вентиляції, розроблено функціональну схему САУ вентиляцією та детально описано функціональні елементи системи з представленнях їх передаточних функцій.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

4.1 Обґрунтування вибору програмного середовища MATLAB для побудови імітаційної моделі системи управління вентиляцією

Під час розробки імітаційної моделі системи управління вентиляцією особливу увагу слід приділити вибору програмного середовища, яке забезпечить точність, гнучкість і ефективність моделювання. Одним з найбільш доцільних виборів у цьому контексті є середовище MATLAB, що поєднує у собі широкий інструментарій математичних методів, засобів моделювання та візуалізації, що особливо важливо при аналізі складних динамічних систем, до яких належать вентиляційні комплекси.

MATLAB (Matrix Laboratory) – це високорівневе інтегроване середовище, орієнтоване на обчислення, моделювання та аналіз даних. Однією з головних переваг MATLAB для моделювання систем управління вентиляцією є наявність спеціалізованих інструментів, зокрема пакету Simulink. Simulink дозволяє створювати блок-схеми моделей у графічному вигляді, що значно спрощує процес розробки моделі навіть при наявності складних нелінійних або багатоканальних об'єктів. Це особливо актуально при моделюванні фізичних процесів у вентиляційних системах, де одночасно відбуваються тепло- та масообмін, а також враховуються збурення, пов'язані з навколишнім середовищем [21].

Ще однією суттєвою перевагою MATLAB є вбудовані засоби аналізу систем управління: побудова передаточних функцій, аналіз частотних характеристик, визначення стійкості, оцінка перехідних процесів тощо. Це дозволяє провести повний аналіз динаміки вентиляційної системи та адаптувати структуру регуляторів до конкретних технічних умов.

MATLAB також підтримує численні методи оптимізації та ідентифікації, що дає змогу налаштувати параметри системи управління з урахуванням

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реальних вимірювань і експериментальних даних. Завдяки цьому імітаційна модель може бути максимально наближена до реальної системи, що підвищує достовірність результатів моделювання та ефективність подальшої реалізації системи управління на практиці.

Таким чином, використання MATLAB як базового середовища для побудови імітаційної моделі системи управління вентиляцією є технічно обґрунтованим вибором, який забезпечує необхідну точність, зручність візуалізації, широкий функціонал аналізу та розширення, а також підтримку сучасних підходів до розробки автоматизованих систем управління.

4.2 Створення імітаційної моделі системи

Для створення імітаційних моделей САУ вентиляцією офісних приміщень використовується система MATLAB, яка є інтерактивною системою для виконання інженерних та наукових розрахунків та орієнтована на роботу з масивами даних. Система використовує математичний співпроцесор і дозволяє можливість звернення до програм, що написані на класичних мовах програмування [21].

Система MATLAB виконує операції з векторами і матрицями навіть у режимі безпосередніх обчислень без будь-якого програмування. Нею можна користуватися як найпотужнішим калькулятором, в якому поряд із звичайними арифметичними та алгебричними діями можуть використовуватися такі складні операції, як обернення матриці, обчислення її власних значень і векторів, розв'язування систем лінійних алгебричних рівнянь та багато інших.

Безпосередньо для моделювання системи в MATLAB використовується модуль Simulink, стандартних блоків якого достатньо для створення моделей системи.

Датчик температури описується пропорційною ланкою (блок Gain).

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення описується аперіодичною ланкою першого порядку з передаточною функцією:

$$W_{np}(s) = \frac{K_{np}}{T_{np}s + 1} . \quad (4.1)$$

Приймаємо $K_{np} = 10$, $T_{np} = 12$ с.

Передаточна функція теплообмінника:

$$W_{тобм}(s) = \frac{K_{тобм}}{T_{тобм}s + 1} . \quad (4.2)$$

Здамося $K_{тобм} = 5$, $T_{тобм} = 5,5$ с.

Передаточна функція зрошувальної камери при управлінні зміною параметрами води може бути представлена у вигляді:

$$W_{зр}(s) = K_{зр} \frac{T_{зр}s + 1}{-\alpha e^{\rho\tau} + T_{зр}s + 1} . \quad (4.3)$$

Значення параметрів $K_{зр} = 2$, $T_{зр} = 0.8$ с, $\tau = 1.5$ с, $\alpha = 0.03$.

Як ланка САУ камера змішувача є безінерційною підсилювальною ланкою з коефіцієнтом передачі $K_{см}$, який знаходиться з рівнянь теплового і масового балансів [18]:

$$K_{см} = \frac{G_H}{G_H + G_{PC}} , \quad (4.4)$$

$K_{см} = 0.4$.

Передаточна функція повітроводу є складна трансцендентна функція, яка спрощено може бути представлена у вигляді:

$$W_{пвод}(s) = \frac{K_{пвод} e^{-\tau_3 s}}{T_{пвод}s + 1} . \quad (4.5)$$

В цьому випадку ланку запізнення замінюють аперіодичною ланкою.

