

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення автоматизованої системи вентиляції приміщень
типографії з контролем параметрів мікроклімату (комплексна тема)

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КА-41
спеціальності 151 «Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології»

(цифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Савеленко І.Д. (прізвище та ініціали)
	(підпис)	Бойко І.Ю. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Федорів П.С. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Козбур І.Р. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Савків В.Б. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Стухляк П.Д. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«14» травня 2026р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Савеленко Івану Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення автоматизованої системи вентиляції приміщень типографії з контролем параметрів мікроклімату» (комплексна тема).

Керівник роботи Федорів Петро Степанович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджена наказом ректора від «14» травня 2026 року № 4/9-231

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги вентиляції приміщень типографії.
Плани приміщень типографії. Технічні характеристики наявного обладнання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналітична частина;

Проектна частина;

Спеціальна частина;

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи аркушів формату А4: титульний слайд, актуальність роботи, формування завдання роботи, основна частина, висновки.

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«14» травня 2026р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Бойко Іван Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення автоматизованої системи вентиляції приміщень типографії з контролем параметрів мікроклімату» (комплексна тема).

Керівник роботи Федорів Петро Степанович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджена наказом ректора від « 14 » травня 2026 року № 4/9-231

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги до вентиляції приміщень типографії.
Плани приміщень типографії. Технічні характеристики наявного обладнання.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналітична частина;

Проектна частина;

Спеціальна частина;

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи аркушів формату А4: титульний слайд, актуальність роботи, формування завдання роботи, основна частина, висновки.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: Розроблення автоматизованої системи вентиляції приміщень типографії з контролем параметрів мікроклімату.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

У роботі проведено аналіз конструктивних особливостей систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря та способи формування мікроклімату виробничих приміщень. Здійснено аналіз сучасних систем HVAC.

У роботі здійснюється розробка заходів з автоматизації процесу вентиляції виробничих приміщень типографії. При цьому проведено вибір оптимальної технології системи HVAC. Розроблено автоматизовану систему керування економайзера вентиляційної системи. При проектування автоматизованої системи здійснено перевірку на надійність всіх її елементів.

Також виконано аналіз питань безпеки життєдіяльності й охорони праці.

Ключові слова: автоматичний контроль, контролер, мікроклімат, вентиляція, нагрів, охолодження.

З М І С Т

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Основи формування мікроклімату виробничих приміщень	11
1.2 Конструктивні особливості систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря	18
1.3 Аналіз сучасних систем HVAC	26
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	36
2.1 Методи забезпечення енергоефективності систем HVAC	36
2.2 Вибір оптимальної технології системи HVAC	38
2.3 Проектування автоматизованої системи керування економізатора вентиляційної системи	41
2.3.1 Розробка структурної схеми керування економізатора.....	41
2.3.2 Вибір контролера та схеми підключення	46
2.3.3 Вибір датчиків	51
2.3.4 Вибір привода економізатора	54
2.4 Розробка автоматизованої системи керування вентиляції	56
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	64
3.1 Моделювання роботи перетворювач частоти вентиляторів	64
3.2 Визначення передатних функцій елементів САР	66
3.3 Визначення якісних характеристик САР	69
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	85
4.1 Мікроклімат виробничих приміщень.....	85
4.2 Виробничий шум	87
4.3 Пожежна безпека та профілактика	88
4.4 Освітлення виробничих приміщень	91
ВИСНОВКИ	93
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	94

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AFC (англ. Airflow Control) – аналоговий контролер повітряного потоку.

AFMA (англ. Air Flow Measuring Station) – станція вимірювання повітряного потоку.

ASHRAE (англ. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) – Американське товариство інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря.

ECM (англ. Electronically Commutated Motor) – електронно-комутований двигун.

EP (англ. energy performance index) – індекс енергетичної ефективності.

FDD (англ. Fault Detection and Diagnosis) – автоматизований процес моніторингу для виявлення та діагностика несправностей.

HVAC (англ. Heating, Ventilation, and Air Conditioning) – це комплекс технологічних систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

MERV (англ. Minimum Efficiency Reporting Value) – це стандартизована шкала оцінки ефективності повітряних фільтрів.

RTU (англ. Rooftop Units) – дахові блоки.

VAV (англ. Variable Air Volume) – підтримка комфортної температури в будівлі шляхом зміни об'єму повітря, що подається, а не його температури.

VDP (англ. Vibration Dampener Pad) – віброгасник.

VFD (англ. Variable Frequency Drive) – частотно-регульований привод.

СВКП – система вентиляції й кондиціонування повітря.

ПЧ – перетворювача частоти.

ЧРП – частотно-регульований привод.

ВСТУП

Промислове поліграфічне виробництво передбачає створення великих обсягів друкованої продукції — від упаковки та етикеток до комерційних документів. Традиційно цей процес був трудомістким, але галузь зараз переживає значні зміни. Автоматизація стрімко стає центральною складовою операцій поліграфії, запроваджуючи технології, які оптимізують робочі процеси, підвищують ефективність праці та розширюють межі можливого. Для підприємств, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними, розуміння та впровадження цих автоматизованих рішень більше не є просто варіантом — це є необхідною умовою для зростання та довгострокової стійкості.

Автоматизація пропонує потужні рішення для вирішення проблем, що стоять перед промисловою друкарською галуззю. Завдяки інтеграції автоматизованих процесів підприємства можуть значно зменшити свою залежність від ручної праці, що призводить до зниження витрат на робочу силу та пом'якшення впливу нестачі працівників. Автоматизоване обладнання працює з високою швидкістю, що дозволяє пришвидшити виробничі цикли та скоротити час виконання робіт без шкоди для якості. Ця швидкість дозволяє компаніям виконувати більше замовлень та збільшувати свій потенціал доходу.

Передові автоматизовані системи також підвищують точність контролю якості. Автоматизовані системи моніторингу можуть виявляти дефекти та невідповідності в режимі реального часу, виправляючи проблеми на ходу та підтримуючи високі стандарти протягом усього тиражу. Ця точність поширюється на управління ресурсами, де автоматизація допомагає зменшити витрати матеріалів. Наприклад, автоматизована машина для згинання конвертів може виконувати своє завдання з неймовірною точністю, мінімізуючи помилки та втрати матеріалів. Оптимізуючи використання чорнил, паперу та інших ресурсів, автоматизація підтримує більш стійкі та економічно ефективні методи друку.

Життєвий досвід і наукові дослідження показують, що організм людини має величезні потенційні резерви для фізичної й розумової діяльності. Однак, щоб використовувати ці резерви, необхідно створити певні сприятливі умови. Насамперед, це ставиться до навколишнього середовища: чистоті, температурі, вологості повітря, змісту позитивних і негативних іонів, наявності полів різного походження і т.д.

Деякі з перерахованих параметрів можуть підтримуватися в необхідних межах системами вентиляції й кондиціонування повітря (СВКП). Якісна робота ВКВ, точність підтримки параметрів повітря, зниження експлуатаційних витрат і строків окупності кліматичного встаткування багато в чому залежать від алгоритмів роботи й від апаратурної реалізації систем автоматизації. Крім того, системи автоматизації, виконуючи захисні й діагностичні функції, не допускають вихід з ладу дорогого встаткування.

Відомо, що найбільші складності в керуванні технологічними процесами виникають, коли регульовані параметри обмежені багатомірною областю, наприклад, багатокутником. Саме в такий спосіб виглядають вихідні вимоги до СВКП при представленні їх термодинамічними моделями. Алгоритми керування СВКП повинні передбачати порядок переміщення й зміни параметрів повітря в області, обмеженої цим багатокутником, тобто здійснювати перехід вихідної безмежності параметрів (зовнішнє повітря) у нову безмежність параметрів (повітря, що подається в приміщення). При цьому такий процес повинен проходити найкоротшим (оптимальним) шляхом. Так, експлуатаційні витрати будуть мінімальними, якщо в холодний період року стан подаваного в приміщення повітря буде підтримуватися на рівні мінімально припустимої ентальпії, а в теплий період – на рівні максимально припустимої. Виходячи із цих і інших критеріїв, вибирається технологічний процес стабілізації параметрів, алгоритми й устаткування як СВКП у цілому, так і систем автоматизації зокрема.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Основи формування мікроклімату виробничих приміщень

Вентиляція — це процес подачі «свіжого» зовнішнього повітря або обміну повітря. Вентиляцію можна розглядати як контроль навколишнього середовища за допомогою потоку повітря. Загальну або природну вентиляцію називають «розріджувальною вентиляцією» [1]. Витяжна вентиляція використовується для контролю у повітрі кількості забруднюючих речовин (випари, пил та пари) для забезпечення безпечного та здорового середовища праці. Витяжна вентиляція може здійснюватися природними засобами або механічними засобами. Промислові вентиляційні системи призначені для витягування та впуску певної кількості повітря, що призводить до видалення небажаних забруднюючих речовин у певній зоні. Хоча всі вентиляційні системи дотримуються однакових основних принципів, кожна система розроблена спеціально згідно видів робіт виробничого процесу.

Вентиляція вважається «інженерним засобом контролю» для видалення або контролю забруднюючих речовин, які викидаються в приміщеннях робочого середовища. Це один з кращих та найефективніших способів контролю впливу забруднюючих речовин на працівників, що викидаються в повітря в результаті технологічного процесу.

Інші способи контролю забруднюючих речовин включають:

- виключення з використання небезпечного продукту,
- заміну менш токсичними продуктами,
- зміну технологічного процесу,
- або зміну робочої практики.

Вентиляція має чотири цілі:

1. Забезпечення безперервного надходження свіжого повітря.
2. Видалення або розрідження забруднюючих речовин у повітрі.
3. Зменшення потенційної пожежної чи вибухової небезпеки.
4. Підтримка температури та вологості на комфортному рівні.

Промислова вентиляційна система має дві основні частини: систему подачі свіжого повітря та витяжну систему.

Загалом, система подачі повітря – це система опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК) і складається з:

- впускний отвір для повітря;
- обладнання для фільтрації повітря;
- обладнання для опалення/охолодження;
- вентилятор;
- повітроводи;
- реєстри розподілу повітря.

Витяжна система складається з:

- зони «забору повітря»;
- повітропроводів для переміщення повітря з однієї зони в іншу;
- пристрою(ів) для очищення повітря;
- вентилятора(ів) для подачі зовнішнього повітря та витяжки забрудненого повітря з приміщення;
- випускних труб.

Витяжна або розріджувальна вентиляція (Dilution/general ventilation, загальна вентиляція) зменшує концентрацію забруднюючих речовин у повітрі шляхом змішування (розведення) забрудненого повітря зі свіжим, чистим, незабрудненим повітрям. Вона також може допомогти регулювати температуру та вологість робочого середовища. Локальна витяжна вентиляція вловлює забруднюючі речовини біля джерела або дуже близько до нього.

Витяжна вентиляція подає та відкачує велику кількість повітря до певної зони або будівлі та з неї. Зазвичай вона передбачає використання великих витяжних вентиляторів, розміщених у стінах або даху будівлі. Вона використовується для запобігання накопиченню неприємних запахів, вуглекислого газу тощо.

Розріджувальна вентиляція контролює забруднюючі речовини, що утворюються на робочому місці, шляхом вентиляції всього робочого місця.

Використання розріджувальної вентиляції певною мірою розподіляє забруднюючі речовини по всьому робочому місці і тому може впливати на людей, які знаходяться далеко від джерела забруднення.

Загальна вентиляція може бути ефективнішою, якщо витяжний вентилятор розташований поблизу працівників, які піддаються впливу, а надлишкове повітря знаходиться позаду працівника, щоб забруднене повітря відводилося від зони дихання працівника. На рисунку 1.1 приведені приклади кращих схем вентиляційних систем [2,3].

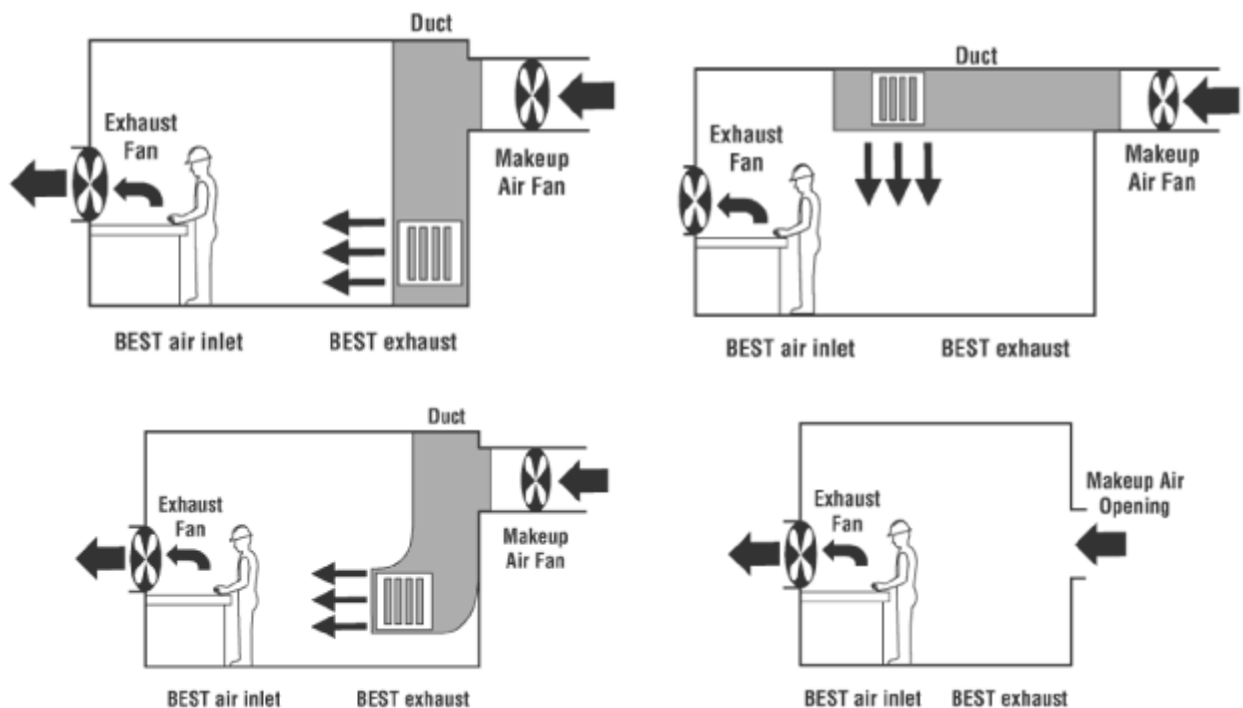


Рисунок 1.1 – Приклади рекомендованих схем витяжної вентиляції

Як метод захисту працівників, важливо знати, що розріджувальна вентиляція:

- не повністю видаляє забруднюючі речовини;
- не може використовуватися для високотоксичних продуктів;
- неефективна для пилу, металевих випарів або великої кількості газів чи парів;
- потрібна велика кількість додаткового повітря для нагрівання або охолодження;
- неефективна для обробки стрибків газів, парів або нерегулярних викидів.

Загалом, швидкість потоку повітря або «об'ємна» швидкість потоку розріджувальної вентиляції значною мірою залежить від того, як швидко забруднювач потрапляє в повітря, а також від ефективності процесу змішування свіжого повітря та повітря в робочому приміщенні.

Як метод вентиляції або для забезпечення комфорту зазвичай використовуються «підлогові» або «настільні» вентилятори [4]. Ці вентилятори зазвичай роздувають забруднювач по робочій зоні, не контролюючи його ефективно. Відкриття дверей або вікон може бути використано як витяжна вентиляція, але знову ж таки, цей метод не є надійним, оскільки рух повітря не контролюється.

Локальні витяжні системи використовуються для контролю забруднень повітря шляхом їх уловлювання біля джерела або поблизу нього, на відміну від витяжна вентиляції, яка дозволяє забруднювачу поширюватися по всьому робочому місці. Локальна витяжка, як правило, є набагато ефективнішим способом контролю токсичних забруднювачів, перш ніж вони досягнуть зон дихання працівника. Цей тип системи зазвичай є кращим методом контролю, якщо:

- забруднювачі повітря становлять серйозну загрозу для здоров'я;
- утворюється велика кількість забруднювачів;
- збільшення витрат на опалення від вентиляції в холодну погоду викликає занепокоєння;
- джерела викидів невелика кількість;
- джерела викидів знаходяться поблизу зон дихання працівників.

Загалом, локальна витяжна система працює подібно до побутового пилососа, зі шлангом якомога ближче до місця, де утворюється бруд.

Локальна витяжна система має п'ять основних елементів (рис.1.2) [2]:

- витяжка (ковпак) 1, яка захоплює забруднювач у джерелі;
- повітроводи 2, що транспортують хімічні речовини, що містяться в повітрі, через систему (відпрацьоване повітря), та рециркулююче повітря;

- пристрій очищення повітря 3, який видаляє забруднювач з повітря, що рухається в системі (не завжди потрібен);
- вентилятори 4, що переміщують забруднене повітря через систему та виводять відпрацьоване повітря назовні;
- витяжна труба 5, через яку викидається забруднене повітря.

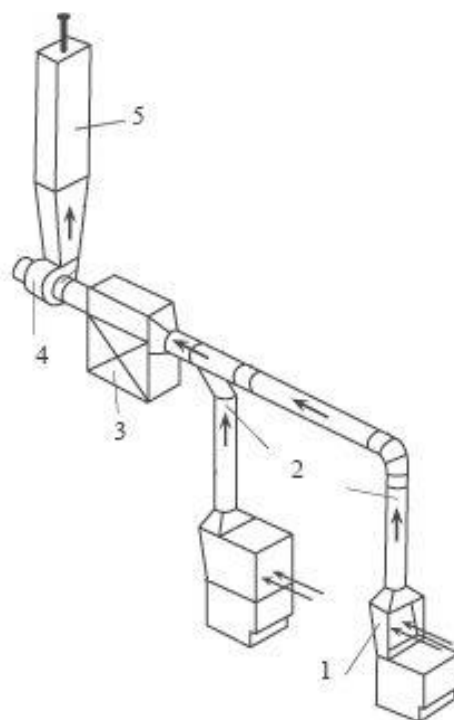


Рисунок 1.2 – Компоненти локальної витяжної вентиляційної системи

Усі промислові вентиляційні системи, за умови правильного проектування, повинні забезпечувати довготривалий захист працівників.

Деякі обмеження будь-якої вентиляційної системи включають такі фактори:

- системи з роками погіршуються через накопичення забруднюючих речовин у системі, особливо у фільтрах;
- вимагають постійного обслуговування;
- регулярні та планові випробування необхідні для раннього виявлення проблем та вжиття коригувальних заходів;
- лише кваліфіковані фахівці повинні вносити зміни до вентиляційної системи, щоб забезпечити її ефективну роботу.

Таблиця 1.1 - Порівняння вентиляційних систем

Витяжна вентиляція		Локальна витяжна вентиляція	
Переваги	Недоліки	Переваги	Недоліки
Зазвичай нижчі витрати на обладнання та встановлення.	Не повністю видалляє забруднювачі.	Захоплює забруднювач у джерелі та видалляє його з робочого місця.	Вищі витрати на проектування, встановлення та обладнання.
Потребує менше технічного обслуговування.	Не може використовуватися для високотоксичних хімічних речовин.	Єдиний вибір для високотоксичних хімічних речовин, що переносяться повітрям.	Потребує регулярного очищення, перевірки та технічного обслуговування.
Ефективний контроль невеликої кількості низькотоксичних хімічних речовин.	Неефективний для пилу або металевих випарів, або великої кількості газів чи парів.	Може справлятися з багатьма типами забруднювачів, включаючи пил та металеві випари.	
Ефективний контроль легкозаймистих або горючих газів або парів.	Потрібна велика кількість нагрітого або охолодженого додаткового повітря.	Потрібна менша кількість додаткового повітря, оскільки витягується менша кількість повітря.	
Найкраща вентиляція для мобільних або розсіяних джерел забруднювачів.	Неефективний для боротьби зі сплесками газів або парів або нерегулярними викидами.	Менші витрати енергії, оскільки потрібно менше додаткового повітря для нагрівання або охолодження.	

Важливим, але іноді недооціненим аспектом місцевої вентиляції є необхідність забезпечення достатньої кількості повітря для заміни повітря, яке відводиться з робочого місця. Якщо при відведенні великих об'ємів повітря не забезпечується достатньої кількості додаткового повітря, робоче місце відчуває «нестачу» повітря, і створюється негативний тиск.

Негативний тиск на робочому місці збільшує опір вентиляційній системі, змушуючи її переміщувати менше повітря. Повітря також потраплятиме в будівлю через щілини навколо дверей, вікон або інших невеликих отворів, намагаючись «зрівняти» швидкість видалення повітря. В результаті працівники можуть піддаватися впливу холодного повітря взимку, що може призвести до додаткових витрат на опалення.

У виробничих цехах та майстернях обладнання та машини часто експлуатуються з температурою поверхні вищою за температуру навколишньої атмосфери. Це призводить до термічного повітряного потоку, який за відсутності вентиляційного пристрою утворює циркуляційний потік (рис.1.3). Потік повітря спочатку транспортує небезпечні речовини, що виділяються в робочій зоні, до стелі, як бажано, а потім транспортує їх назад у робочу зону працівників, що небажано.

Відведення повітря зі стелі зазвичай не запобігає зворотному потоку. У вентиляльованих цехах невідповідна схема потоку повітря може навіть сприяти цьому зворотному потоку сторонніх речовин у повітрі, наприклад, коли припливне повітря подається в приміщення зі стелі (рис.1.4).

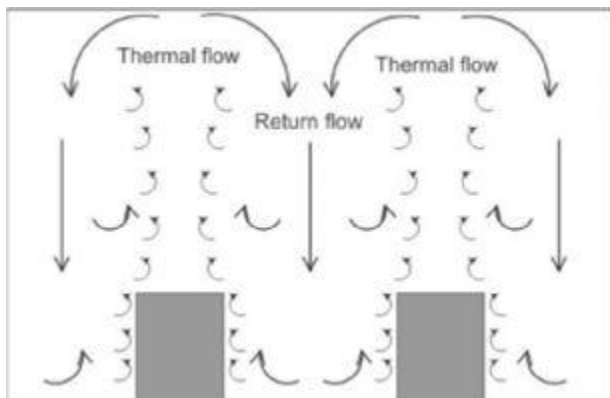


Рисунок 1.3– Тепловий перехід на гарячих поверхнях (зверху),

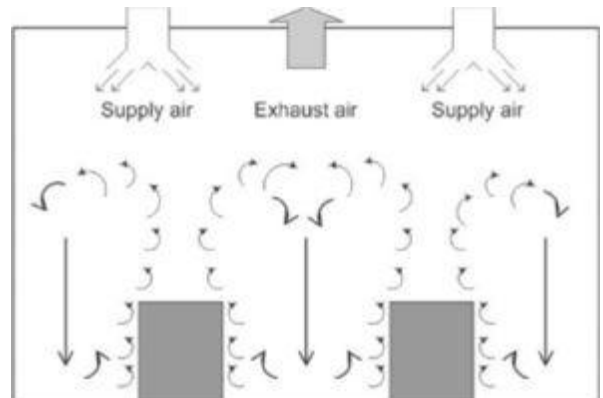


Рисунок 1.4 – Несприятлива схема потоку повітря вниз (знизу)

Пропонується використовувати вдосконалену концепцію схеми потоку повітря. Завдяки останньому поколінню вентиляційних систем, припливній вентиляції, свіже повітря подається в цех на низькому рівні для компенсації тиску, а забруднене повітря відводиться в області стелі. Таке розташування запобігає зворотному потоку повітря (рис.1.5).

Щоб запобігти впливу потоків повітря на схему потоку, припливне повітря повинно виходити з вентиляційних отворів з дуже низькою швидкістю потоку (низьким імпульсом). Вентиляцію джерела тепла можна використовувати в будь-якому приміщенні, що містить джерела тепла. Системи вентиляції джерела тепла вже довели свою ефективність у складальних цехах, цехах механічного

виробництва, цехах, де розташовані установки для лиття пластмас, та ливарних цехах.

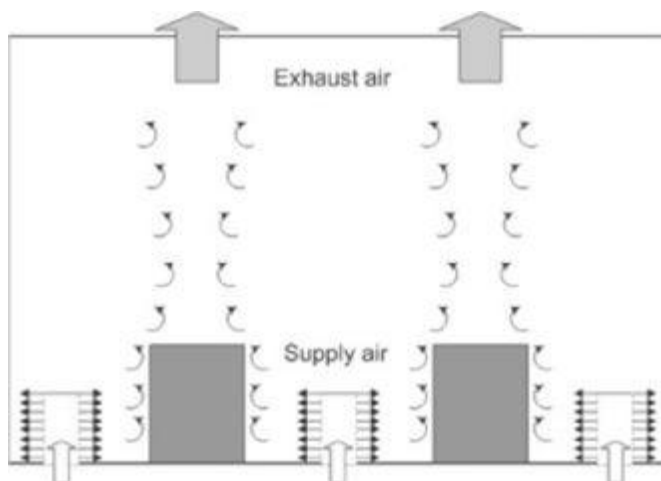


Рисунок 1.5 – Ідеальна схема потоку повітря, від землі вгору

1.2 Конструктивні особливості систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря

HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) — це комплекс технологічних систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Комплектні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря можна зустріти скрізь у малих та середніх комерційних будівлях.

Блок лише з припливним вентилятором є найпоширенішою конфігурацією для блоків HVAC малого тоннажу. Його можна використовувати для невеликих приміщень, можливо, для однієї аудиторії. Для зниження тиску в будівлі в приміщенні або всередині RTU (Rooftop Units – дахові блоки) можна встановити барометричний демпфер. Цей демпфер дозволить скинути надмірний тиск назовні. Накопичення тиску в будівлі відбувається під час економічного циклу, коли все зовнішнє повітря втягується ззовні та подається в приміщення без можливості повернення [3,4]. Повітря має кудись йти, тому воно шукає шлях найменшого опору, наприклад, тріщини під дверима або відкриті вікна.

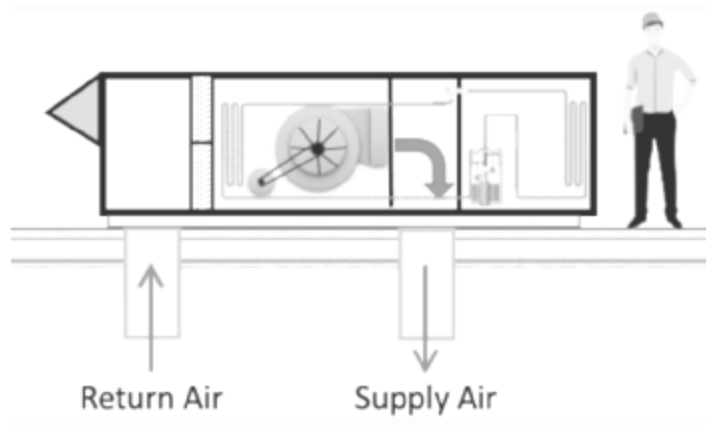


Рисунок 1.6 – Блок лише з припливним вентилятором

Використання лише припливного вентилятора з економайзером у великій будівлі ускладнить контроль тиску в будівлі. Кожен бував у будівлі, де двері з силою відчиняються, свистять або їх важко відчиняти через співвідношення тиску, що створюється вентиляторами системи опалення, вентиляції та кондиціювання повітря. Ось чому у великих системах важливо подумати про тиск у будівлі та додати зворотний або витяжний вентилятор до дахового блоку.

Кращий контроль тиску в будівлі досягається шляхом додавання зворотного вентилятора [4]. У цій конфігурації зворотний вентилятор може обробляти статичний тиск зворотного повітря у повітроводі, а припливний вентилятор може обробляти статичний тиск у припливному повітроводі. Буде три комплекти заслінок, які контролюють подачу та об'єм (CFM) трьох повітряних потоків: зовнішнього повітря, зворотного повітря та відпрацьованого повітря.

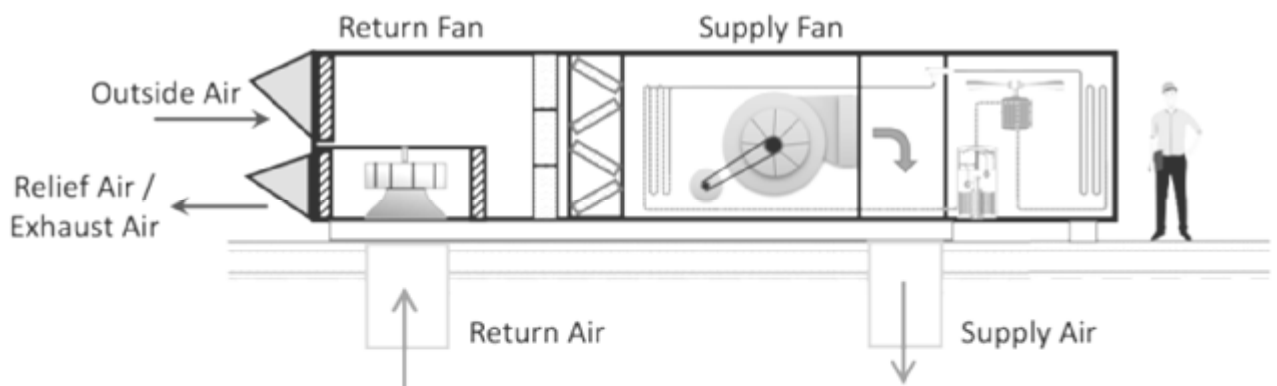


Рисунок 1.7 – Комплексний даховий блок HVAC з припливними та витяжними вентиляторами

У режимі економайзера на 100% зворотна заслінка буде на 100% закрита, оскільки все повітря в будівлі замінюється зовнішнім повітрям, тому зовнішня заслінка відкрита на 100%, що залишає витяжну заслінку відкритою на 100%, виводячи все зворотне повітря з будівлі. Саме тут можна застосувати використання енергетичного колеса, яке ми обговоримо пізніше.

У більших блоках є можливість додати витяжний вентилятор. У цій конфігурації витяжний вентилятор буде використовуватися для контролю тиску в будівлі. Буде датчик контролю тиску в будівлі, який забезпечуватиме зворотний зв'язок щодо того, коли запускати вентилятор. У цьому випадку припливний вентилятор буде відповідати за статичний тиск у системі припливного та зворотного повітря.

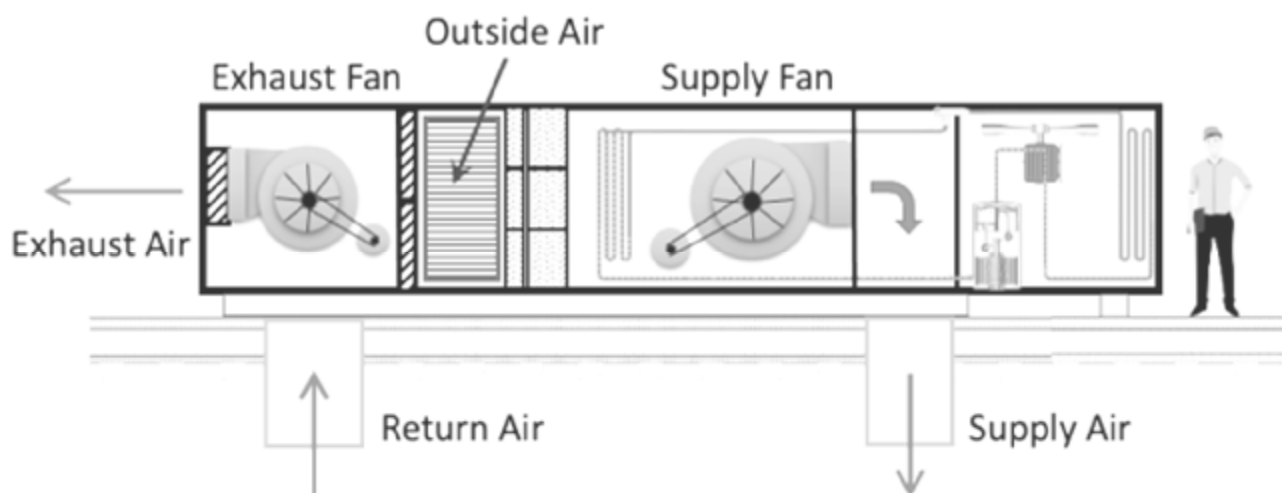


Рисунок 1.8 – Даховий блок HVAC з припливним та витяжним вентиляторами

Оскільки припливний вентилятор відповідає за статичний тиск повернутого повітря, ця конфігурація найкраще працює з системами повернення з низьким статичним тиском, такими як безканалні системи повернення (горище). Витяжний вентилятор працюватиме для підтримки статичного тиску в будівлі, модулюючи відкриття заслінки або швидкість вентилятора, тоді як економайзер (заслінка OSA) модулюється для задоволення потреб вентиляції.

У багатьох проектах використання економайзера є обов'язковим для економії енергії, коли зовнішнє повітря достатньо холодне для кондиціонування приміщення. Економайзери використовують зовнішнє повітря для охолодження

будівлі, коли зовнішнє повітря достатньо холодне, щоб допомогти або повністю охолодити приміщення. Це дозволяє зменшити або повністю вимкнути холодильне обладнання (компресор), що сприяє економії енергії.

Економайзер – це, по суті, набір заслінок та певної логіки керування, яка відкриває та закриває заслінку зовнішнього повітря, щоб пропускати більше або менше зовнішнього повітря в будівлю залежно від потреб або мінімальних норм.

Важливим фактором при використанні економайзера в комерційній будівлі є тиск у будівлі, який пов'язаний з розташуванням вентиляторів у даховому блоку. У блоках малої потужності можна обійтися лише припливним вентилятором та барометричною скидною заслінкою. У більших блоках може знадобитися додати зворотний або витяжний вентилятор, особливо якщо є велика кількість повітропроводів зворотного повітря.

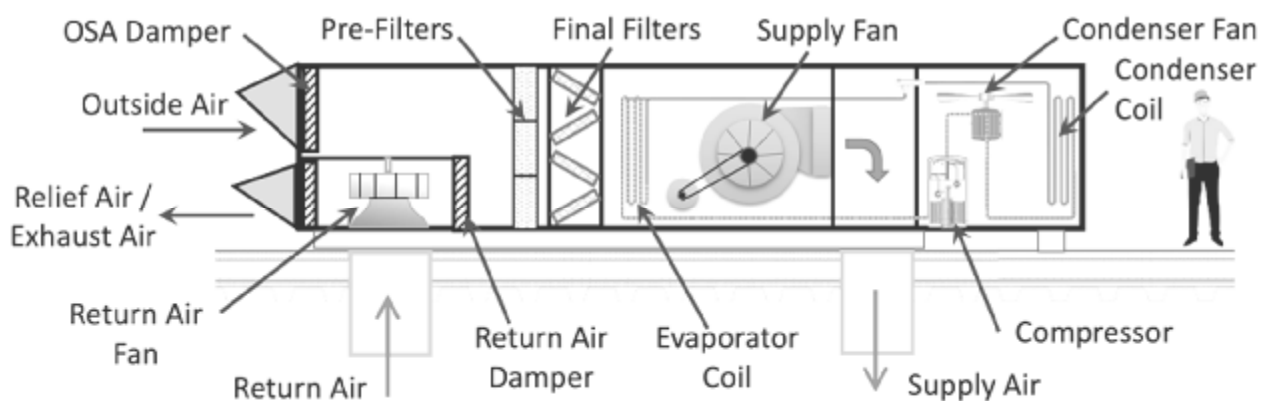


Рисунок 1.9 – Комплектні компоненти дахового блоку HVAC

Залежно від розміру дахового блоку може існувати вимога щодо використання вентилятора зі змінною швидкістю. Використання двигуна VFD або ЕСМ для зменшення об'єму повітря, коли зменшується потреба в охолодженні, заощадить енергію. Це часто вимагається енергетичними нормами.

Вентилятори можуть бути відцентровими з ремінним приводом або вентиляторами пленумного типу з прямим приводом. Відцентрові вентилятори повинні бути встановлені на пружинних ізоляторах, щоб гасити будь-яку

вібрацію від двигуна. Припливний вентилятор є іншим основним енергоспоживачем дахового блоку, окрім компресора.

Згідно з нормами, буде передбачено отвір для зовнішнього повітря для забору вентиляційного повітря, щоб забезпечити мешканців свіжим повітрям. Отвір для зовнішнього повітря може мати економайзер залежно від його розміру. Якщо блок оснащений економайзером, буде або отвір для скидання повітря (барометричний скидання), що виходить з будівлі (не повертається в приміщення), або модуль з примусовою витяжкою для відведення зворотного повітря, коли економайзер працює.

Кількість повітря контролюється заслінками з приводами, які перетворюють їх із закритого стану у відкритий залежно від потреби. Ці заслінки модулюватимуть свій об'єм залежно від вимог до простору. Зовнішня заслінка ніколи не повинна повністю закриватися, оскільки норми вимагають мінімальної кількості зовнішнього повітря для людей.

Барометричні скидання зазвичай використовуються в невеликих системах або будівлях. Зі зростанням тиску в будівлі збільшення тиску змусить відкрити барометричний запобіжний клапан, розташований у зворотній секції RTU або в просторі приміщення. Для відкриття барометричного запобіжного клапана немає датчиків, елементів керування чи двигунів, він відкривається виключно залежно від тиску в будівлі. Зазвичай вони використовуються в невеликих системах, коли зворотне повітря не подається через повітроводи, наприклад, у зворотному пленумі з відкритою стелею.

Одна з переваг пакетованого дахового блоку HVAC полягає в тому, що всі холодильні компоненти знаходяться в одній шафі, порівняно зі спліт-системами, де у вас буде внутрішня та зовнішня секції, з'єднані трубопроводами холодоагенту. Зі збільшенням розмірів дахових блоків HVAC, вагою близько 30 тон або більше, вони мають два холодильні контури замість одного. Це дозволяє краще контролювати продуктивність.

Фільтрація повітря. Кількість фільтрації варіюється від мінімально необхідних до більш потужних фільтрів для видалення забруднюючих речовин,

які можуть бути шкідливими для процесу, який обслуговують дахові установки. Фільтри оцінюються за їхнім числом MERV, яке зазвичай становить щонайменше MERV-13. Існують спеціальні фільтри, такі як HEPA-фільтр, який збільшує видалення пилу та дрібних частинок у повітрі, ніж стандартний фільтр, але вони дорожчі. Існують також вугільні фільтри для видалення газів та УФ-фільтр для знищення бактерій. Стандартні установки постачаються зі стандартною фільтрацією, але ці інші опції можуть бути доступні за запитом [3].

Може бути кілька секцій фільтрації, включаючи дешевші попередні фільтри MERV-8 товщиною 2 дюйми до дорожчих фільтрів MERV-14 товщиною 12 дюймів.

У секції охолодження блоку відбувається теплопередача між холодоагентом або джерелом теплового палива. У тепловому насосі або блоці прямого охолодження холодоагентний контур подає холодоагент до котушки холодоагентом від компресора.

Котушки можуть бути виготовлені з мідних трубок та алюмінієвих ребер або бути повністю алюмінієвими мікроканальними котушками. Доступні й інші варіанти, такі як мідні ребра або котушки з покриттям. Котушки є місцем теплопередачі, тому їх слід регулярно обслуговувати.

Опалення може забезпечуватися тепловим насосом (електричним), газом, гарячою водою або паром. Більшість менших RTU оснащені тепловими або газовими насосами. Більші RTU пропонують варіанти для різних інших методів опалення, таких як гаряча вода або пара. Якщо для опалення використовується газ, то для передачі тепла від газу, що горить, до повітря, що проходить через теплообмінник, необхідний теплообмінник з нержавіючої сталі, який передає тепло від газу, що горить, до повітря, що проходить через теплообмінник. При цьому вони ніколи не змішуються. Газові пальники зможуть модулювати об'єм у певному співвідношенні, наприклад, 4:1, щоб відповідати поточним потребам приміщення.