Здамося $K_{пвод} = 2.5$, $\tau = 0.5$ с, $T_{пвод} = 1$ с.

Клапан задається пропорційною ланкою з коефіцієнтом підсилення 1.

Двигун постійного струму представляється двома аперіодичними ланками першого порядку (блок Transfer Fcn). Редуктор також описується пропорційною

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ланкою з коефіцієнтом підсилення, меншим одиниці. В якості порівняльного елемента використовується віднімаючий суматор.

Для дослідження роботи даної системи в звичайному режимі на її вхід подаємо необхідне значення температури 25 °С (використовується блок Constant). Збурення виникає в системі в початковий момент часу. Для моделювання збурюючого впливу також використовується блок Constant. Для візуалізації перехідних процесів, що відбуваються в системі, використовується осцилограф Scope.



Рисунок 4.1 – Імітаційна модель САУ без регуляторів

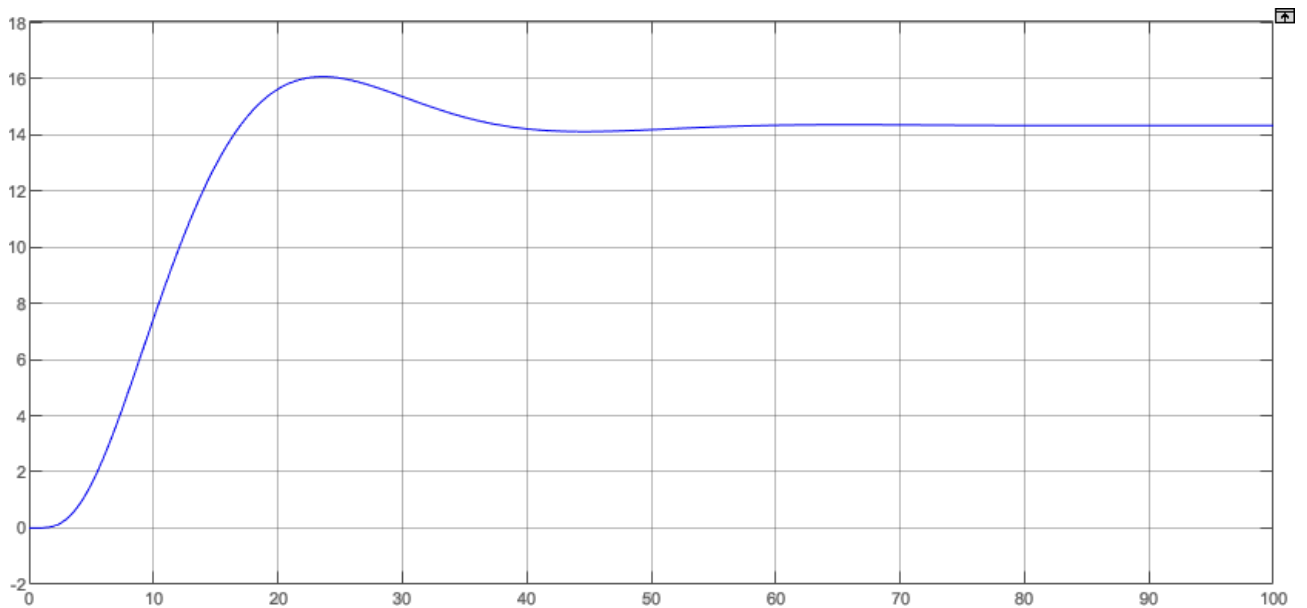


Рисунок 4.2 – Перехідна характеристика САУ без регуляторів

З рисунка 4.2 можна зрозуміти, що система хоча й стійка, але статична помилка є досить значною, оскільки було задано температуру 25 °С, а отримано на виході – трохи більше 14 °С, тобто близько 60 %. Для покращення статичних характеристик системи виходом з цієї ситуації є введення в систему ПД-регулятора.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Структурно-параметрична корекція САУ

У відносно простих системах введення ПД-регулятор, як правило, вирішує всі проблеми. За своїми властивостями така система в перехідному режимі наближається до системи з пропорційним управлінням, а в установленому режимі подібна до системи з інтегральним управлінням, причому її швидкодія за рахунок диференціюючої ланки істотно зростає [22]. Систему з ПД-регулятором можна ще назвати астатичною, оскільки вона зводить статичну помилку до нуля. Введемо в систему ПД-регулятор після чутливого елемента (рисунок 4.3).