Секція попереднього та повторного нагріву корисна для холодніших кліматичних умов, може знадобитися забезпечити повторний нагрів, коли

повітря виходить з охолоджувального змійовика, щоб забезпечити температуру припливного повітря в межах заданого значення.

Компресори - це серце холодильного циклу, де витрачається значна частина енергії на обігрів або охолодження приміщення. Компресори можуть бути інверторними, що дозволяє регулювати швидкість та потужність, а також заощаджувати енергію. Залежно від розміру блоку може бути більше одного компресора, і може бути більше одного контуру. Компресори можуть бути поєднанням фіксованої та змінної швидкості.

Конденсатори. Залежно від розміру блоку та місця встановлення, існує два варіанти типу конденсатора: з повітряним охолодженням та випарний. Випарний конденсатор зазвичай доступний для моделей потужністю від 20 т. Конденсатор - це секція холодильного контуру, яка відводить тепло в навколишню атмосферу. Конденсаторні котушки доступні з антикорозійним покриттям для агресивних середовищ, таких як морська вода та повітря.

Часто для блоків певного розміру потрібні детектори диму, встановлені в повітроводах, оскільки для всіх приміщень об'ємом понад 56 м³ за хвилину потрібен детектор диму, який вимикає даховий блок при виявленні диму. Це допомагає запобігти поширенню диму по всій будівлі. Можливо, детектор диму можна встановити всередині дахового блоку. Це заощадить час і гроші, оскільки не доведеться монтувати та підключати детектор диму до блоку. Може виникнути додаткова вимога щодо дистанційного моніторингу на пожежній панелі, що буде обов'язком підрядника з пожежної безпеки/безпеки життєдіяльності.

Елементи керування можуть бути повністю інтегровані та встановлені на заводі, готові до роботи, з інтерфейсною панеллю, встановленою на даховому блоці. Більші блоки можуть мати захист від статичного перевантаження на RTU з частотними перетворювачами. Будуть модулі комунікаційного інтерфейсу для LonTalk, BACnet або власний інтерфейс виробника, що дозволяє підключатися до системи управління будівлею або здійснювати дистанційний моніторинг. Це дозволяє керувати блоком з будь-якого місця з підключенням до Інтернету. Деякі

виробники RTU пропонують керування своїми блоками через Wi-Fi, що усуває необхідність жорсткого підключення елементів керування.

На більших RTU є можливість керувати припливними, зворотними та витяжними вентиляторами за допомогою частотних перетворювачів.

Використання системи виявлення та діагностики несправностей (FDD) з RTU, що мають економайзер, забезпечує сповіщення про неналежну роботу економайзера або зовнішньої повітряної заслінки. Економайзери або зовнішні заслінки відомі своєю непрацездатністю, що призвело до додаткових вимог до нормативних актів та випробувань. FDD призначена для сповіщення про виникнення несправності, оскільки неправильно функціонуючі економайзери є марною тратою енергії та/або не забезпечують необхідного об'єму вентиляційного повітря, необхідного для приміщення.

Існують різні додаткові компоненти, які можна додати до індивідуального RTU, такі як зволожувач повітря. Зволожувач додає вологу до повітря для підтримки певного діапазону відносної вологості через певні технологічні або просторові вимоги.

Деякі з більших RTU мають більше однієї точки входу для підключення електроживлення. Більшість норм зараз вимагають наявності певної форми електричної розетки на певній відстані від RTU для обслуговуючого персоналу. Більші блоки можуть мати опцію встановлення розетки на блоці.

Іншим варіантом є встановлення колеса рекуперації енергії в деяких більших дахових блоках для збільшення економії енергії при використанні великої кількості зовнішнього повітря (вентиляційного повітря). Колесо рекуперації енергії вловлюватиме тепло та вологу, що випаровуються, та передаватиме їх у зовнішнє повітря, яке надходить, і використовується для вентиляції. Колесо рекуперації енергії можна використовувати в блоках зі 100% зовнішнім повітрям або в дахових блоках з економайзерами.

Деякі виробники використовують звукоглушники для зниження рівня шуму, що виходить від дахового блоку. Зазвичай їх встановлюють після

вентиляторів припливного повітря, щоб зменшити передачу шуму від вентиляторів у будівлю.

Оскільки RTU встановлюються на відкритому повітрі, вони повинні забезпечувати захист від негоди, будь то сонце, дощ, сніг, вітер чи солоне океанське повітря. Блоки стандартно постачаються з оцинкованої сталі з цинковим покриттям та пофарбовані відповідно до стандартного кольору виробника.

Існують спеціальні покриття для корпусу та внутрішніх компонентів, таких як котушки, якщо це необхідно через прибережне розташування. Вони також повинні забезпечувати теплову цілісність за допомогою внутрішньої термообшивки або додаткової двостінної конструкції з піноізоляцією.

Даховий блок повинен бути повністю захищеним від атмосферних впливів, але забезпечувати доступ під час обслуговування.

Використання дахового блоку опалення, вентиляції та кондиціонування повітря дозволяє легко встановлювати його в широкому діапазоні розмірів, від 2 до 160 т. Доступні різні опції для зволоження, рекуперації енергії, економайзерів, ультрафіолетового випромінювання, звукоізоляції, частотних перетворювачів, покриттів котушок та шаф для захисту дахових бордюрів, а також посиленої фільтрації. Існують різні схеми вентиляторів для контролю тиску в будівлі, коли RTU обслуговують великі будівлі або кілька приміщень. Додавання рециркуляційного вентилятора забезпечує кращий контроль тиску в будівлі завдяки повітроводному рециркуляційному вентилятору.

1.3 Аналіз сучасних систем HVAC

Розглянемо блоки YORK® Sun™ Choice, що пропонують високоефективні, надвисокоефективні варіанти та варіанти з тепловим насосом для найекономічнішого комфортного охолодження [8]. Високоефективні блоки

Choice доступні в спеціальних конфігураціях з низхідним (15-27,5т) або боковим потоком (15-25 т) з відповідними опціями та аксесуарами.

Блоки Choice з теплонасосом використовують механічне та електричне тепло замість спалювання газу для підтримки зусиль щодо сталого розвитку та декарбонізації шляхом зменшення як споживання енергії, так і шкідливих викидів CO₂. Ці теплові насоси також забезпечують до 13% вищий показник коефіцієнт енергоефективності, ніж конкурентні блоки, відповідають вимогам DOE 2023 як для опалення, так і для охолодження.

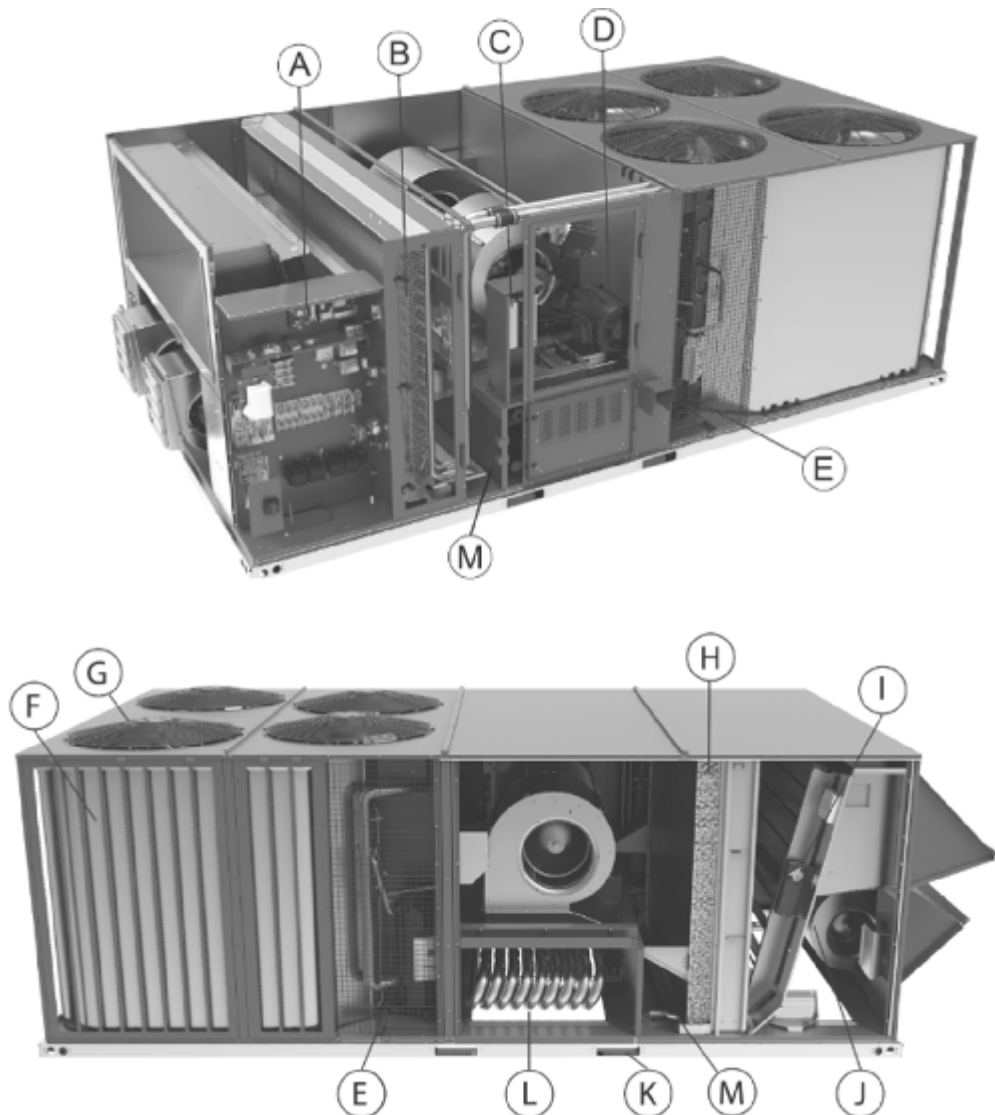


Рисунок 1.10 – Розташування компонентів Choice:

A – елементи керування Smart Equipment™, B – фільтр; C – додатковий привід зі змінною частотою; D – двигун повітродувки; E – спіральні компресори; F – мікроканальні змійовики конденсатора; G – вентилятори конденсатора; H – випарник з мідними трубками/алюмінієвими ребрами; I – додатковий економайзер; J – додаткова примусова витяжка; K – опорні рейки; L – додатковий газовий нагрів із теплообмінником.

Вимоги до потоку повітря виконуються завдяки дискретному керуванню вентиляторами IntelliSpeed та конфігураціям вентиляторів із змінним об'ємом повітря VAV. Усі моделі можна налаштувати лише для охолодження, електричного опалення, поетапного газового опалення або модулюючого газового опалення.

Основні характеристики продукту:

- Система керування Smart Equipment™ спрощує введення в експлуатацію, інтеграцію та обслуговування.
- Два незалежні холодильні контури.
- Два та чотири ступені охолодження, IntelliSpeed та VAV.
- Три унікальні варіанти потоку повітря: 2-ступінчастий IntelliSpeed, 4-ступінчастий IntelliSpeed та VAV.
- Заводське ступінчасте газове нагрівання та заводське або польове електричне нагрівання.
- Додаткова модулююча газова нагрівальна піч зі стандартним теплообмінником з нержавіючої сталі.
- Додатковий модулюючий перегрів гарячого газу для максимального контролю вологості. Опція повторного нагрівання, додана до базової моделі, забезпечує підвищену гнучкість.

Доступні зі стандартним коефіцієнтом ефективності охолодження, газовим або електричним обігрівом, блоки Choice досягають коефіцієнта енергоефективності до 11,1. Показники IEER до 14,8 залежать від типу обігріву кожної моделі та вибраного потоку повітря в приміщенні, що забезпечує оптимальну ефективність для кожної класифікації моделі.

Кожен тоннаж має чотири унікальні варіанти внутрішнього потоку повітря, доступні для максимального налаштування відповідно до потреб кожного робочого місця. 2-ступінчаста IntelliSpeed, 4-ступінчаста IntelliSpeed та конфігурації зі змінним об'ємом повітря мають окремий алгоритм ступінчастого потоку та компресора, розроблений для максимальної ефективності та надійності. Моделі зі змінним потоком повітря, IntelliSpeed або VAV,

включають привід змінної частоти (VFD) для модуляції потоку повітря вентилятора.

Частотно-регульовані приводи (ЧРП) забезпечують вищу ефективність завдяки роботі як за технологією IntelliSpeed, так і зі змінним об'ємом повітря. Усі ЧРП мають 5-річну гарантію виробника та забезпечують легке введення в експлуатацію завдяки стандартній платі керування Smart Equipment™ та функції плавного запуску для збільшення терміну служби двигуна та ременя.

Пристрої оснащені випарниками з мідних трубок/алюмінієвих ребер та мікроканальними конденсаторними змійовиками. Газові нагрівальні установки мають трубчасту конструкцію з пальниками з внутрішнім розпиленням та індукованою тягою. Стандартні елементи керування забезпечують два ступені регулювання потужності з додатковою опцією модуляції газового нагріву.

Блок керування Smart Equipment™ стандартно постачається з вбудованим USB-портом, який приймає звичайний флеш-накопичувач. Можна використовувати порт для таких функцій: реєстрація даних, перелік поточних та попередніх системних несправностей, а також резервне копіювання або оновлення версії програмного забезпечення. Звіти про самотестування та запуск також доступні через USB-порт.

Блоки оснащені датчиками температури припливного повітря, рециркуляційного повітря та зовнішнього повітря, що забезпечують ключові показники температури та спрощують встановлення на місці.

Контролер контролює температуру зовнішнього, припливного та зворотного повітря, а також стан реле високого та низького тиску в незалежних контурах холодоагенту. У блоках з опаленням газовий клапан та граничні вимикачі високої температури контролюються на газових та електричних нагрівальних блоках. Контролер також контролює напругу, яка подається на блок, та захищає його у разі низької напруги через падіння напруги або виникнення інших електричних проблем.

Щоб запобігти небажаним викликам, плата керування використовує філософію триразового спрацьовування. Реле високого тиску, реле низького

тиску, захист від замерзання або датчик низької напруги повинні спрацювати тричі протягом двох годин, перш ніж плата керування блоком заблокує відповідний компресор. Аналогічно, граничний вимикач опалення повинен спрацювати тричі протягом однієї години, перш ніж плата керування блоком заблокує режим обігріву.

REDGE EVIO EVER - лінійка модульних систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, розроблена для точного керування, енергоефективності та масштабованості [9]. EVIO забезпечує оптимальну продуктивність та економію енергії як у нових установках, так і в проектах модернізації.



Рисунок 1.11 – Система REDGE EVIO

До EVIO приєднується ELEVATE перший тепловий насос Redge R290, розроблений для універсального застосування. Компактний, але потужний, ELEVATE оснащений повністю інверторною технологією, інтегрованими системами безпеки та найкращою у своєму класі екологічною відповідністю, забезпечуючи ефективне опалення та охолодження з меншим вуглецевим слідом.

Основні технічні характеристики REDGE EVIO [9]:

- холодопродуктивність 29 - 250 кВт,
- теплопродуктивність 29 - 247 кВт,
- потік повітря 4000 - 49500 м³/год.

Високоєфективні вентилятори з електронною коробкою передач забезпечують точне керування потоком повітря з наднизьким рівнем шуму та енергоспоживанням, автоматично адаптуючись до потреб системи для оптимального комфорту та продуктивності.

Компресор з інверторним приводом забезпечує точну, енергоефективну роботу з широким робочим діапазоном, забезпечуючи надійне опалення, охолодження та ГВП навіть за екстремальних температур.

Вбудований детектор витоків АТЕХ постійно контролює пристрій на наявність витоків пропану. У разі виявлення він миттєво запускає протоколи безпеки для запобігання небезпечним концентраціям, захищаючи як людей, так і майно.

У разі витoku холодоагенту спрацьовує дворівнева система сигналізації: візуальний сигнал активується при першому виявленні, а потім комбінований візуальний та акустичний сигнал, якщо концентрація підвищується, що забезпечує швидке, чітке та безпечне втручання в середовищах АТЕХ.

Витяжний вентилятор АТЕХ автоматично активується при виявленні витoku, безпечно видаляючи легкозаймисті гази з корпусу пристрою, мінімізуючи ризик займання та забезпечуючи безпечне робоче середовище.

ETT ULTIMA Green Line – це модульна лінійка останнього покоління, яка поєднує в собі якісні матеріали, продуктивність, енергозбереження, акустику, регулювання та підключені компоненти нового покоління, щоб забезпечити постійну роботу блоків з оптимальною ефективністю [10]. Неперевершена лінійка продуктів (продуктивність/потужність), яка ідеально відповідає обмеженням ваги та простору існуючих блоків, що підлягають заміні.

Модульна конструкція дозволяє легко розширити можливості асортименту. Щоб налаштувати продуктивність блоку відповідно до навколишнього середовища та вимог застосування, користувачі можуть встановити стандартний тепловий насос ULTI+ R32 або додати до цього одноблочного блоку модулі: конденсаційний(і) котел(и), витяжний блок,

втяжний блок з роторною рекуперацією енергії, осушувач повітря, адіабатичний модуль.

Лінійка ULTIMA Green Line – це ефективне, економічне та екологічно чисте рішення для опалення або охолодження будівель. Завдяки своїй конструкції, ULTI+ R32 забезпечує точне регулювання для оптимальної енергоефективності протягом усіх років експлуатації.

DX використовує роторний теплообмінник для рекуперації тепла з витяжного повітря, що знижує експлуатаційні витрати установки. Тиск у будівлі контролюється вбудованим витяжним модулем. Він рекомендується для застосувань, що потребують оновлення повітря на 50% або менше свіжим повітрям.

ПЛК нового покоління забезпечує зв'язок між установками, передає технічні дані з установок на зовнішній сервер для оптимального дистанційного керування за допомогою myETTvision.

Установка працює як реверсивний тепловий насос повітря-повітря в поєднанні з вертикальним двопотоковим роторним рекуператором на секції свіжого/витяжного повітря.

Режим опалення: Комфортна температура опалення підтримується термодинамічною системою та додатковими обігрівачами (опційно) з рекуперацією тепла з витяжної системи.

Режим охолодження: Комфортна температура охолодження підтримується термодинамічною системою з рекуперацією тепла з витяжної системи.

Режим природного охолодження: Комфортна температура в середині сезону підтримується за рахунок використання різниці температур між зовнішнім повітрям і повітрям всередині приміщення для охолодження будівлі. Природне охолодження дозволяє досягти значної економії за рахунок затримки термодинамічної системи.

Комплектний блок ЕТТ складається з 5 різних секцій (рис.1.12) [10]:

1- зовнішній відсік для забезпечення теплообміну із зовнішнім повітрям;

- 2- окремий технічний відсік, що містить холодильні та регулювальні компоненти;
- 3- внутрішній відсік забезпечує повітрообмін та обробку повітря;
- 4- герметичний електричний відсік (IP44);
- 5- відсік рекуперації тепла для модуляції потоку необхідного гігієнічного свіжого повітря, гарантуючи при цьому передачу енергії з витяжним повітрям.

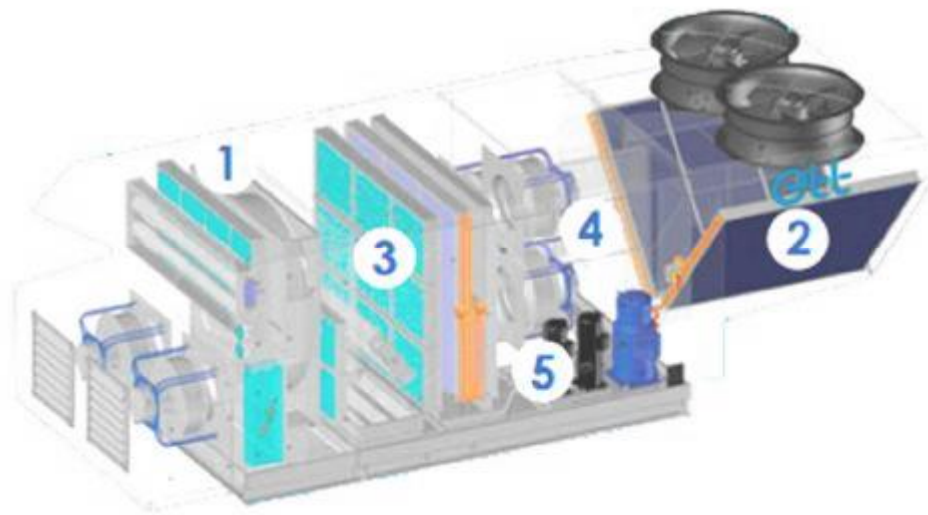


Рисунок 1.12 – Блок ETT ULTIMA

ULTI+ R32 оснащений двоклапанною моторизованою змішувальною камерою з алюмінієвими заслінками низького навантаження, у поєднанні з датчиком CO₂, виконує оптимізоване дозування свіжого повітря.