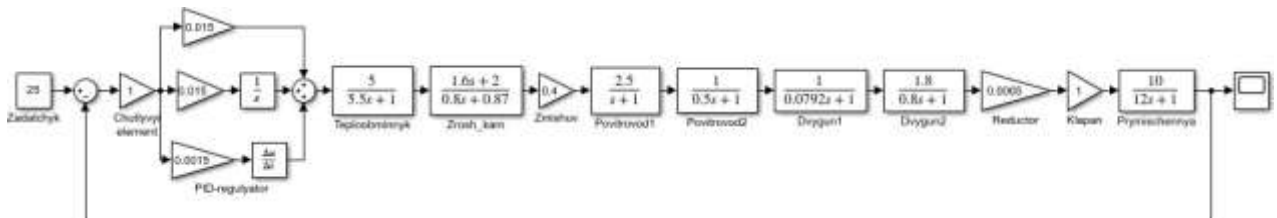


Рисунок 4.3 – Структурна схема системи з ПД-регулятором

Перехідна характеристика САУ з ПД-регулятором приведена на рисунку 4.4.

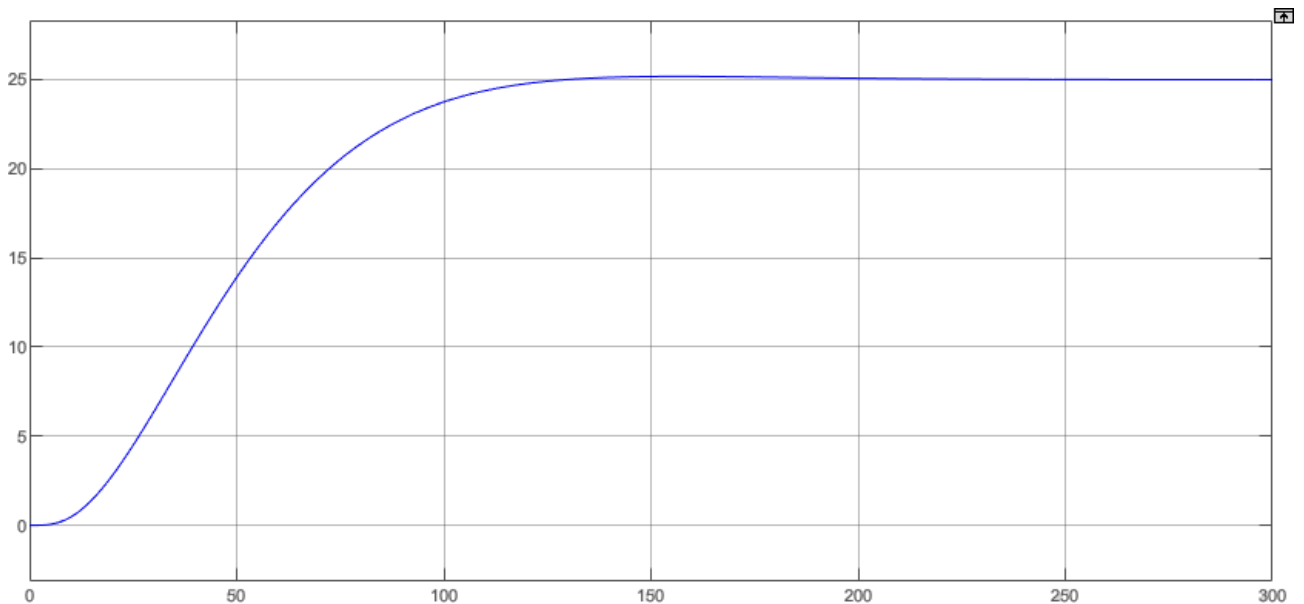


Рисунок 4.4 – Перехідна характеристика системи з ПД-регулятором

З рисунка 4.4 робимо висновок, що система працює з прийнятними для даної системи показниками якості. Статична помилка – практично відсутня. Час перехідного процесу становить приблизно 120 с (2 хв), але цей параметр не є критичним для даної системи, оскільки інерційність в системах даного класу допустиме явище.

Порівнюючи перехідні характеристики системи, зображені на рисунках 4.2 і 4.4 робимо висновок, що з використанням ПД-регулятора, статичні властивості істотно покращилися, перерегулювання у скоректованій системі практично відсутнє, а час перехідного процесу дещо збільшився, хоча й не критично. В цілому скоректована система задовольняє заданим показникам якості.

Таким чином, в даному розділі було проведено імітаційне моделювання роботи системи автоматичного управління вентиляцією офісних приміщень із врахуванням мікроклімату на прикладі блоку, що складається з 5-ти приміщень.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В ході виконання бакалаврської роботи було проведено огляд систем кондиціонування та вентиляції офісних приміщень, розроблено функціональну схему САУ вентиляцією із врахуванням основного параметра мікроклімату – температури, та на основі функціональної схеми та передаточних функцій функціональних елементів було побудовано імітаційну модель системи. Вихідна система не давала прийнятних результатів, тому в систему було введено ПІД-регулятор, а також було підібрано параметри ПІД-регулятора для оптимальної роботи системи.

Побудовано імітаційні моделі системи автоматичного управління:

- імітаційну модель САУ вентиляцією без регуляторів;
- імітаційну модель САУ вентиляцією з ПІД-регулятором.

Результати моделювання підтверджують універсальність використаного ПІД-регулятора, адже завдяки його використанню в системі автоматичного управління було досягнуто прийнятних показників якості (точності та часу регулювання перехідного процесу).

Імітаційні моделі розроблені в інтерактивному програмному об'єктно-орієнтованому середовищі MATLAB.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Промислова вентиляція: типи систем, нормативи та сучасні рішення [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://vents-shop.com.ua/statti-promislova-ventilyaciyu-uk/promislova-ventilyaciya>.
2. Mechanical Ventilation Types: Exhaust, Supply, Balanced & Energy Recovery [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://www.hvi.org/resources/publications/mechanical-ventilation-types>.
3. Types of HVAC Systems Explained [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://safetyculture.com/topics/hvac-systems/types-of-hvac-systems>.
4. Вентиляція офісу: види та особливості [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://ventbazar.ua/uk/blog/podbiraem-ventilyatsiyu-v-ofis>.
5. Класифікація та види вентиляційних систем [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://vencon.ua/ua/articles/vidy-i-klassifikaciya-ventilyacionnyh-sistem>.
6. Серія Вентс ВУТ ВБ ЕС [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://vents.ua/series/vut-vb-es>.
7. Припливно-витяжні установки з роторним рекуператором [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://klimatkomplekt.com.ua/produkcija/ustanovki-z-rotornim-rekuperatorom>.
8. Lecture Notes on Control System Theory and Design / T. Basar, S. Meyn, W. R. Perkins. – Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2024. – 225 p.
9. Occupancy-based HVAC control systems in buildings: A state-of-the-art review // Mohammad Esrafilian-Najafabadi, Fariborz Haghghat, Building and Environment, vol. 197 – 2021.
10. Data-driven control of micro-climate in buildings: an event-triggered reinforcement learning approach / A. H. Hosseinloo, A. Ryzhov, A. Bischi, H. Ouerdane, K. Turitsyn, M. A. Dahleh. – Applied Energy, vol. 277. – 2020. – 26 p.
11. An adaptive MPC scheme for energy-efficient control of building HVAC systems / T. Zeng, P. Barooah. – Gainesville: Florida, USA. – 2021.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Hahn D. W. Heat Conduction / D. W. Hahn, M. N. Özisik. Third Edition. – John Wiley & Sons, Inc. – 2012.
13. Теплова ізоляція будівель. ДБН В.2.6-31:2016 // К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017.
14. Скільки свіжого повітря потрібно людині [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://ventbazar.ua/uk/blog/aktualnyi-vopros-skolko-vozdukha-nuzhno-cheloveku>.
15. Загальні відомості про вентиляцію [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://www.airvent.com.ua/ventilyatsiya-uk/77-ventilyatsiya-uk>.
16. Що таке припливно-витяжна вентиляція і яка вона буває [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://vents-shop.com.ua/statti-pro-ventilyaciyu-uk/priplivno-vityazhna-ventilyaciya>.
17. Heating, ventilation and air conditioning (HVAC) control systems. [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://www.smarteh.com/smart-automation-solutions/smart-building-automation-systems/heating-ventilation-and-air-conditioning-hvac-control-systems>.
18. Автоматизація систем кондиціонування та вентиляції повітря [Електронний ресурс] // Доступ до ресурсу: <https://conditioner-service.com.ua/uk/2024/03/03/avtomatyzatsiya-system-kondytsionuvannya-ta-ventylyatsiyi-povitrya>.
19. Honeywell Inc. Engineering manual of automatic control for commercial buildings. 5th ed. / Minneapolis: Honeywell International Inc., 2008. – 408 p.
20. Control Systems for Heating, Ventilating, and Air Conditioning. Sixth edition / W. H. Roger, C. H. Douglas. – Springer New York, NY, 2006. – 366 p.
21. Нагорний Є. В. MATLAB та Simulink для інженерів: навч. посіб. / Є. В. Нагорний. – Київ : Видавництво “Каравела”, 2019. – 288 с.
22. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: Підручник для студентів вищих технічних закладів освіти / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – Київ: Либідь, 1997. – 543 с., іл.

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: “Розробка системи управління вентиляцією офісних приміщень із врахуванням мікроклімату”.

Обсяг пояснювальної записки: 62 аркуші.

Перелік графічного матеріалу:

КРБ.СІ - 08.00.00.001 План розміщення офісних приміщень на поверсі будівлі (аркушів – 1).

КРБ.СІ - 08.00.00.002 Система кондиціонування і вентиляції. Схема структурна (аркушів – 1).

КРБ.СІ - 08.00.00.003 САУ припливно-витяжною вентиляційною установкою. Схема функціонально-структурна (аркушів – 1).