Екологічна фільтрація, легкий демонтаж - ефективність ISO Coarse 65% (G4) у гофрованому фільтрі 98 мм для збільшення терміну служби фільтра та зменшення перепадів тиску, контроль забруднення за допомогою аналогового реле тиску. Доступні кілька рівнів фільтрації.

Вентилятори останнього покоління оснащені електронно-комутованим двигуном зі змінною швидкістю. Ці вентилятори можуть збільшити потік повітря через теплообмінники до 15%, зберігаючи при цьому те саме енергоспоживання. Інноваційна профіль лопатей забезпечує нижче споживання компресором, враховуючи потужність та низький тиск відповідно в різних режимах роботи. Зв'язок для регулювання роботи в режимі реального часу.

Внутрішні вентилятори останнього покоління (висока енергоефективність) забезпечують пряму передачу й оснащені електронно-комутованим двигуном зі змінною швидкістю в поєднанні з вимірюванням витрати AFC і з автоматичним регулюванням витрати для компенсації засмічення фільтра. Вентилятори виконані з вбудованим плавним стартером для зменшення пускового струму та забезпечення м'якого запуску (текстильні оболонки).

Електрична панель відповідно до NF EN C15-100 та NF EN 60204-01, включає: ПЛК ЕТТ з дисплеєм дистанційного керування; вимикач живлення з блокуючою зовнішньою ручкою для повного відключення навантаження; додаткові мідно-алюмінієві з'єднувальні коробки; трансформатор 400-230-24 для кіл керування та регулювання; фазовий контролер.

Розширений блок керування забезпечує:

- Контроль температури з 2 заданими значеннями для режиму охолодження/обігріву: чутливий, точний та прогнозний. Доступні режими керування економним або комфортним режимом.
- Аналогове керування забрудненням фільтрів (FFAC) вимірює та сигналізує про забруднення фільтрів на ПЛК, що дозволяє проводити превентивну заміну фільтрів для оптимальної якості повітря та зменшення споживання.
- Регулювання швидкості обертання пропелерних вентиляторів у режимі реального часу відповідно до режиму роботи, температури зовнішнього повітря та термодинамічної потужності для оптимальної акустичної продуктивності та економії енергії.
- Додатковий VDP (змінний потік повітря/потужність), який адаптує потік повітря в приміщенні відповідно до термодинамічної потужності.
- Аналоговий контролер повітряного потоку (AFC) для вимірювання та індикації витрати повітря припливних вентиляторів на ПЛК з додатковим автоматичним регулюванням витрати повітря для компенсації забруднення фільтрів.

- Контроль якості повітря за допомогою датчика CO₂ для оптимізації дозування свіжого повітря та зменшення споживання енергії.
- Додатковий контроль вологості в приміщенні, з рекуперацією енергії або без неї.
- Облік електроенергії з розподілом споживання електроенергії за режимами роботи.
- Моніторинг, діагностика, безпека та управління несправностями, із записаною історією несправностей.

Платформа дистанційного зв'язку myETTvision забезпечує доступ до налаштування параметрів, моніторингу роботи та енергоспоживання.

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Методи забезпечення енергоефективності систем HVAC

Енергоефективність відіграє важливу роль в експлуатації сучасних будівель. З цієї причини багато комерційних об'єктів покладаються на економайзери HVAC для зменшення витрат на охолодження та покращення продуктивності системи. Замість того, щоб покладатися лише на механічне охолодження, ці системи використовують сприятливі зовнішні умови для сприяння охолодженню. В результаті, будівлі можуть зменшити споживання енергії, зберігаючи при цьому комфорт у приміщенні.

Оскільки центри обробки даних необхідно охолоджувати цілодобово, 365 днів на рік, економайзери повітряного боку можуть мати сенс у жаркому кліматі, де вони можуть скористатися перевагами прохолодніших вечірніх та зимових температур повітря.

Деякі з найвідоміших технологічних компаній світу роками використовують економайзери повітряного типу. У 2008 році Google розпочала експлуатацію центру обробки даних у Бельгії [11], який використовував лише зовнішнє повітря для охолодження. Microsoft відкрила об'єкт площею 300 000 квадратних футів у Дубліні у 2009 році, який використовує лише економайзери повітряного типу для охолодження, і дозволяє підтримувати температуру на вході серверів до 95 градусів. У 2010 році Yahoo відкрила свій центр обробки даних «курник» у північній частині штату Нью-Йорк. Він повністю залежить від зовнішнього повітря для охолодження та складається з довгої, вузької будівлі, схожої на курник – форма, яка полегшує циркуляцію повітря та використання переваг панівних вітрів.

У 2013 році штаб-квартира Marvell Semiconductor у США в Санта-Кларі, Каліфорнія, додала повітряний економайзер до свого центру обробки даних площею 5000 квадратних футів з ІТ-навантаженням 720 кВт. Охолоджена вода постачається трьома повітряними чилерами потужністю 340, 340 та 310 тонн.

Повітряний економайзер окупився за 2 роки без пільг від комунальних підприємств та за 1,5 роки з пільгами від комунальних підприємств.

Global Dynamic Laboratory (GDL) компанії NetApp – перший центр обробки даних, який отримав маркування Energy Star – використовує економайзери з боку повітря для роботи без установки охолодження води протягом понад 75 відсотків року [11]. Крім того, компанія може використовувати зовнішнє повітря для часткового вільного охолодження понад 98 відсотків часу. Оскільки «рециркуляційне повітря» (повітря, що виходить із серверних стійок) має температуру 90 градусів, будь-яка температура зовнішнього повітря нижче 90 градусів забезпечує принаймні часткове вільне охолодження. В результаті, установка охолодження центру обробки даних працює майже на 90 відсотків рідше, ніж у типовому центрі обробки даних.

Однак багато власників будівель не до кінця розуміють, як працюють економайзери HVAC. Що ще важливіше, їм часто важко розрізнити економайзери повітряної та водної сторони.

Економайзери HVAC допомагають системам охолодження працювати ефективніше, використовуючи стан зовнішнього повітря або води для контролю температури. Замість того, щоб змушувати компресори обробляти все навантаження на охолодження, економайзери використовують переваги прохолодніших зовнішніх умов.

У результаті, системи HVAC споживають менше енергії та працюють ефективніше. Крім того, зменшення використання компресора знижує знос обладнання та подовжує термін служби системи. Для комерційних будівель з великими потребами в охолодженні вони пропонують практичне рішення для зниження експлуатаційних витрат, одночасно підтримуючи цілі сталого розвитку.

Економайзери HVAC зменшують потребу в охолодженні, використовуючи природно прохолодніші зовнішні умови. Коли температура потрапляє в оптимальний діапазон, система HVAC зменшує механічне охолодження та переходить на роботу економайзера.

Отже, система знижує споживання електроенергії та зменшує навантаження на компресори. Крім того, економайзери допомагають підтримувати постійну температуру в приміщенні, одночасно покращуючи вентиляцію в певних системах.

Інтегровані економайзери повітряного потоку забезпечують додаткову економію порівняно з неінтегрованими пакетами. Інтегровані економайзери повітряного потоку вбирають свіже повітря, коли температура на вулиці падає нижче температури зворотного повітря (повітря, що виходить із серверних стійок), замість того, щоб чекати, поки температура зовнішнього повітря падає до заданого значення температури подачі (впуску сервера). Загальне холодильне навантаження, необхідне для компресорів, зменшується за рахунок охолодження зовнішнього повітря, а не теплішого зворотного повітря.

Контроль вологості може зменшити економію, досягнуту за допомогою економайзера повітряного потоку. Наприклад, у певних географічних місцях повітря може бути дуже холодним, але також дуже сухим; отже, може знадобитися витратити багато енергії на зволоження повітря. Належне управління та контроль є вкрай важливими для забезпечення правильного об'єму повітря, температури та вологості. Якщо цільові діапазони вологості занадто обмежувальні, чиста економія енергії від економайзера може бути невітійною.

2.2 Вибір оптимальної технології системи HVAC

Економайзер повітряного типу (рис.2.1) подає холодне повітря ззовні в будівлю та розподіляє його до серверів. Замість рециркуляції та охолодження, відпрацьоване повітря від серверів просто направляється назовні. Якщо повітря зовні особливо холодне, економайзер може змішувати тепле відпрацьоване повітря з вхідним повітрям, щоб його температура та вологість знаходилися в безпечних робочих діапазонах для обладнання центру обробки даних. Економайзер повітряного типу інтегрований у центральну систему обробки

повітря з повітропроводами для впуску та випуску; його фільтри зменшують кількість твердих частинок або забруднюючих речовин у повітрі, які потрапляють до центру обробки даних.¹ Як економайзери повітряного типу, так і економайзери водного типу економлять величезну кількість енергії, оскільки вони охолоджують центр обробки даних без використання кондиціонера або механічного чілера. Ось чому оператори центрів обробки даних можуть називати використання економайзерів «вільним охолодженням».

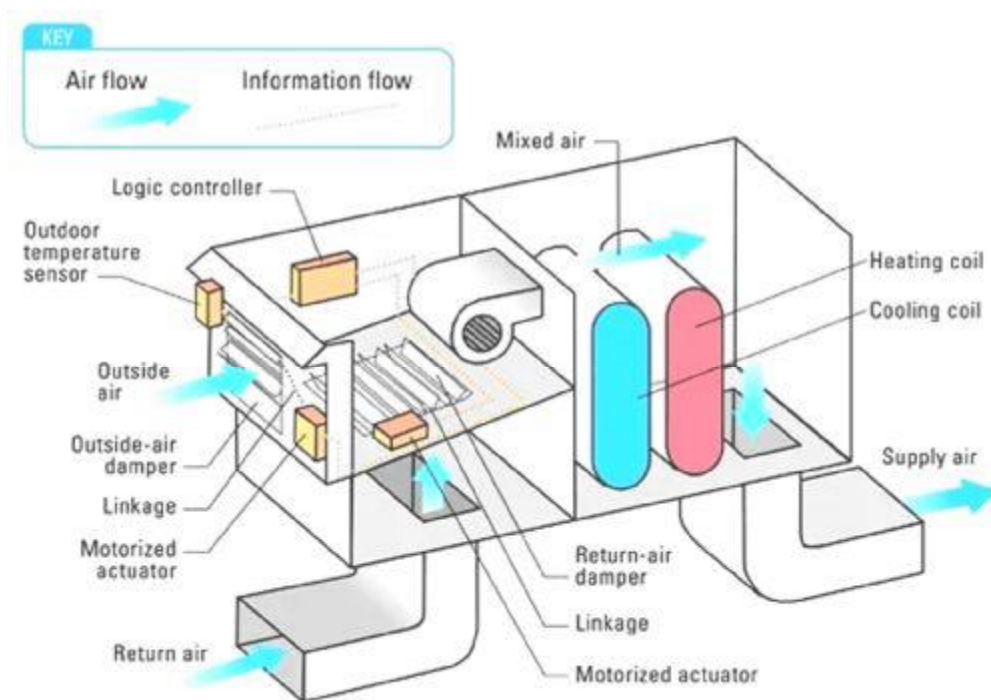


Рисунок 2.1 – Схема економайзера повітряного боку

Комерційні системи HVAC зазвичай використовують два основні типи економайзерів: системи повітряної сторони та системи води [13].

Економайзери повітряної сторони охолоджують внутрішні приміщення, вводячи більший об'єм зовнішнього повітря в будівлю. Коли зовнішнє повітря стає достатньо прохолодним і сухим, система збільшує надходження свіжого повітря та зменшує механічне охолодження. Тим часом система HVAC витягує тепліше повітря з приміщення, щоб підтримувати збалансований повітряний потік. В результаті будівля отримує природне охолодження, не покладаючись сильно на компресори. Оскільки економайзери з повітряної сторони безпосередньо використовують зовнішнє повітря, вони також покращують

вентиляцію всередині приміщень. Тому багато комерційних будівель використовують їх для підвищення як ефективності, так і якості повітря в приміщенні.

Економайзери на березі води використовують градирні та системи конденсаційної води для сприяння охолодженню. У цій схемі конденсаційна вода циркулює через градирню, де зовнішнє повітря відбирає тепло від води. Коли температура на вулиці достатньо падає, охолоджена вода забезпечує «вільне охолодження» системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Отже, компресори працюють рідше, а система підтримує продуктивність охолодження. Економайзери на березі води часто з'являються у великих комерційних будівлях із системами охолодження водою.

Економайзери систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК) надають чудову можливість для підвищення ефективності будівлі. Використовуючи зовнішнє повітря або воду, ці системи зменшують споживання енергії та знижують витрати на охолодження.

Крім того, економайзери допомагають подовжити термін служби обладнання, зменшуючи навантаження на компресор. З часом це покращення призводить до меншої кількості ремонтів та зниження експлуатаційних витрат.

Зрештою, правильне рішення для економайзера залежить від конструкції системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря вашої будівлі, потреб в охолодженні та експлуатаційних цілей. Однак, за умови правильного впровадження, економайзери можуть значно покращити енергоефективність.

Опис технології

Економайзер повітряного потоку – це система з повітроводами та заслінками із системою керування, яка дозволяє системі опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) використовувати зовнішнє повітря для задоволення холодильного навантаження, коли зовнішні умови сприятливі. Будівлі зазвичай потребують охолодження для підтримки комфортних умов у приміщенні навіть за м'яких умов (наприклад, коли температура зовнішнього повітря становить 10–15 °C). Без економайзера в цих будівлях зазвичай

використовується фіксована заслінка зовнішнього повітря, яка забезпечує лише частину загального об'єму повітря вентиляції для підтримки якості повітря в приміщенні. Ця заслінка зовнішнього повітря налаштована відповідно до розрахункових потреб приміщення у вентиляції (встановлених якомога нижче), щоб обмежити кількість зовнішнього повітря, яке необхідно охолоджувати в теплих та гарячих умовах або нагрівати в холодних умовах. Таким чином, навіть за м'яких умов, коли зовнішнє повітря потребує дуже малого охолодження, потік повітря, що подається до охолоджувальної спіралі, переважно повертається зсередини будівлі. Належним чином функціонуючий економайзер подаватиме різний відсоток зовнішнього повітря, від мінімально необхідної вентиляції до 100%, до охолоджувального змішувача (рис.21.), при цьому охолодження зовнішнього повітря потребує менше енергії, ніж охолодження зворотного повітря. Таким чином, економайзер зменшує необхідне механічне охолодження.

2.3 Проектування автоматизованої системи керування економайзера вентиляційної системи

2.3.1 Розробка структурної схеми керування економайзера

Контролер економайзера може бути окремим апаратним модулем або інтегрованим в систему керування опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням повітря.

Алгоритм керування та задані значення є важливою частиною належної роботи економайзера повітряної сторони. Якщо керування здійснюється неправильно, економайзер може подавати занадто багато зовнішнього повітря, коли зовнішні умови несприятливі. Це призведе до збільшення споживання енергії як у спекотні, так і в холодні умови та може наражати гідронічні системи на ризик замерзання, коли температура зовнішнього повітря нижче 0 °С. Визначаючи, які умови є сприятливими для економізації, можна враховувати зовнішню вологість на додаток до температури сухого термометра. Тому

економайзери можна керувати за допомогою ентальпії (розрахованої за допомогою як температури, так і вологості), або температури сухого термометра. Для належного технічного обслуговування необхідно розуміти передбачувану роботу та керування економайзером. Незалежно від того, чи використовується для керування економайзером ентальпія, чи температура сухого термометра, досягнення потенційної економії енергії та коштів вимагає правильного налаштування та обслуговування економайзера для забезпечення сталої роботи.

Економайзер повітряної сторони вважається частиною обладнання для обробки повітря в комерційній системі опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) і для правильного функціонування залежить від систем обробки повітря (наприклад, повітропроводів, запобіжних/витяжних заслінок та повітродувок/вентиляторів). Однак, цей найкращий досвід стосується лише тих компонентів, які є безпосередньою частиною економайзера. Для обслуговування системи HVAC в цілому також слід ознайомитися з найкращими практиками експлуатації та обслуговування інших систем. Економайзер повітряної сторони складається з заслінок та пов'язаних з ними виконавчих механізмів, датчиків та контролера, який використовує інформацію датчиків для визначення положення заслінок. На рисунку 2.2 зображено типову схему обробки повітря та позначено компоненти економайзера. Однак ці компоненти значно відрізняються в різних галузях залежно від типу обладнання (наприклад, комплектні дахові установки проти вбудованих установок для обробки повітря), розміру обладнання та типу будівлі.

Заслінки та приводи. Економайзери з боку повітря використовують заслінку зовнішнього повітря та заслінку рециркуляційного повітря для задоволення навантаження на охолодження будівлі за сприятливих зовнішніх умов. Як показано на рисунку 2.2, заслінка (damper) рециркуляційного повітря контролює, скільки повітря повертається з кондиціонованих приміщень будівлі та знову циркулює через будівлю. Заслінка зовнішнього повітря контролює, скільки зовнішнього повітря може змішуватися з цим рециркуляційним повітрям, перш ніж воно буде кондиціоновано та подано до будівлі.

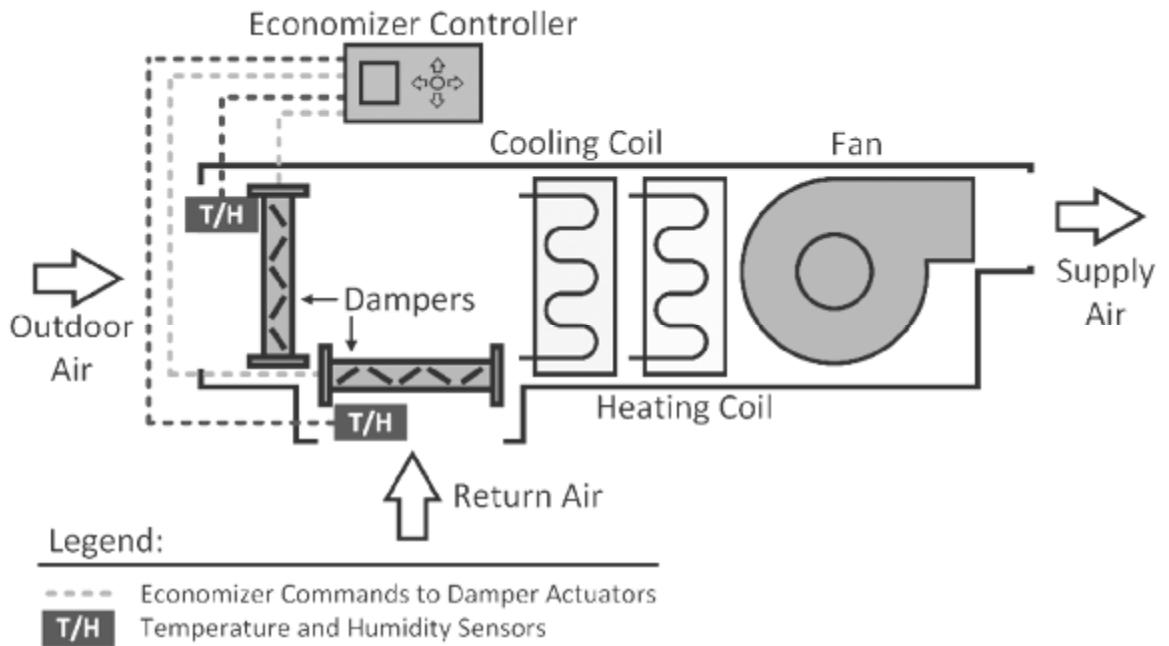


Рисунок 2.2 – Схема економайзера в системі HVAC.

За сприятливих зовнішніх умов економайзер відкриває заслінку зовнішнього повітря та одночасно закриває заслінку рециркуляційного повітря. Для досягнення цього обидві заслінки повинні керуватися одним або кількома приводами, які отримують однаковий сигнал або мають сигнали, синхронізовані один з одним. Привід історично був вузлом двигуна або приводу та тяги; хоча за останні два десятиліття позитивний привод із шестернею став більш поширеним явищем. Заслінки з шестернею мають менший люфт у з'єднанні тяги та працюють краще, забезпечуючи повністю закриті положення. Тяга або шестерні переміщують лопаті заслінки у відповідь на рух приводу, так що заслінка відкривається та закривається, коли привід обертається за годинниковою стрілкою або проти годинникової стрілки. Деякі приводи містять механічну пружину, яка змушує заслінку повертатися в безпечне положення. Безпечне положення для заслінок зовнішнього повітря - це нормально закриті положення, коли електричний привід не підключений до мережі. Комплектні дахові блоки зазвичай мають аксесуар-економайзер, який з'єднує заслінки зовнішнього та рециркуляційного повітря разом і дозволяє керувати ними за допомогою одного приводу.

З іншого боку, багатопверхові кондиціонери зазвичай використовують два окремих приводи. Окрім заслінок зовнішнього та рециркуляційного повітря, більшість систем включають запобіжний або витяжний клапан, який працює паралельно із заслінкою зовнішнього повітря. Запобіжний клапан запобігає надмірному тиску в будівлі та дозволяє змішувати більшу кількість зовнішнього повітря з рециркуляційним повітрям. Протягом робочих годин зовнішня заслінка зазвичай налаштована так, щоб залишатися трохи відкритою, навіть коли зовнішні умови не сприяють економії, щоб забезпечити необхідний мінімальний рівень зовнішнього вентиляційного повітря в будівлі. Для перевірки продуктивності економайзера необхідно розуміти його мінімальне положення заслінки, зазначене в конструкції. Якщо мінімальна кількість зовнішнього повітря є надмірною, це призведе до надмірного використання енергії на нагрівання та охолодження для кондиціонування зовнішнього повітря, коли економайзер не активний.

Контролер та датчики. Економайзери з боку повітря можуть бути налаштовані для використання однієї з кількох потенційних стратегій керування, і стратегія керування визначає, які датчики потрібні. Потрібні дві основні функції керування: (1) активувати економайзер лише тоді, коли є потреба в охолодженні та коли зовнішні умови сприятливі для забезпечення природного охолодження; та (2) модулювати заслінки економайзера таким чином, щоб повітря, що подається, не було настільки холодним, що призводило б до скарг на комфорт або замерзання. Найпростіший граничний контроль вимагає наявності датчика температури сухого термометра зовнішнього повітря, і контролер вмикатиме режим економії, коли температура зовнішнього повітря потраплятиме в допустимий діапазон. Якщо встановлено датчик температури рециркуляційного повітря, то контролер може вмикати режим економії, коли температура зовнішнього повітря нижча за температуру рециркуляції. Крім того, можна використовувати датчик температури змішаного повітря або датчик припливного повітря, щоб контролер міг модулювати заслінку зовнішнього повітря для досягнення бажаної температури змішаного або припливного

повітря. Для потоків зовнішнього та рециркуляційного повітря, окрім датчика температури сухого термометра, може бути встановлений датчик вологості. Значення сухого термометра та вологості використовуються для розрахунку значення ентальпії, яке може бути використано для керування економайзером замість температури. Контролер економайзера може бути «інтегрованим» або «неінтегрованим»; інтегрований контролер стосується алгоритму керування, запрограмованого в контролері HVAC, а неінтегрований контролер стосується спеціального апаратного модуля, в якому розміщено алгоритм керування.

Коли датчики вологості використовуються для визначення ентальпії зовнішнього або рециркуляційного повітря, вони потребують регулярного калібрування. Якщо датчики вологості не калібруються регулярно, то великі похибки можуть призвести до неправильної роботи економайзера. Якщо ресурси для технічного обслуговування недоступні для регулярного калібрування датчика вологості, то повернення до стратегії обмеження економайзера за температурою сухого термометра може покращити роботу.

Моніторинг усіх систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря важливий для забезпечення їхньої належної роботи. Найпоширеніший метод моніторингу продуктивності включає відстеження тенденцій даних за допомогою BAS. Найважливіші дані включають наступне:

- температура (і вологість) зовнішнього повітря;
- температура (і вологість) рециркуляційного повітря;
- температура змішаного або припливного повітря;
- положення зовнішньої заслінки;
- положення рециркуляційної заслінки;
- рівень CO₂ у зоні.

Розроблену схему керування економайзера показано на рисунку 2.3.

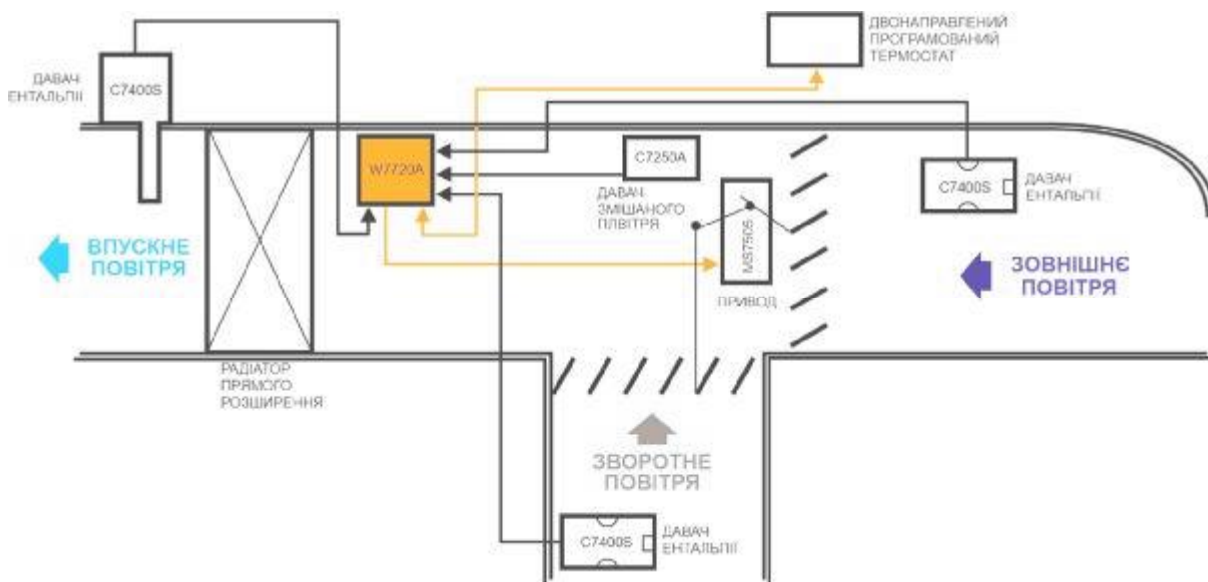


Рисунок 2.3 – Структурна схема керування економайзера

2.3.2 Вибір контролера та схеми підключення

Контролер економайзера Honeywell JADE™ Y7220 Y-Pack – це повний комплект для модернізації в польових умовах для систем RTU (даховий кондиціонер)/AHU (припливно-витяжна установка). Повністю налаштовуваний модуль економайзера W7220 з датчиками забезпечує керування економайзером за сухим термометром або на основі ентальпії. Цей комплект Jade Y-Pack постачається з повним приводом Diamond 27 lb-in (3 Nm), що монтується на ніжках та має зв'язок з шиною Sylk. Завдяки своїй конструкції ця система допомагає забезпечити відповідність усім місцевим та регіональним вимогам норм і забезпечує оптимальну енергоефективність та економію.

Функції та переваги Y7220:

- Контролер Jade з інтерфейсом користувача з меню, великим РК-дисплеєм та простою навігацією для швидкого налаштування та введення в експлуатацію.
- Компактний розмір та кольорове кодування клем проводки сприяють легкому та гнучкому встановленню в різних системах RTU/AHU.

- Двопровідна шина Sylk зменшує складність проводки, забезпечуючи розширену діагностику, включаючи поширені проблеми механічного зв'язування заслінок.
- Вбудоване виявлення та діагностика несправностей з виходом тривоги для термостата для швидкого виявлення несправностей датчиків або втрати зв'язку, що заощаджує час на обслуговування.
- Привід Diamond 27 з комплектом кріплення на ніжках, включаючи кривошип та два кульові шарніри.
- Вентиляція з керуванням за потребою (DCV) через додатковий давач CO₂.
- Режим робочого тестування.
- Налаштовуваний захист від замерзання.
- Забезпечує відповідність більшості місцевих норм та інструкцій, включаючи ASHRAE й IECC.

JADE може призвести до значної економії для клієнтів, які використовують вентиляцію з регулюванням потреби та природне охолодження. Завдяки JADE деякі клієнти побачили, що використання механічного охолодження зменшилося до 40 відсотків, одночасно підвищуючи комфорт мешканців та якість повітря в приміщенні.

Економайзери JADE забезпечують вбудоване виявлення та діагностику несправностей, скорочуючи час обслуговування та введення в експлуатацію. Висока налаштованість для широкого спектру застосувань економайзера. Jade допоможе вашим клієнтам підтримувати здорові стандарти будівлі.

Інтерфейс та програмний інструмент PCMOD дозволяють використовувати ПК для швидкого програмування контролерів Jade. Це скорочує час встановлення техніками для модернізації кількох блоків. Це дозволяє швидке програмування Jade за допомогою збережених конфігурацій для кількох контролерів як на місці, так і поза ним.



Рисунок 2.4 – Контролер Honeywell W7220

Система економайзера JADE™ — це розширювана система керування економайзером, яка включає модуль економайзера (контролер) W7220 з РК-дисплеєм та клавіатурою [16].

Модуль економайзера W7220 можна використовувати як окремий модуль економайзера, підключений безпосередньо до комерційного термостата та датчиків для керування економайзером зовнішнього повітря за сухим термометром.

W7220 можна підключити до додаткових датчиків шини Sylk для одно- або диференціального керування ентальпією. W7220 автоматично виявляє датчики шляхом опитування, щоб визначити, які датчики присутні. Якщо датчик втрачає зв'язок після його виявлення, економайзер W7220 відображає помилку несправності пристрою на своєму РК-дисплеї.

Система економайзера JADE включає модуль економайзера, датчик змішаного повітря 20k, привід заслінки, додатковий датчик CO₂ та або датчик температури зовнішнього повітря 20k, або датчики Sylk Bus для вимірювання ентальпії зовнішнього та рециркуляційного повітря, температури та вологості.

Датчик Sylk Bus – це комбінований датчик температури та вологості, який живиться від шини Sylk та зв'язується по ній. З модулем економайзера JADE можна налаштувати до трьох датчиків.

Датчик CO₂ можна додати для вентиляції з керуванням потребою (DCV). З економайзером Jade можна використовувати як аналоговий (2-10 В постійного струму), так і напінний датчик CO₂ Sylk bus TR40.

Інструмент PC MOD підключається до персонального комп'ютера та зв'язується з контролером економайзера Jade через шину Sylk. Програмне забезпечення інструменту W7220.

Деякі функції контролера Jade можна вмикати або вимикати лише за допомогою інструменту W7220 PC MOD.

Модуль призначений для використання з будь-яким виконавчим механізмом від 2 до 10 В постійного струму або Honeywell Sylkbus. Модуль містить клеми для датчика CO₂, датчика змішаного повітря та датчика сухого термометра для зовнішнього використання. Ентальпія та інші опції доступні з датчиками Sylk Bus.

Інтерфейс користувача: Забезпечує стан нормальної роботи, параметри налаштування, перевірочні випробування, а також сигналізацію та стан помилок за допомогою 2-рядкового 16-символьного РК-дисплея та чотирикнопкової клавіатури.

Номинальна напруга: від 20 до 30 В змінного струму (RMS); 50/60 Гц.

Трансформатор: максимальна вхідна потужність системи 100 ВА.

Номинальна споживана потужність (при 24 В змінного струму, 60 Гц): 11,5 ВА без датчиків або виконавчих механізмів.

Номинальний струм цифрового виходу реле при 30 В змінного струму (максимальна потужність лише від входу класу 2): 1,5 А під час роботи;

Пусковий струм 3,5А при 0,45 коефіцієнта заряду (200 000 циклів) або 7,5А при 0,45 коефіцієнта заряду (100 000 циклів).

Вихідна потужність зовнішніх датчиків: 21 В постійного струму +/- 5% при 48 мА.

Датвач повітря (RA) Sylkbus можна додати до системи для диференціальної ентальпії або перемикання за сухим термометром. Для диференціального перемикання за сухим термометром потрібен датчик 20 кОм в

ОА та датчик Sylkbus в RA. DIP-перемикач на датчику Sylkbus RA повинен бути встановлений у положення RA.

Давач температури сухого термометра (опціонально) та змішаного повітря (обов'язково), C7250A: 2-провідний (18-22 AWG); діапазон температур від -40 до 65 °C. Точність температури -0°F/+2°F

Давач температури та вологості, C7400S1000: Sylk Bus; 2-провідний (18-22 AWG). Температура: діапазон від -40 до 65 °C. Точність температури -0°F/+2°F

Давач вологості: діапазон від 0 до 100% відносної вологості з точністю 5%.

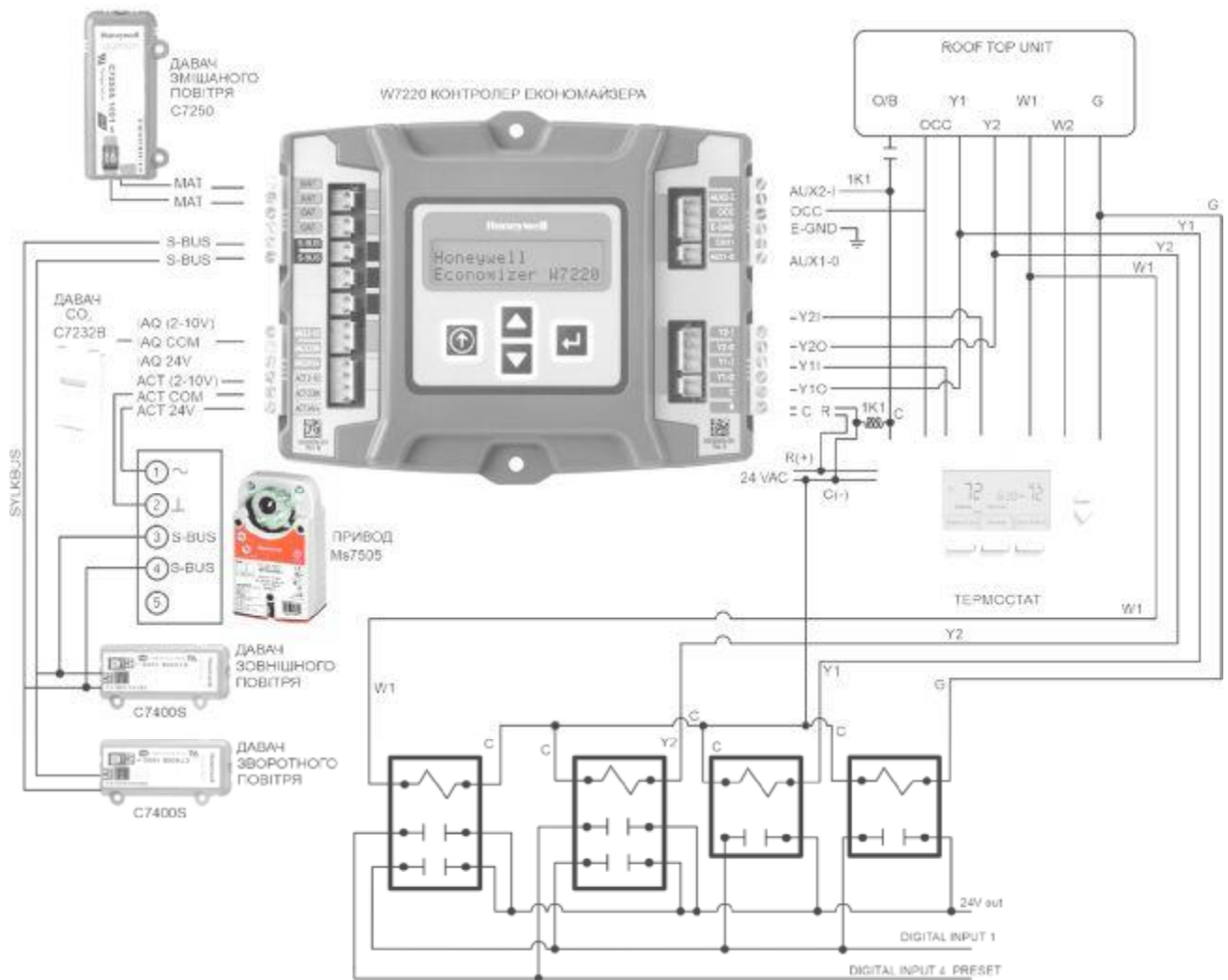


Рисунок 2.5 – Схема підключення елементів автоматичного керування економайзера

2.3.3 Вибір давачів

Згідно схеми підключення елементів автоматичного керування економайзера (рис.2.5), підбираємо давачі.

Давач вуглекислого газу Honeywell C7232B – це автономний сенсор вуглекислого газу (CO_2), який використовується для визначення необхідності вентиляції з контролерами HVAC. C7232 вимірює концентрацію CO_2 у вентильованому приміщенні або повітропроводі. C7232 використовується в системах вентиляції та кондиціонування повітря для контролю кількості свіжого зовнішнього повітря, що подається, для підтримки прийняттого рівня CO_2 у приміщенні.



Рисунок 2.6 – Давач вуглекислого газу Honeywell C7232B

Характеристики Honeywell C7232B:

- Використовується для керування вентиляцією на основі CO_2 .
- Модель з РК-дисплеєм, який відображає показники датчиків та інформацію про стан.
- Використовується технологія для вимірювання вуглекислого газу недисперсійного інфрачервоного випромінювання (NDIR).
- Пристрій забезпечує вихід напруги або струму на основі рівнів CO_2 .
- Доступні моделі з релейним виходом SPST.

- Алгоритм автоматичного фонового калібрування (АВС) на основі довгострокової оцінки зменшує необхідність типового технічного обслуговування для перевірки нульового дрейфу.

Час відгуку датчика: 1 хв.

Робота: Недисперсійний інфрачервоний (NDIR).

Відбір проб: Дифузійний.

Діапазон: від 0 до 2000 ppm

Точність: $\pm (30 \text{ ppm} + 2\% \text{ від показань})$

Живлення: 24 В змінного/постійного струму $\pm 20\%$, 50/60 Гц (клас 2).

Максимальне споживання енергії: 3 Вт.

Піковий струм (при 20 мс): 600 мА.

Конфігурація: Поставляється нормально-розімкненим.

Номинальний струм контакту: 1 А при 50 В змінного/24 В постійного струму.

Мінімальне допустиме навантаження: 1 мА при 5 В постійного струму.

Лінійний аналоговий вихід:

Напруга: 0/2-10 В постійного струму (резистивне навантаження більше 5000 Ом).

Струм: 0/4-20 мА (резистивне навантаження менше 500 Ом).

Датчик температури змішаного повітря Honeywell C7250 призначений для використання як вхід 20 кОм для контролера температури змішаного повітря в даховому комплектному обладнанні для кондиціонування повітря.



Рисунок 2.7 – Давач температури змішаного повітря Honeywell C7250

Характеристики давача C7250:

Діапазон робочих температур: від -40 до 65 °С.

Діапазон температур зберігання: від -40 до 65 °С.

Діапазон температур доставки: від -40 до 65 °С.