КРБ.СІ - 08.00.00.004 Імітаційна модель САУ вентиляцією без регуляторів (аркушів – 1).

КРБ.СІ - 08.00.00.005 Імітаційна модель САУ вентиляцією з ПД-регулятором (аркушів – 1).

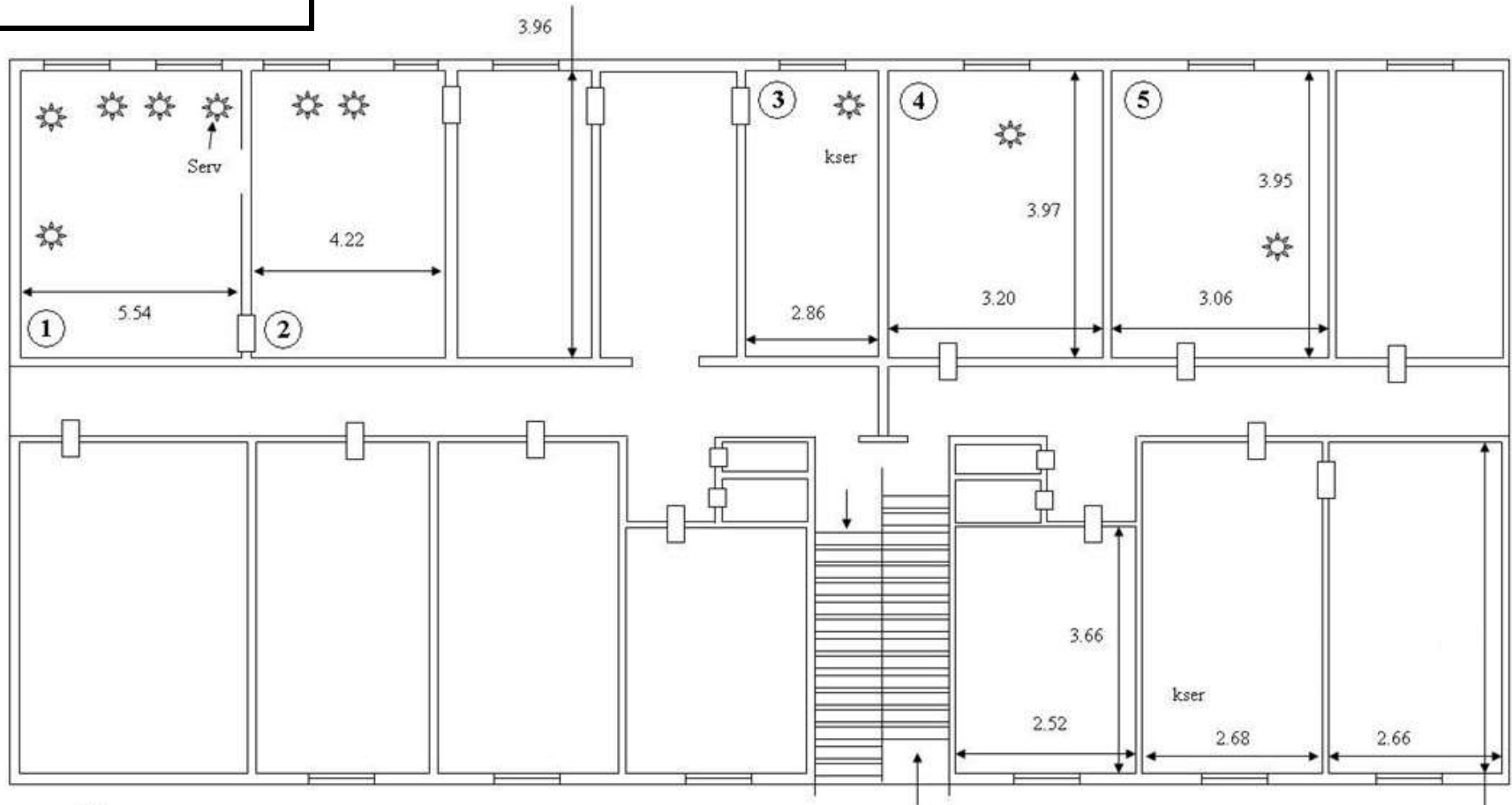
Дата закінчення

бакалаврської роботи

15 червня 2025 р.