Розміри ВхШхД, мм: 20x55x108

Цифровий датчик ентальпії (вологості/температури) Honeywell C7400 призначений для використання з пристроями S-Bus та контролером економайзера W7220. При використанні з економайзером крива межі ентальпії програмується через контролер. Коли температура та вологість визначені як придатні на основі співвідношення до межі, контролер дозволяє зовнішньому повітрю працювати в режимі економайзера.

Робочий діапазон температури навколишнього середовища від -40 до 65 °С. Знімні клемні колодки з 2-контактним роз'ємом або 2-контактні, що накладаються на край карти.

Датчик ентальпії, S-Bus, серія: C7400:

- температура: від -40 до 65 °С,
- вологість: 10 до 90% вологості.



Рисунок 2.8 – Давач вологості та температури Honeywell C7400S

Виводить цифровий комунікаційний сигнал через двопровідний канал зв'язку Sylkbus, окремо повідомляючи про температуру та вологість контролеру.

Контролер визначає ентальпію (загальне тепло), що дозволяє працювати в режимах економайзера, коли ентальпія зовнішнього повітря підходить для

вільного охолодження. Подвійні датчики ентальпії зовнішнього повітря та зворотного повітря перемикають контролери в режим роботи економайзера щоразу, коли зовнішня ентальпія менша за ентальпію зворотного повітря.

2.3.4 Вибір привода економайзера

Привод економайзера Honeywell MS7505 - низьковольтний привод з крутним моментом 5 Нм, прямим з'єднанням та пружинним поверненням, приймає плаваюче вмикання/вимикання (SPDT) або модулююче (0/2-10 В постійного струму) керування та зворотний зв'язок для повітряних заслінок, повітряних обробників, вентиляційних заслінок, жалюзі та кульових клапанів.

Пружинні приводи з прямим з'єднанням (DCA) використовуються в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC). Вони можуть керувати різноманітними чвертьобертовими кінцевими елементами регулювання, що потребують безвідмовної роботи з пружинним поверненням.



Рисунок 2.9 – Привод економайзера Honeywell MS7505

Застосування MS7505 включає:

- Заслінки регулювання об'єму, встановлені безпосередньо на приводному валу або дистанційно (за допомогою допоміжного обладнання).
- Чвертьобертові поворотні клапани, такі як кульові або дросельні клапани, встановлені безпосередньо на приводному валу.
- Лінійні кульові або кліткові клапани, встановлені з важелями для забезпечення лінійного керування.

Характеристики:

- Безщітковий субдвигун постійного струму з електронним захистом від зупинки для моделей з плаваючим/модулюючим керуванням.
- Щітковий субдвигун постійного струму з електронним захистом від зупинки для 2-позиційних моделей.
- Самоцентруючий адаптер вала (муфта вала) для широкого діапазону розмірів валів.
- Моделі доступні для використання з двопозиційними, однополюсними однопозиційними (SPST), лінійними (Серія 40) або низькопозиційними (Серія 80) регуляторами напруги.
- Моделі доступні для використання з плаваючими або перемиканими однополюсними, двопозиційними (SPDT) регуляторами (Серія 60).
- Моделі доступні для використання з пропорційними регуляторами струму або напруги (Серія 70).
- Моделі доступні з комбінованим плаваючим/модулюючим керуванням в одному пристрої.
- Металевий корпус з вбудованими механічними обмежувачами.
- Напрямок пружинного повернення вибирається на місці.
- Індикатор положення вала та шкала.
- Можливість ручного підмотування з функцією блокування.
- Сертифіковано UL (cUL) та відповідає вимогам CE.
- Відповідають вимогам UL873 для роботи в пленумі.

Технічні характеристики привода MS7505A2130:

- Крутний момент 5 Нм

- Джерело живлення: Напруга 24 В змінного/постійного струму при 50/60 Гц +/-20% 24 В постійного струму +/-10%
- Сигнал керування ВА 6/3
- Час керування (сек) 90
- Опис входу/виходу керування: плаваючий, модулюючий та зі зворотним зв'язком.

2.4 Розробка автоматизованої системи керування вентиляції

Використання до 100% зовнішнього повітря для забезпечення вільного охолодження за сприятливих умов зовнішнього повітря називається циклом економайзера. Щоразу, коли ентальпія зовнішнього повітря менша за ентальпію повернутого повітря, умови сприятливі для забезпечення охолодження циклу економайзера. Хоча в ідеалі рішення про дозвіл на введення зовнішнього повітря понад мінімальні вимоги до вентиляції для охолодження мало б ґрунтуватися на порівнянні ентальпій зовнішнього та рециркуляційного повітря, датчики ентальпії не мають такої надійності, як датчики температури, і вони потребують більше обслуговування. Через це цикл економайзера ґрунтується на порівнянні температури зовнішнього та повернутого повітря. Крім того, рішення про ввімкнення циклу економайзера частково ґрунтується на температурі повернутого повітря, щоб визначити, чи потрібне в приміщенні опалення чи охолодження. Цей процес прийняття рішень залежить від зони нечутливості між опаленням та охолодженням. Правила вимагають використання циклів економайзера та зон нечутливості між нагріванням та охолодженням у більшості випадків.

Контури керування температурою змішаного повітря та економайзером показано на рисунку 2.9. Приводи на заслінках працюють подібно до приводів на регулюючому клапані. Заслінка зовнішнього повітря та заслінка рефлекторного повітря зазвичай закриті та працюють паралельно одна з одною.

Заслінка рециркуляційного повітря зазвичай відкрита та працює навпроти заслінок зовнішнього повітря та рефлекторного повітря. Контур керування температурою змішаного повітря пов'язаний з логікою керування економайзером.

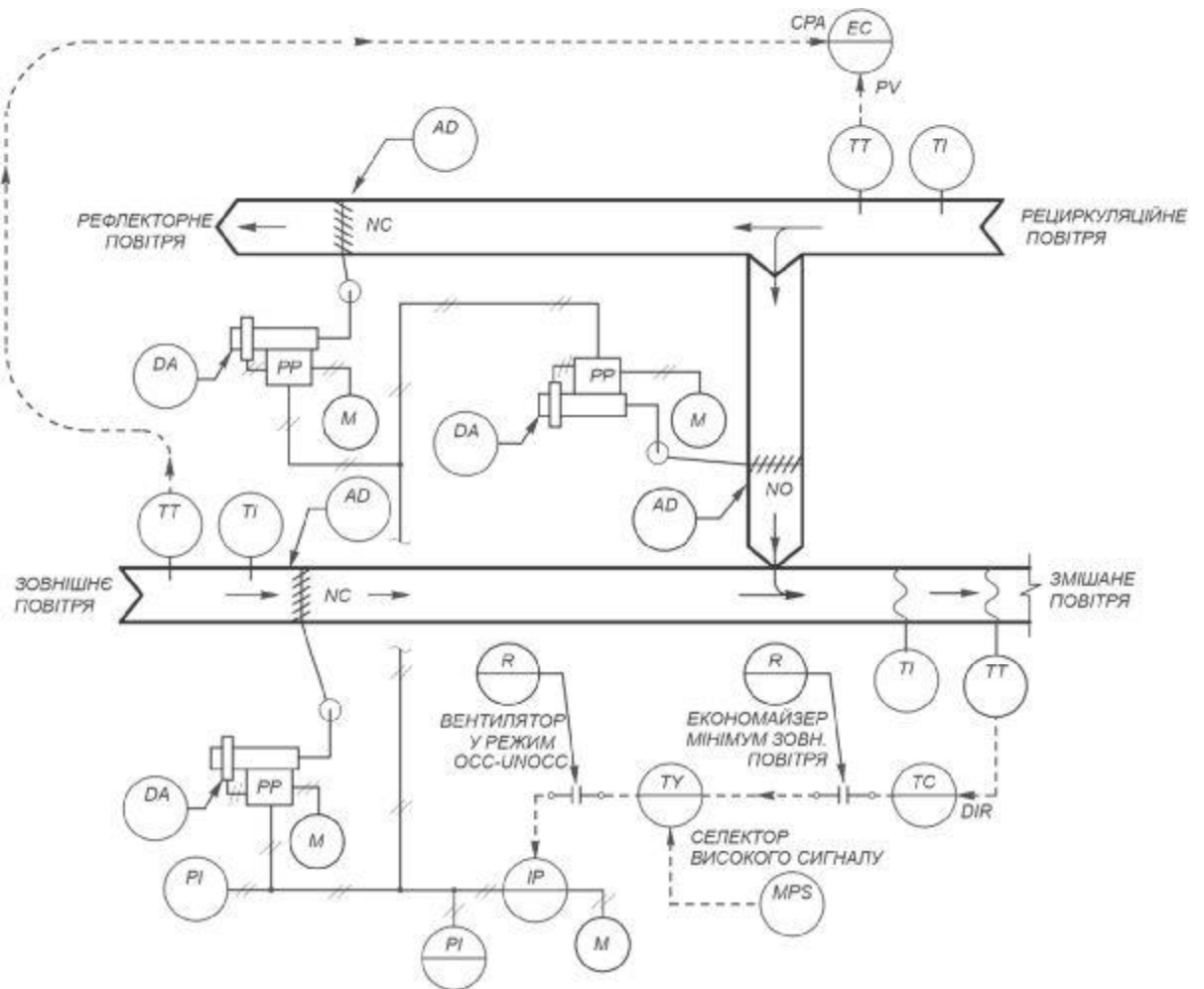


Рисунок 2.10 – Функційна схема автоматизації контролю мікроклімату цеху

Зовнішнє повітря не використовуватиметься, коли система керування перебуває в режимі «зайнято» (ОСС) або в режимі затримки вентиляції. Нормально розімкнутий (NO) контакт реле в ланцюзі до ІР утримує заслінку зовнішнього повітря закритою за цих умов, а також коли припливний вентилятор вимкнено. Розімкнутий контакт реле в ланцюзі між ТС та селектором високого сигналу ТУ утримує заслінки відкритими до ручного налаштування мінімального положення перемикача MPS, коли система перебуває в режимі мінімальної подачі зовнішнього повітря, і заслінка зовнішнього повітря може

відкриватися за відсутності інших обмежень. Коли обидва ці контакти реле замкнуті, система керування працює як у режимі «зайнято», так і в режимі економайзера. Контролер ТС підтримує температуру змішаного повітря, керуючи ІР для модуляції заслінок поза мінімальним положенням. Сигнал від MPS або сигнал від ТС проходить через селектор високого сигналу ТУ для керування ІР, який надсилає пневматичний сигнал до позитивного позиціонера РР для керування приводами заслінок. Вихідний сигнал ІР, що надходить до позиціонерів приводів заслінок, можна зчитати на індикаторах РІ на панелі та в місці розташування заслінки. Датчик температури змішаного повітря та передавач ТТ надсилають сигнал до ТС, який змінює свій вихідний сигнал для керування заслінками між положеннями мінімальної та повної подачі зовнішнього повітря.

Датчики температури та передавач ТТ як у повітропроводі зовнішнього повітря, так і у повітропроводі зворотного повітря надсилають сигнали температури до контролера економайзера ЕС.

Контролер економайзера ЕС потребує заданого значення для кожного з двох контактів, які визначають, чи котушка реле, що переводить систему в режим економайзера, увімкнена чи вимкнена. Задані значення та диференціали перемикання для кожного з контактів регулюються в ЕС. Один з контактів, налаштований як контакт фотоелектричного випромінювання (PV), реагує на датчик температури та передавач ТТ у повітропроводі зворотного повітря та запобігає роботі режиму економайзера, коли система опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) нагріває приміщення, яке він обслуговує. Задане значення температури зворотного повітря контакту буде вибрано на рівні температури, нижчої за очікувану температуру зворотного повітря в сезон охолодження, але вищої за очікувану температуру приміщення в сезон опалення. Інший контакт, налаштований як контакт відхилення (DEV), реагує на різницю сигналів температури зовнішнього повітря та температури зворотного повітря. Задане значення контакту DEV вимагає розрахунку проектувальником. Оператор має вказати температури рециркуляційного повітря, за яких

розмикаються та замикаються контакти фотоелектричних елементів, а також різницю температур між температурою зовнішнього повітря та температурою зворотного повітря, за яких розмикаються та замикаються контакти DEV.

У дворівневих та двоканальних багатозонних системах, враховуючи відсутність зони нечутливості між опаленням та охолодженням, може бути недостатньо змін температури зворотного повітря між сезонами опалення та охолодження, щоб визначити, в якому режимі знаходиться система (опалення чи охолодження). Після оцінки кількох альтернативних методів запуску режиму економайзера, описаний тут метод був визнаний найпростішим і найнадійнішим, і тому є рекомендованим.

Розглянемо дві ситуації:

1) установка або обслуговується двотемпературною гідравлічною системою, або доступність гарячої та холодної води залежить від сезону (тобто, доступна лише гаряча вода протягом опалювального сезону і навпаки),

2) гаряча та холодна вода в системі доступні цілий рік.

Випадок 1: Двотемпературна гідроніка або запланована наявність гарячої та холодної води - приймається рішення про "режим охолодження" на основі температури зовнішнього повітря T_{zn} , а не температури рециркуляційного повітря (тобто, якщо T_{zn} вище X градусів, то вважається, що приміщення потребує охолодження). У цьому випадку температура зовнішнього повітря буде вхідною температурою входу PV для ЕС, а температура рециркуляційного (зворотного) повітря - вхідною температурою контакту CPA. Температуру зовнішнього повітря, вище якої приміщення потребуватиме охолодження, можна визначити за допомогою комп'ютерних моделей; однак значення змінюватиметься зі зміною внутрішніх навантажень. На практиці, спочатку слід прийняти інженерне рішення та згодом, якщо потрібно, скоригувати його під робочі потреби.

Випадок 2: Одночасна доступність гарячої та холодної води. У цьому випадку рекомендується не використовувати цикл економайзера.

Через складність обслуговування апаратного забезпечення перемикання економайзера на основі ентальпії, робота контролера економайзера базується на вимірюваннях температури сухого термометра, а не на вимірюваннях ентальпії. Порівняння температур зовнішнього повітря та рециркуляційного (зворотного) повітря для визначення точки перемикання економайзера - це метод керування, який використовує місцеві погодні дані для вибору оптимальної різниці температур сухого термометра.

Стандарт ASHRAE 62-1989 «Вентиляція для прийнятної якості повітря в приміщенні» визначає рекомендовану кількість вентиляційного повітря для різних типів будівель. Рекомендації, надані стандартом 62-1989, були встановлені з метою покращення якості повітря в приміщенні. Важливо підтримувати мінімальну кількість зовнішнього повітря, що подається в будівлю, через потенційно шкідливий вплив на здоров'я, який недостатня кількість свіжого зовнішнього повітря (ЗП) може мати на мешканців будівлі. Крім того, подача ЗП в об'ємах більших за мінімум може призвести до втрат енергії.

Системи зі змінним об'ємом повітря (VAV) є особливо проблематичними через те, що кількість повітряного потоку змінюється зі зміною навантаження системи. Наведемо рекомендований метод контролю мінімальної кількості зовнішнього повітря в системах VAV.

У минулому мінімальна кількість зовнішнього повітря для систем VAV встановлювалася під час балансування системи шляхом встановлення мінімального положення заслінки зовнішнього повітря на максимальне регулювання вентилятора. Це досягається за допомогою розташування всіх зональних термінальних блоків для забезпечення мінімального потоку повітря, зберігаючи при цьому задане значення статичного тиску в повітропроводі. Такий підхід допомагає забезпечити подачу достатньої кількості зовнішнього повітря в будівлю під час нормальної роботи системи, але оскільки положення заслінки фіксоване, у періоди підвищеного навантаження мінімальна кількість

зовнішнього повітря перевищується зі збільшенням швидкості вентилятора, а отже, і об'єму повітря в системі. Це енергозатратно.

Оскільки питанню якості повітря в приміщенні почали приділяти більше уваги, галузева спільна думка полягає в тому, що кращим підходом до забезпечення належної вентиляції є підтримка кількості зовнішнього повітря на основі прямого вимірювання та контролю об'ємного потоку зовнішнього повітря. Це досягається за допомогою окремої секції повітропроводу, через яку вимірюється об'єм повітря ОА за допомогою вимірювання потоку повітря.

Вихідний сигнал датчика витрати станції вимірювання повітряного потоку (Air Flow Measuring Station, далі AFMA) надсилається на ПІ-регулятор (FC), який модулює мінімальну заслінку ЗП, розташовану після AFMA, для керування кількістю потоку ЗП за заданим значенням контролера. У системі контролю система прямого цифрового керування (Direct Digital Control, далі DDC) замінює контролер витрати FC. Для забезпечення точного керування мінімальною кількістю зовнішнього повітря використовуються дві окремі секції повітропроводів. Другий зовнішній повітропровід використовується під час роботи економайзера та керується так само, як обговорювалося у попередній схемі.

На ранніх етапах проектування системи потрібно враховувати вимоги до простору, необхідні для успішного впровадження регулювання мінімальної витрати зовнішнього повітря. Повітроводи ОА повинні бути достатньо довгими, щоб забезпечити точне вимірювання за допомогою AFMA. Мінімальна функціональна довжина ділянки повітропроводу між верхнім радіатором повітря та AFMA вдвічі перевищує еквівалентний діаметр повітропроводу. Кути переходу, що ведуть до AFMA, не повинні перевищувати 15 градусів. Мінімальна функціональна довжина ділянки повітропроводу між AFMA та нижнім регулювальним клапаном становить половину еквівалентного діаметра повітропроводу. Не рекомендується розміщувати регулювальні клапани вище по потоку. Ці відстані передбачають використання AFMA з кількома датчиками та

випрямлячем повітря. Рекомендується розташовувати дверцята доступу безпосередньо перед станцією регулювання витрати повітря.

Мінімальний переріз повітропроводу ЗП повинен бути розрахований з урахуванням умови, коли головна заслінка ЗП закрита, а заслінка зворотного повітря відкрита, при мінімальному навантаженні вентилятора. За цієї умови потік через мінімальний повітропровод ЗП максимальний. Рекомендований діапазон розмірів повітропроводів становить від 1,5 до 2 м/с у місці розташування вимірювача повітряного потоку AFMA. Розмір отворів жалюзі повинен бути виконаний відповідно до рекомендацій ASHRAE таким чином, щоб вони обмежували швидкість руху жалюзі до 2 м/с або менше. Падіння тиску на масиві вимірювача повітряного потоку плюс випрямляч повітряного потоку можна оцінити в 1 Па при швидкості 2 м/с.

Електронні AFMA за своєю конструкцією стійкі до забруднень повітря, але станція має включати стільниковий випрямляч повітряного потоку, розташований безпосередньо перед AFMA. Випрямляч повітряного потоку допомагає усунути турбулентний та обертальний повітряний потік. Діаметр комірок визначено як 3 мм, що створює потенційну можливість засмічення комахами та іншими твердими частинками. Через це слід використовувати фільтрувальні матеріали, розташовані не менше ніж за 1 м перед AFMA.

Витяжні вентилятори впливають на вентиляцію приміщень, оскільки вони можуть видаляти значні об'єми повітря з будівлі. Цей підхід необхідно враховувати при визначенні кількості повітря, яке повертається до вентиляційного блоку. Щоб забезпечити невеликий позитивний тиск у будівлі, необхідно подавати трохи більше повітря, ніж повертається. Якщо використовується зворотний повітропровід, потрібно визначити його розмір з урахуванням втрат від витяжного вентилятора та фільтрації.

Складемо програму виконання логіки роботи системи прямого цифрового керування.