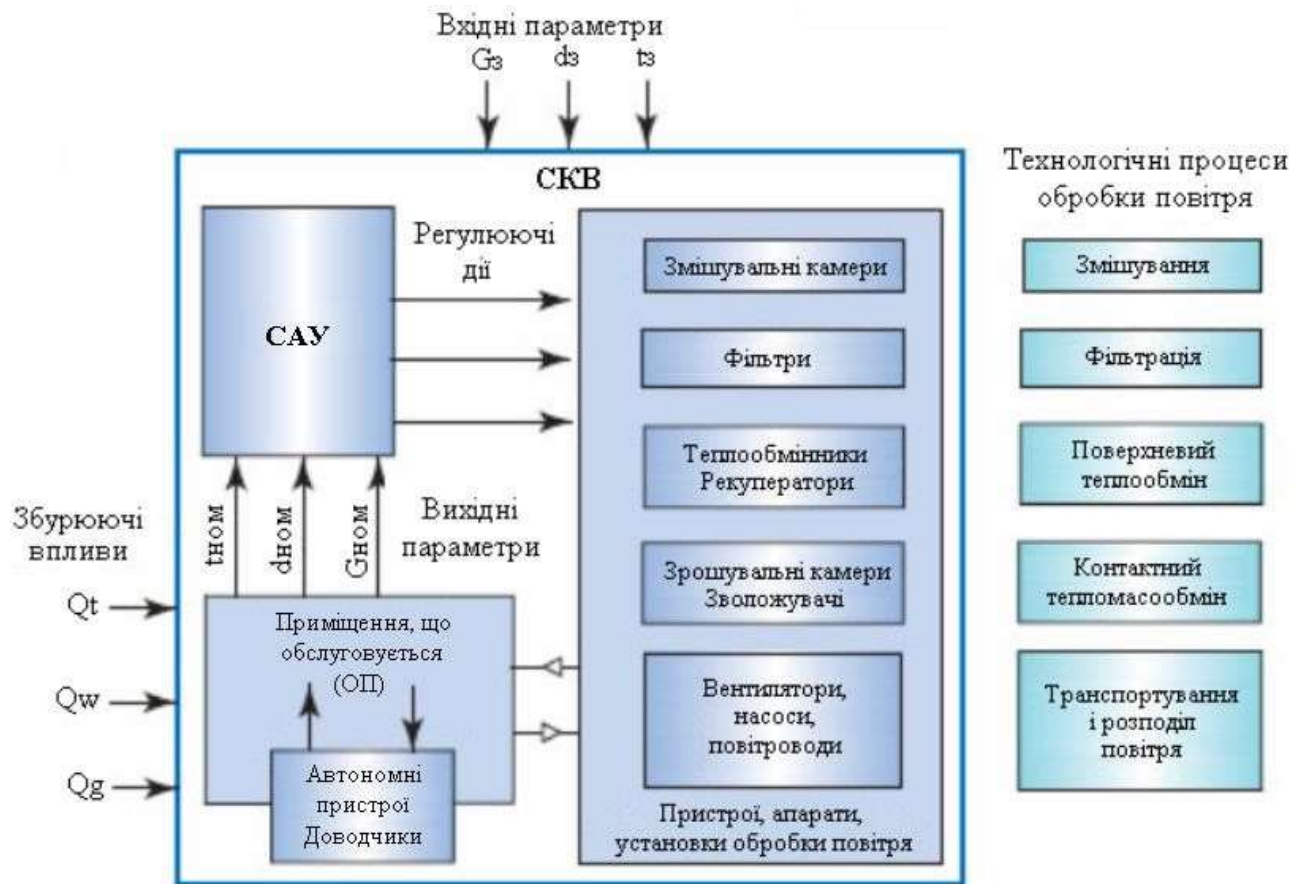
Студент

					КРБ.СІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



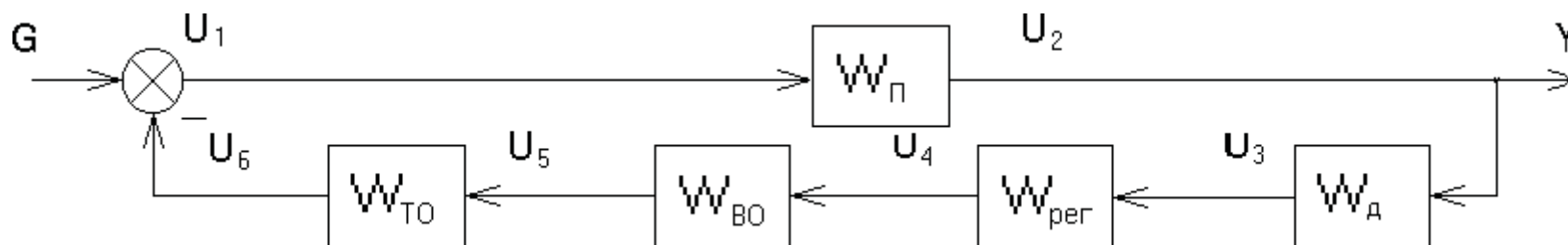
☀ Комп'ютер + принтер
 ≡ Вікно
 kser Ксерокс

					КРБ.СІ-08.00.00.001						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	План розміщення офісних приміщень на поверсі будівлі			Літ.	Маса	Масштаб	
Розроб.		Лаврись									
Перевір.		Іванюк									
Т. Контр.											
Реценз.											
Н. Контр.		Возний						Арк.	1	Аркушів	1
Затверд.		Заміховський						ІФНТУНГ, гр. СІ-21-1			



КРБ.СІ-08.00.00.002

					Система кондиціонування і вентиляції. Схема структурна			Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Лавриць			Арк.	1	Аркушів	1		
Перевір.		Іванюк			ІФНТУНГ, гр. СІ-21-1					
Т. Контр.										
Реценз.										
Н. Контр.		Возний								
Затверд.		Заміховський								



W_{Π} – приміщення і його передаточна функція

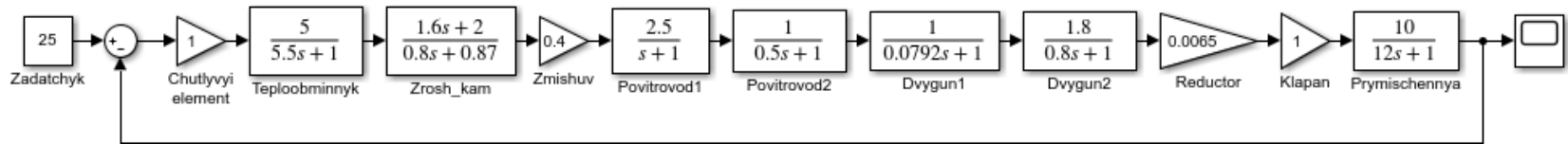
$W_{\text{д}}$ – датчик і його передаточна функція

$W_{\text{рег}}$ – регулятор і його передаточна функція

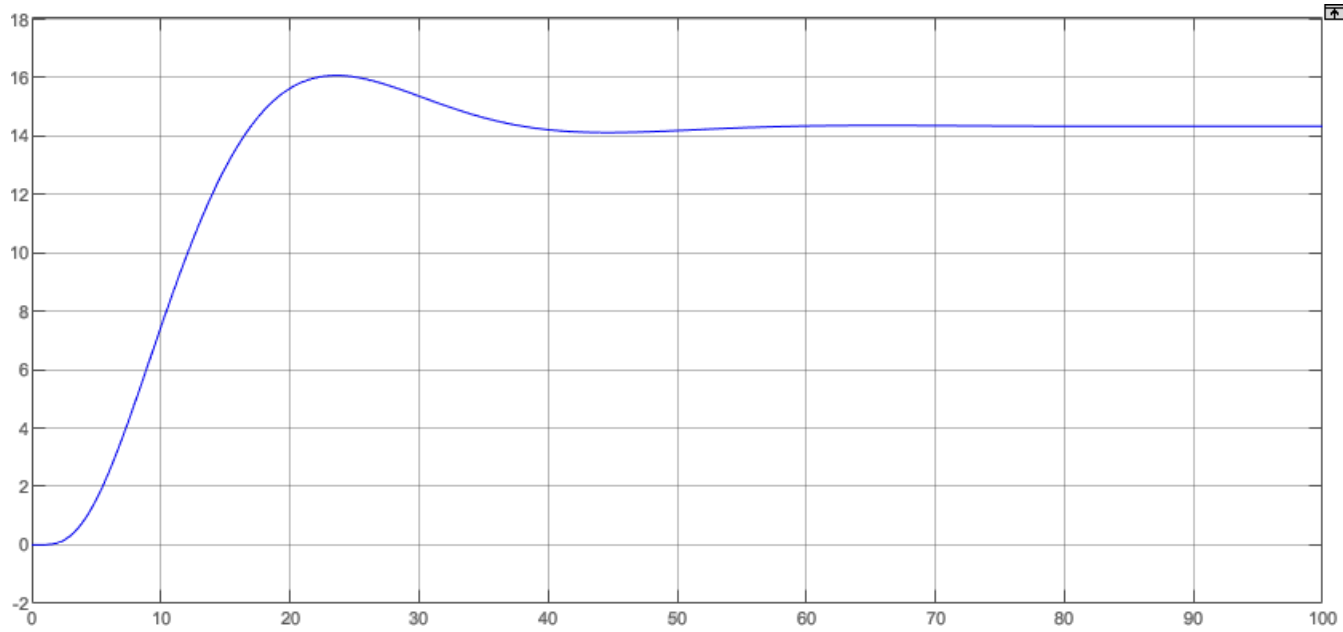
$W_{\text{во}}$ – виконавчого орган (триходовий кран з електроприводом) і його передаточна функція

$W_{\text{то}}$ – теплообмінник (повітрянагрівач) і його передаточна функція

					КРБ.СІ-08.00.00.003				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	САУ припливно-витяжною вентиляційною установкою. Схема функціонально-структурна	Літ.	Маса	Масштаб	
Розроб.		Лавриць							
Перевір.		Іванюк							
Т. Контр.									
Реценз.						Арк.	1	Аркушів	1
Н. Контр.		Возний				ІФНТУНГ, гр. СІ-21-1			
Затверд.		Заміховський							