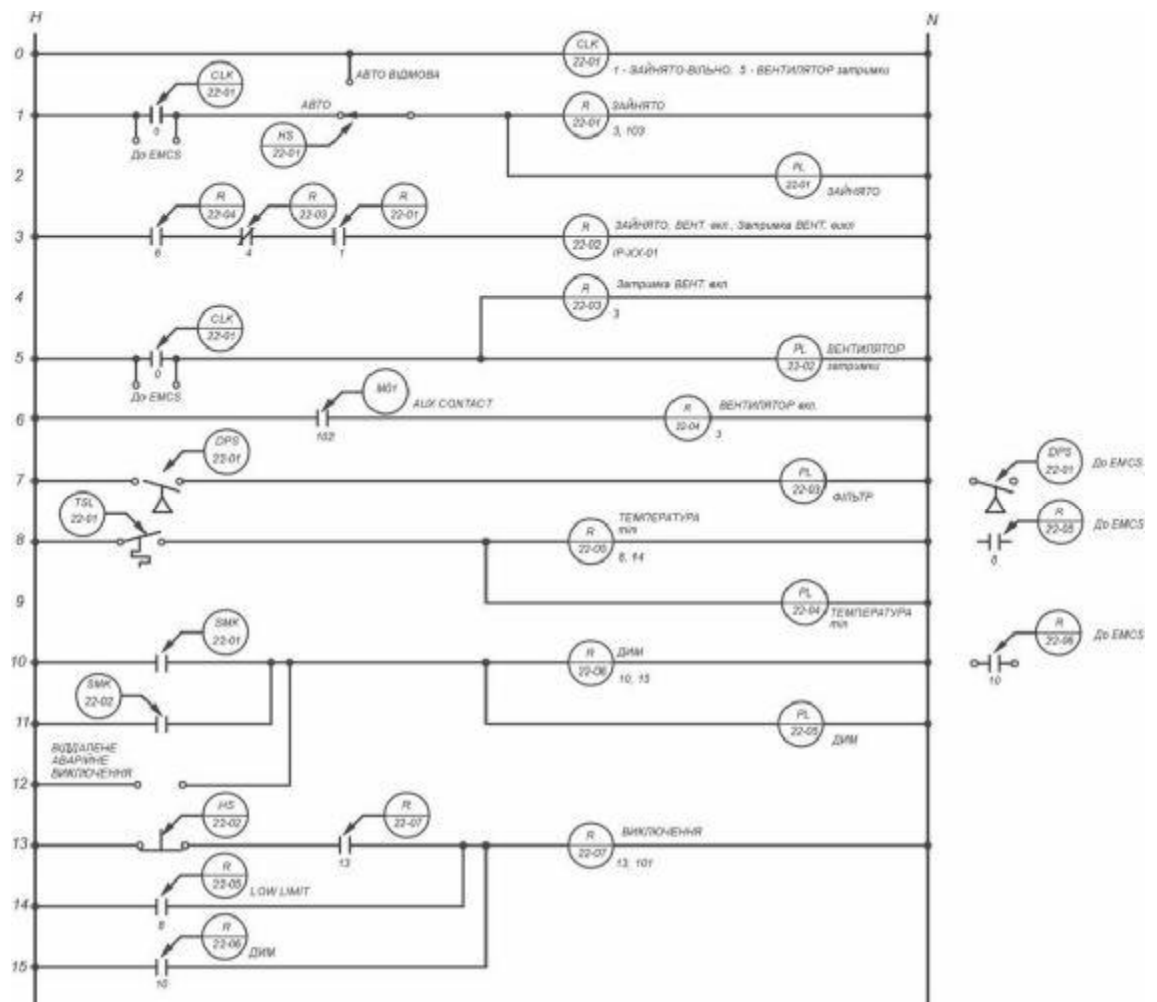


Рисунок 2.11 – Сходова діаграма програми роботи системи

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Моделювання роботи перетворювач частоти вентиляторів

Регулювати роботу відцентрових вентиляторів можливо за допомогою перетворювача частоти (ПЧ). Залежно від конкретного застосування, існують різні варіанти частотно-регульованого приводу. Наприклад, базова конструкція зазвичай використовується для простих застосувань, включаючи керування насосом та вентилятором. Складні версії частотно-регульованого приводу потрібні для досягнення точного контролю крутного моменту та швидкості.

Для досягнення значного зниження витрат на енергію, регулювання швидкості працює надзвичайно добре в багатьох застосуваннях. Особливо в насосних та вентиляторних системах частотно-регульовані приводи є дуже ефективними. Для цих застосувань привід замінює регулювання вихідної потужності більш традиційного методу, що призводить до кращого співвідношення між вихідною потужністю машини та кількістю використаної енергії.

Незалежно від варіації конструкції, функціональність частотно-регульованих приводів майже однакова. Цей привід працює шляхом перетворення вхідної електричної напруги або фіксованої напруги та частоти в змінну напругу та частоту, що є вихідною потужністю двигуна з відповідною зміною крутного моменту та швидкості.

Регулювання частоти струму статора електродвигуна вентилятора перетворювач частоти здійснює залежно від сигналу завдання. Частотою струму статора визначається швидкість обертання ротора. Змінюючи частоту струму статора виникає перехідний процес, при якому електродвигун переходить у новий рівноважний стан, що характеризується новою частотою обертання ротора. Час перехідного процесу залежить від сумарного моменту інерції обертових мас вентилятора й ряду інших причин. Тому в першому наближенні передатну функцію перетворювача частоти можна записати у вигляді аперіодичної ланки. Передатна функція запишеться в наступному виді:

$$W(p) = K_{\text{I}\times} \times \frac{K_j}{p \times T_j + 1}, \quad (3.1)$$

де K_j – коефіцієнт передачі, який визначає ступінь зміни швидкості вентилятора при зміні частоти струму статора; $K_{\text{ПЧ}}$ – коефіцієнт ПЧ; T_j – постійна часу інерційності, що характеризує, розгону вентилятора.

$K_{\text{ПЧ}}$ визначається за співвідношенням:

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{f_{\text{max}}}{U_{3f \text{ max}}} = \frac{50 \text{ Гц}}{10 \text{ В}} = 5 \frac{\text{Гц}}{\text{В}}, \quad (3.2)$$

де f_{max} – максимальна частота струму статора, $U_{3f \text{ max}}$ – максимальна напруга, що подавати із пристрою керування (ПЛК).

Розрахуємо K_j за формулою:

$$K_j = \frac{\omega_{B \text{ max}}}{f_{\text{max}}}, \quad (3.3)$$

де $\omega_{B \text{ max}}$ – максимальна частота обертання вентилятора, яка рівна:

$$\omega_{B \text{ max}} = 720 \text{ об / хв} = \frac{720 * 6,28}{60} \text{ рад / с} = 75,36 \text{ рад / с}$$

Тоді, K_j буде рівнятися:

$$K_j = \frac{75,36 \text{ рад / сек}}{50 \text{ Гц}} = 1,507 \frac{\text{рад} \times \text{Гц}}{\text{сек}}.$$

Постійна часу T_j визначається виразом $t_{\text{ПП}} = (3, 5) T_{\text{ПП}}$ виходячи з фактичного часу розгону двигуном вентилятора, яке становить $T_{\text{разгон}} = 10 \text{ сек}$. Тому:

$$T_j = \frac{T_{\text{разгон}}}{t_{\text{ПП}}} = \frac{10 \text{ сек}}{3} = 3,33 \text{ сек}, \quad (3.4)$$

$$T_j = 3 \text{ сек}.$$

Передатна функція перетворювача частоти представляється у вигляді:

$$W(p) = \frac{K_{\text{ПЧ}} \times K_j}{T_j \times p + 1}. \quad (3.5)$$

Розрахунок коефіцієнтів передатної функції наведений для максимальної продуктивності припливного вентилятора. Для забезпечення плавного пуску

електродвигуна вхідну керуючу напругу рекомендується подавати по лінійному або експонентному закону.

3.2 Визначення передатних функцій елементів САР

Передатні функції елементів САР узяті з відповідних технічних паспортів на калорифер і включених до складу системи засобів автоматизації, а також установлені шляхом спостереження й проведення випробувань. Математична модель даної САР наведена на рисунку 3.1.

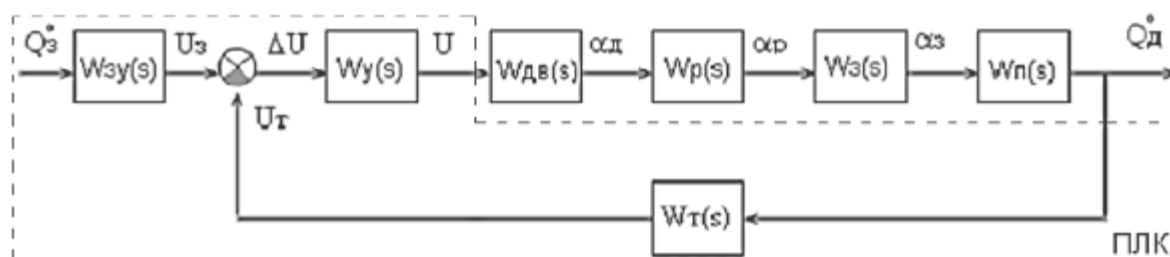


Рисунок 3.1 – Математична модель САР температури повітря

Таблиця 3.1– Пояснення до математичної моделі САР температури повітря

Позначення	Пояснення
$W_{zy}(s)$	передатна функція задаючого пристрою
$W_y(s)$	передатна функція підсилювача
$W_{дв}(s)$	передатна функція електродвигуна
$W_p(s)$	передатна функція редуктора
$W_{п}(s)$	передатна функція провідного ланки (повітропровід)
$W_z(s)$	передатна функція заслінки
$W_t(s)$	передатна функція датчика температури
ПЛК	програмувальний логічний контролер (обведені пунктиром структурні компоненти – становлять частину логічного контролера, що працює у формі П-регулятора зі зворотнім зв'язком по датчику температури)
Координати замкненої САР	
θ_3°	задане значення температури
U_z	напруга, що видається задаючим пристроєм (регулятор)
$\Delta U = U_z - U_t$	напруга, що видається пристроєм порівняння
U	напруга на виході підсилювача
α_d	кут повороту валу двигуна
α_p	кут повороту валу редуктора

Коротко приведемо передатні функції й вимоги до САР:

1. Передатна функція пропорційного регулятора (задаючого пристрою):

$$W_{zy}(S) = K_{zy}, \quad (3.6)$$

де $K_{zy} = 0,1 \text{ В}^\circ\text{С}$ (встановлена чутливість ПЛК).

2. Передатна функції електропривода:

$$W_{\bar{a}\bar{a}}(s) = \frac{K_{\bar{a}\bar{a}}}{s * (T_i * T_y * s^2 + T_i * s + 1)}, \quad (3.7)$$

де T_m – механічна постійна часу; $T_m = 0,4 \text{ с}$; T_e – електрична постійна часу; $T_e = 0,07 \text{ с}$; $K_{\partial\partial}$ – коефіцієнт передачі електропривода; $K_{\partial\partial} = 24 \text{ кут.град}/(\text{с}^\circ \text{ В})$ (з урахуванням передатного співвідношення редуктора електропривода 0,0067).

У системі регулювання для керування триходовим клапаном VXP45.20-4 використовується електричний привод марки JP Fluid Control AW1 з керуючою напругою 24В постійного струму.

Електроприводи з аналоговим входом можуть передавати сигнал керування на регулювальний орган у вигляді:

а) "сходів", коли кожна така сходинка являє собою імпульс певного рівня, спрямований або на збільшення, або на зменшення ступеня відкриття клапана;

б) аналогового сигналу, вплив якого врівноважується компенсаційним механізмом, який при ослабленні сигналу прикриває, а при посиленні - відкриває регулювальний орган (заслінку клапана).

Споживана потужність електропривода становить 400 Вт.

Передатну функцію електропривода в загальному виді можна представити як сукупність передатних функцій аперіодичної ланки II порядку й інтегруючого ланки I порядку. Передатну функцію знайдемо з виразу (3.7), попередньо привівши її до загального виду:

$$W_{ДВ}(s) = \frac{K_{ДВ}}{s * (T_m * T_{\partial} * s^2 + T_m * s + 1)} = \frac{K_{ДВ}}{s * (T_1 * s + 1) * (T_2 * s + 1)}, \quad (3.8)$$

де $K_{\partial\partial} = 24 \text{ кут.град}/(\text{с}^\circ \text{ В})$ - коефіцієнт передачі електродвигуна;

$T_{1,2} = \frac{T_M}{2} \pm \sqrt{\frac{T_M^2}{4} - T_M \times T_{\Sigma}}$ - постійні часу електродвигуна (характеризують його механічну й електричну інерційність у сукупності).

Обчислимо постійні часу T_1 і T_2 , використовуючи розкладання квадратного багаточлена на множники:

$$T_1 = \frac{T_M}{2} - \sqrt{\frac{T_M^2}{4} - T_M \times T_{\Sigma}} = \frac{0,4}{2} + \sqrt{\frac{0,4^2}{4} - 0,4 \times 0,07} = 0,09 \text{ с,}$$

$$T_2 = \frac{T_M}{2} + \sqrt{\frac{T_M^2}{4} - T_M \times T_{\Sigma}} = \frac{0,4}{2} - \sqrt{\frac{0,4^2}{4} - 0,4 \times 0,07} = 0,31 \text{ с.}$$

Підставимо отримані значення постійних часу у вираз (3.10), представимо передатну функцію електродвигуна в числовому виді:

$$W_{дв}(s) = \frac{K_{дв}}{s \times (T_1 \times s + 1) \times (T_2 \times s + 1)} = \frac{3600}{s \times (0,09 \times s + 1) \times (0,31 \times s + 1)}.$$

3. Передатна функція заслінки триходового клапана:

$$W_3(S) = K_3, \quad (3.9)$$

де K_3 – коефіцієнт передачі заслінки; $K_3 = 4^{\circ}\text{C/кут.град}$ (прийняте виправлення на $0,25^{\circ}\text{C/кут.град}$ убік зменшення).

4. Передатна функція провідного каналу:

$$W_n(S) = K_n \times e^{-t \times S}, \quad (3.10)$$

де K_n – коефіцієнт передачі повітропроводу; $K_n = 0,9$; t – час чистого запізнювання, $t = 0,009$ с.

5. Передатна функція датчика температури:

$$W_T(s) = \frac{K_T}{T_T \times s + 1}, \quad (3.11)$$

де K_m – чутливість датчика температури; $K_m = 0,1 \text{ В/}^{\circ}\text{C}$; T_m – постійна часу; $T_m = 0,05$ с.

6. Передатна функція підсилювача (виконує ПЛК): $W_y(S) = K_y$,

$$K_y = \frac{K_{заг}}{K_{дв} + K_3 + K_n + K_T}. \quad (3.12)$$

3.3 Визначення якісних характеристик САР

Пред'явимо до проектованої системи ряд вимог: задане значення температури підготовленого повітря $q_3=50^\circ\text{C}$; величина перерегулювання S повинна становити не більш 30%; час регулювання, що визначає швидкодію системи – не більш 2 с; для розрахунків, встановлена помилка по положенню відсутня, по швидкості - $E=5\%$ при $U_3=24\text{ В/с}$.

Знайдемо загальний коефіцієнт передачі розімкнутої САР: загальний коефіцієнт передачі системи може бути отриманий з умови:

$$K_{\text{заг}} = \frac{\dot{q}}{D_3}, \quad (3.13)$$

де D_3 - абсолютна помилка, яка визначається як:

$$D_3 = \frac{E_{\%} \times Q_3^0}{100\%}, \quad (3.14)$$

де $E_{\%}$ - встановлена помилка по швидкості (у відсотках).

Визначимо швидкість зміни величини, що задає впливу $\dot{q}$, використовуючи:

$$U_{\dot{q}} = K_{\dot{q}} \times \dot{q}. \quad (3.15)$$

Продиференціюємо (2.16) за часом:

$$\dot{U}_{\dot{q}} = K_{\dot{q}} \times \dot{\dot{q}}.$$

Визначимо із отриманого виразу шукану величину:

$$\dot{\dot{q}} = \frac{\dot{U}_{\dot{q}}}{K_{\dot{q}}}. \quad (3.16)$$

Підставимо вирази для швидкості зміни величини задаючого впливу (3.16) і абсолютної помилки (3.14) в (3.13), отримаємо остаточний вираз для загального коефіцієнта передачі розімкнутої системи:

$$K_{\text{заг}} = \frac{\dot{U}_{\dot{q}} \times 100\%}{K_{\dot{q}} \times E_{\%} \times Q_3^0}, \quad (3.17)$$

де $E_{\%} = 5\%$ - встановлена помилка по швидкості при значенні $\dot{U}_3 = 24\text{ (В/с)}$;

$Q_3^0 = 50^{\circ}\text{C}$ - задане значення температури пари.

Знайдемо загальний коефіцієнт передачі розімкнутої системи автоматичного регулювання:

$$K_{\text{заг}} = \frac{5 \text{ В/}^{\circ}\text{C} \times 100\%}{0,1 \text{ В/}^{\circ}\text{C} \times 50^{\circ}\text{C} \times 5\%} = 20 \text{ с}^{-1}$$

Щоб забезпечити систему деяким запасом стійкості, виберемо загальний коефіцієнт передачі замкненої САР $K_{\text{заг}} = 25 \text{ с}^{-1}$.

Розрахуємо коефіцієнт передачі підсилювача розімкнутої системи:

$$K_y = \frac{K_{\text{заг}}}{K_3 \times K_T \times K_n \times K_{\text{ДВ}}},$$

де K_y - шуканий коефіцієнт передачі підсилювача розімкнутої САР; $K_{\text{заг}} = 25 \text{ с}^{-1}$ - загальний коефіцієнт передачі розімкнутої системи; $K_{\text{ДВ}} = 24 \text{ кут.град/с}^{\circ} \text{ В}$ - коефіцієнт передачі електропривода; $K_3 = 4^{\circ}\text{C/кут.град.}$ - коефіцієнт передачі заслінки; $K_m = 0,1 \text{ В/}^{\circ}\text{C}$ - коефіцієнт передачі термopар; $K_n = 0,9$ - коефіцієнт передачі повітропроводу.

Підставивши дані значення коефіцієнтів передачі окремих ланок в (3.6), отримаємо коефіцієнт передачі підсилювача розімкнутої САР:

$$K_y = \frac{25 (\text{с}^{-1})}{4 (^{\circ}\text{C/кут.град})^{\circ} 0,1 (\text{В/}^{\circ}\text{C})^{\circ} 0,9^{\circ} 3600 (\text{кут. град/с}^{\circ} \text{ В})} = 2,879 \gg 3$$

Знайдемо передатну функцію розімкнутої системи:

$$\begin{aligned} W(s) &= W_y(s) \times W_{\text{ДВ}}(s) \times W_3(s) \times W_T(s) \times W_{\text{П}}(s) = \\ &= \frac{\times K_{\text{ДВ}} \times K_3 \times K_T \times K_{\text{П}} \times K_y \times e^{-t \times s}}{s \times (T_1 \times s + 1) \times (T_2 \times s + 1) \times (T_T \times s + 1)} = \frac{K_{\text{заг}} \times e^{-t \times s}}{s \times (T_1 \times s + 1) \times (T_2 \times s + 1) \times (T_T \times s + 1)}, \quad (3.18) \end{aligned}$$

де s – оператор Лапласа.

На підставі (3.18) побудуємо в програмному комплексі ТАУ логарифмічну амплітудну (ЛАЧХ) і логарифмічну фазову (ЛФЧХ) частотні характеристики розімкнутої системи:

На частотних характеристиках (рис.3.2) видно, що критична частота $\omega_{krit}=0,69$ Гц (фаза на ній рівна -180°) досягається раніше частоти зрізу $\omega_c=3,21$ Гц, при якій модуль передатної функції рівний 1, виходить, дана система є нестійкою (значення частоти зрізу більше значення частоти критичної).