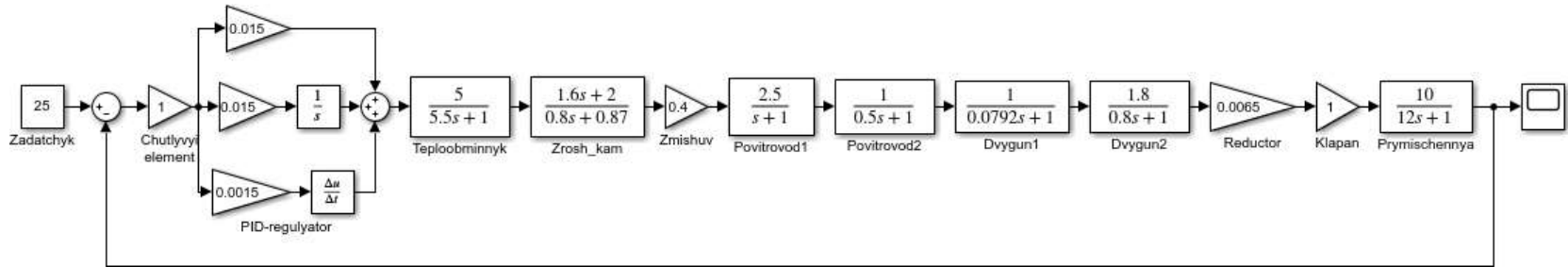


Імітаційна модель САУ вентиляцією без регуляторів

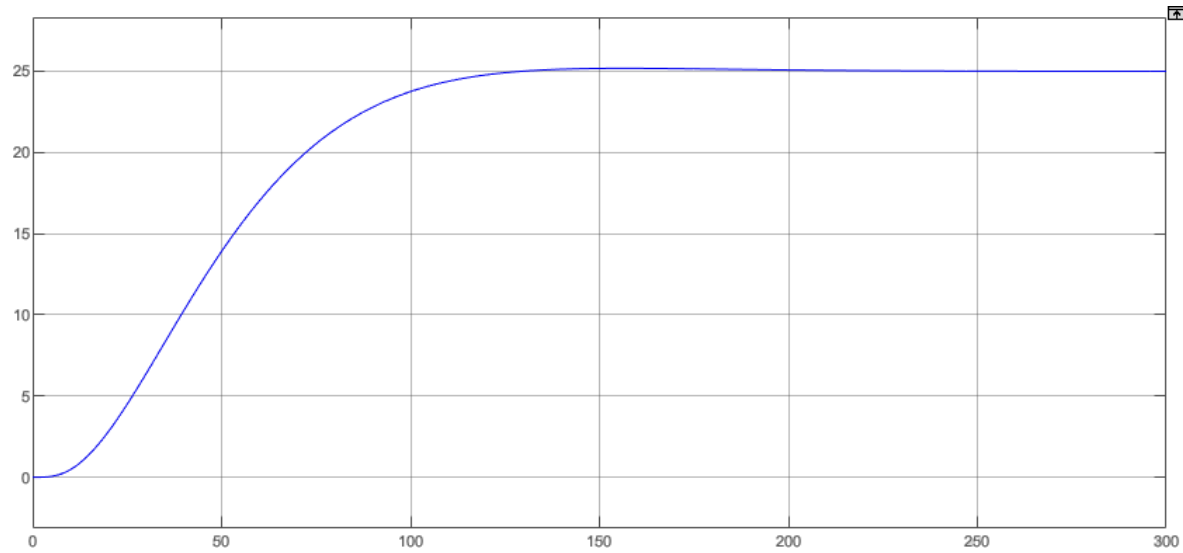


Перехідна характеристика САУ вентиляцією без регуляторів

					КРБ.СІ-08.00.00.004				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Імітаційна модель САУ вентиляцією без регуляторів	Літ.	Маса	Масштаб	
Розроб.		Лавриць							
Перевір.		Іванюк							
Т. Контр.									
Реценз.						Арк.	1	Аркушів	1
Н. Контр.		Возний				ІФНТУНГ, гр. СІ-21-1			
Затверд.		Заміховський							



Імітаційна модель САУ вентиляцією з ПІД-регулятором



Перехідна характеристика САУ вентиляцією з ПІД-регулятором

					КРБ.СІ-08.00.00.005				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Імітаційна модель САУ вентиляцією з ПІД- регулятором	Літ.	Маса	Масштаб	
Розроб.		Лаврись							
Перевір.		Іванюк							
Т. Контр.									
Реценз.						Арк.	1	Аркушів	1
Н. Контр.		Возний				ІФНТУНГ, гр. СІ-21-1			
Затверд.		Заміховський							