Одержимо передатну функцію замкненої системи: для цього спростимо математичну модель САР (рис.3.3), представлену на рисунку 3.1

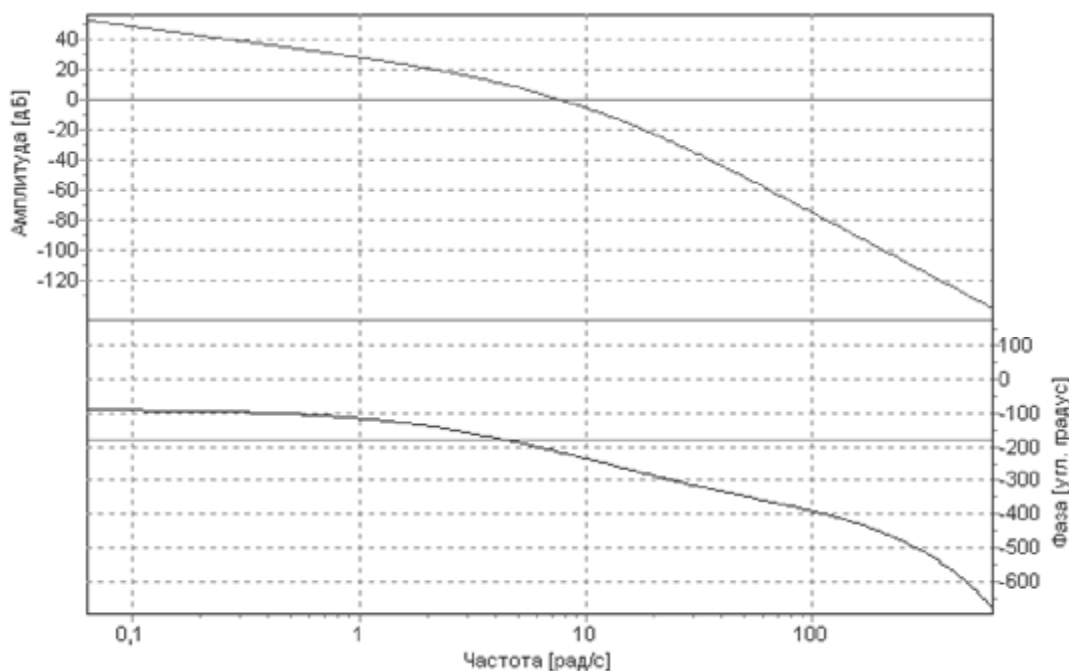


Рисунок 3.2 – ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи автоматичного регулювання

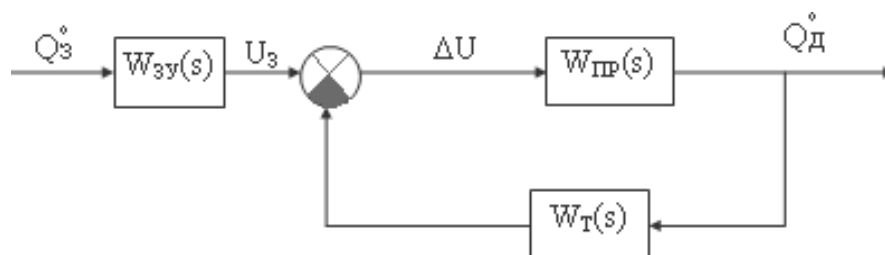


Рисунок 3.3 – Спрощена математична модель САР температурою повітря

Відповідно спрощеній структурній схемі, запишемо передатну функцію замкненої системи керування відносно задаючого впливу:

$$\Phi_g(s) = \frac{W_{zy}(s) \times W_{TP}(s)}{1 + W(s)} \quad (3.19)$$

Точність роботи системи характеризується встановленим значенням помилки. Виходить, доцільно записати передатну функцію замкненої системи помилково щодо задаючого впливу:

$$\Phi_{\text{zg}}(s) = \frac{W_{\text{zy}}(s)}{1 + W(s)} \quad (3.20)$$

Пояснимо позначення у виразах (3.19), (3.20):

$W_{\text{zy}}(s) = K_{\text{zy}}$ - передатна функція задаючого пристрою;

$W(s) = \frac{K_{\text{общ}} e^{-t \times s}}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_T s + 1)}$ - передатна функція розімкнутої системи;

$W_{\text{пп}}(s) = \frac{W(s)}{W_T(s)}$ - передатна функція прямої ланцюги замкненої системи;

$W_T(s) = \frac{K_T}{T_T s + 1}$ - передатна функція датчика температури.

Підставимо дані вирази в (3.20), отримаємо вираз для передатної функції замкненої системи щодо задаючого впливу у загальному виді:

$$\Phi_g(s) = \frac{K_{\text{заг}} (T_T s + 1) e^{-t \times s}}{K_{\text{заг}} e^{-t \times s} + s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_T s + 1)} \quad (3.21)$$

Підставимо даний вираз в (3.21), отримаємо вираз для передатної функції замкненої системи помилково щодо задаючого впливу у загальному виді:

$$\Phi_{\text{zg}}(s) = \frac{K_{\text{zy}} s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_T s + 1)}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_T s + 1) + K_{\text{заг}} e^{-t \times s}} \quad (3.22)$$

На підставі (3.22) і числових значень параметрів, побудуємо в програмі ТАУ ЛАЧХ (логарифмічну амплітудну) і ЛФЧХ (логарифмічну фазову) замкненої системи (рис. 3.4):

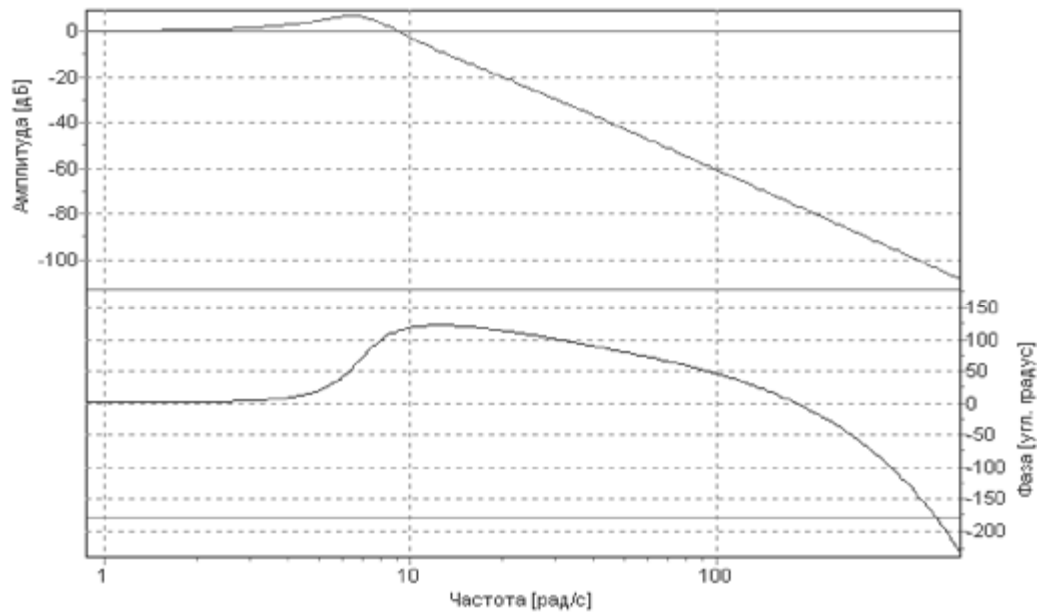


Рисунок 3.4 - ЛАЧХ і ЛФЧХ замкненої системи автоматичного регулювання

Одержимо якісні характеристики системи, побудувавши її перехідний процес (рис.3.5).

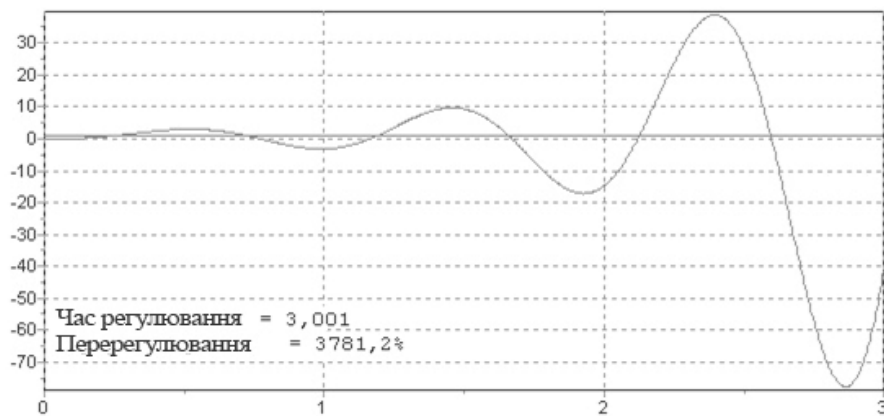


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика замкненої САР з якісними характеристиками

Очевидно, що перехідний процес, представлений на рисунку 3.3 – розбіжний, отже, необхідно розрахувати для САР коригувальний пристрій, щоб потім на основі його математичної моделі розробити алгоритм керування системою, який відповідав би поставленим технічним умовам. Про нестійкість існуючої системи також свідчить оцінка стійкості згідно із критерієм Найквиста по частотних характеристиках розімкнутої її складової: значення частоти зрізу більше критичного значення частоти для даної системи.

Таким чином, завдання проектування САР температури приточного повітря зводиться до завдання синтезу системи керування з метою забезпечення бажаних характеристик.

Звичайно коригувальний пристрій включається в ланцюг регулятора, тим самим змінюється передатна функція регулятора. Найбільше часто застосовуються послідовний коригувальний пристрій, однак є також паралельний коригувальний пристрій і коригувальний зворотні зв'язки. Послідовний коригувальний пристрій достатній просто розраховується й уводиться в систему. Звичайно воно являє собою електронну схему на вході виконавчого механізму регулятора. Також дане коригувальний пристрій може бути реалізоване програмно. Послідовний коригувальний пристрій дозволяє забезпечити пред'явлені до системи вимоги по якості перехідного процесу й точності роботи.

Розрахуємо послідовний коригувальний пристрій з використанням програми ТАУ. Найбільше часто для розрахунку коригувальних пристроїв використовується частотний метод синтезу за допомогою логарифмічних частотних характеристик. Він заснований на тому, що логарифмічна амплітудна частотна характеристика (ЛАЧХ) розімкнутої системи однозначно визначається її передатною функцією й навпаки. Отже, на основі пред'явлених до системи вимог можна сформувати бажаний вид логарифмічної амплітудної частотної характеристики, а потім по ній сформувати необхідну передатну функцію розімкнутої системи.

Процес частотного синтезу системи являє собою 2 етапи:

1. Побудова розташовуваної логарифмічної амплітудної частотної характеристики (АЧХ) розімкнутої системи.
2. Побудова бажаної логарифмічної амплітудної частотної характеристики (ЛАЧХ) розімкнутої системи.

ЛАЧХ наведена на рисунку 3.2 згідно до виразу (3.18) та числовим значенням параметрів.

Бажана ЛАЧХ може бути сформована, виходячи із заданих вимог до САР за точністю й якістю перехідного процесу. Точність визначається значеннями

помилки, що встановилися, а якість перехідного процесу – величиною перерегулювання й часом регулювання – значенням часу, після закінчення якого система починає працювати із заданою точністю.

Низькочастотна частина ЛАЧХ формується з умови забезпечення необхідної точності системи в режимі, що встановився. У нашому випадку система має нульову позиційну помилку, але має помилку по швидкості виходить, є системою, що відслідковує лінійно наростаюче вхідний вплив.

Необхідні показники можуть бути досягнуті, якщо середньочастотна ділянка бажаної ЛАЧХ перетинає вісь частот на частоті зрізу ω_z і має нахил -20 . Частоту зрізу ω_z і необхідні запаси стійкості по амплітуді L_h і фазі m можна визначити по номограмі Солодовнікова, виходячи із заданих значень $t_p=3$ с і $s\%=30\%$.

Побудуємо розташовувану ЛАЧХ системи (рис.3.6):

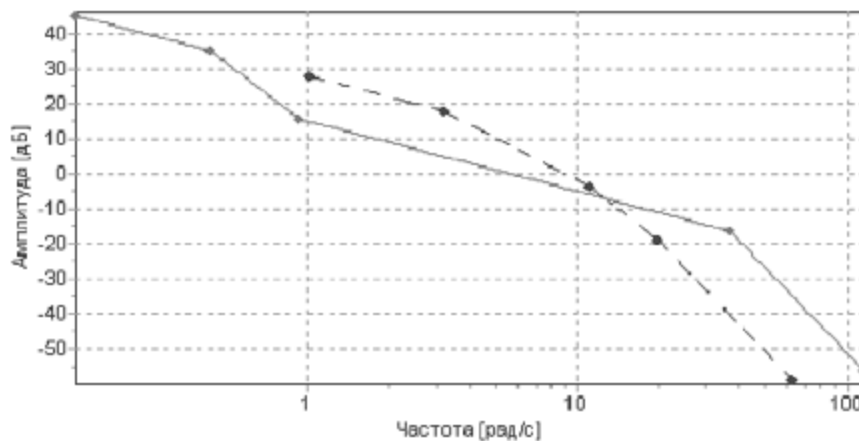


Рисунок 3.6 – Явна й бажана (штрих.) ЛАЧХ САР температури

Побудуємо бажану ЛАЧХ системи.

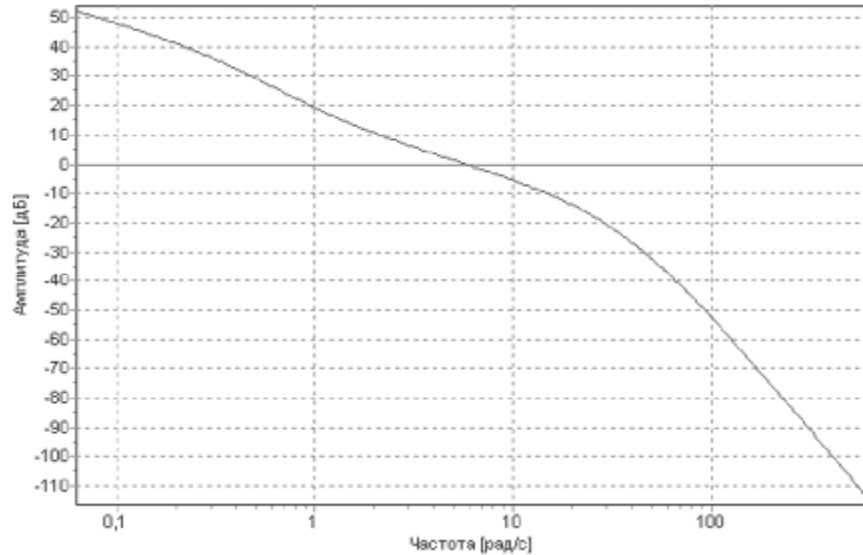


Рисунок 3.7 – Бажана ЛАЧХ нескоректованої САР температури

Для реалізації якісних законів регулювання виберемо послідовний коригувальний пристрій (ПКП). У цьому випадку бажана передатна функція розімкнутої системи прийме вид:

$$W_{\text{ж}}(s) = W_p(s) \times W_{\text{ПКУ}}(s), \quad (3.21)$$

де $W_{\text{ПКУ}}(s)$ - передатна функція послідовного коригувального пристрою; $W_p(s)$ - передатна функція розташовуваної системи.

Логарифмічну амплітудну частотну характеристику бажаної системи можна знайти, як:

$$L_{\text{ж}}(\omega) = L_{\text{ПКУ}}(\omega) + L_p(\omega). \quad (3.22)$$

Виразимо $L_{\text{ПКУ}}(\omega)$ з (3.23):

$$L_{\text{ПКУ}}(\omega) = L_{\text{ж}}(\omega) - L_p(\omega). \quad (3.23)$$

Отримаємо передатну функцію послідовного коригувального пристрою:

$$W(s)_{\text{ПКУ}} = \frac{(T_{\text{ж}2}s + 1)^2 \times (T_2s + 1) \times (T_1s + 1) \times (T_Ts + 1)}{(T_{\text{ж}1}s + 1)^2 \times (T_{\text{ж}3}s + 1)^3}, \quad (3.24)$$

де $T_{\text{ж}1}, T_{\text{ж}2}, T_{\text{ж}3}$ – постійні часу бажаної системи, $T_1 = 0,09$ с – перша постійна часу електродвигуна; $T_2 = 0,31$ с – друга постійна часу електродвигуна; $T_T = 0,05$ с – постійна часу термopари.

Для того, щоб розрахувати значення бажаних постійних часу $T_{Ж1}, T_{Ж2}, T_{Ж3}$ і побудувати ЛАЧХ коригувального пристрою, уточнимо передатну функцію бажаної системи.

Для одержання бажаної передатної функції замкненої системи щодо задаючого впливу скористаємося виразом (3.19):

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{W_{ЗУ}(s) \cdot W_{ПП}(s)}{1 + W_{Ж}(s)}, \quad (3.25)$$

де $W_{ЗУ}(s) = K_{ЗУ}$ - передатна функція пристрою, що задає;
 $W_{ПП}(s) = \frac{W_{Ж}(s)}{W_T(s)}$ - передатна функція прямої ланцюги, $W_{Ж}(s)$ - бажана передатна функція

розімкнутої системи; $W_T(s) = \frac{K_T}{T_T s + 1}$ - передатна функція датчика температури.

Підставивши відомі значення постійних часу й коефіцієнтів передачі, отримаємо передатну функцію бажаної замкненої системи:

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{K_{заг} \cdot (T_{Ж2} s + 1)^2 \cdot (T_T s + 1) \cdot e^{-t \cdot s}}{s \cdot (T_{Ж1} s + 1)^2 \cdot (T_{Ж3} s + 1)^3 + K_{заг} \cdot (T_{Ж2} s + 1)^2 \cdot e^{-t \cdot s}}, \quad (3.26)$$

де $T_{Ж1} = 2,293$ с, $T_{Ж2} = 1,086$ с, $T_{Ж3} = 0,027$ с, $T_T = 0,05$ с, $K_{заг} = 25$ с⁻¹, $t = 0,009$ с.

Для побудови перехідного процесу у виразі (3.26) замінімо $e^{-t \cdot s}$ на $(1 - t \cdot s)$:

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{K_{заг} \cdot (T_{Ж2} s + 1)^2 \cdot (T_T s + 1) \cdot (1 - t \cdot s)}{s \cdot (T_{Ж1} s + 1)^2 \cdot (T_{Ж3} s + 1)^3 + K_{заг} \cdot (T_{Ж2} s + 1)^2 \cdot (1 - t \cdot s)}. \quad (3.27)$$

Представимо перехідну характеристику бажаної системи після корекції (рис.3.8) q оцінимо показники якості отриманої САР:

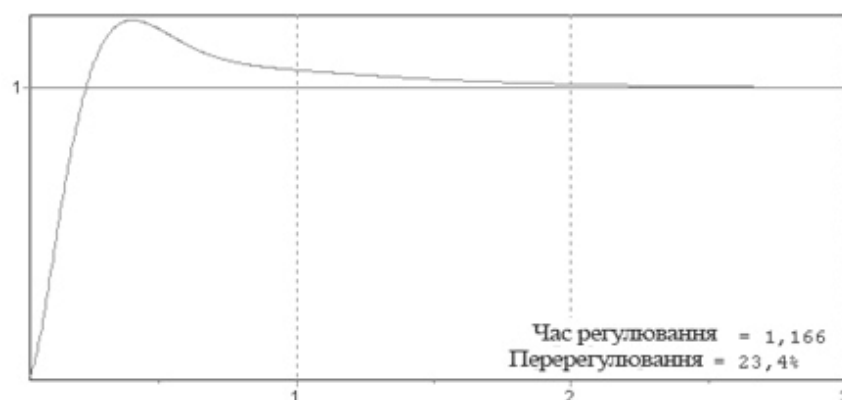


Рисунок 3.8 - Перехідна характеристика скоректованої САР з показниками якості

Оскільки отримана величина перерегулювання, що визначає стійкість, а також час регулювання, який визначає швидкодію бажаної системи, задовольняють умовам, пропонованим до проектованої САР температури притічного повітря, то можна виконати перехід до побудови моделі коригувального пристрою.

Перевіримо запаси стійкості бажаної системи з послідовним коригувальним пристроєм, що характеризують близькість системи до границі стійкості:

Таблиця 3.2 – Запаси стійкості системи

ω , рад/с	L, дБ	γ , кут. град
5,64	0,00	-129,0
17,79	-12,5	-180,0

Запас стійкості по амплітуді $L_h=12,5$ дБ, запас стійкості по фазі $\mu=51^\circ$. Очевидно, що проектована система буде мати гарні запаси стійкості по амплітуді й фазі.

Підставимо числові значення постійних часу в (3.27), представимо ЛАЧХ і ЛФЧХ послідовного коригувального пристрою (рис.3.9).

Програмна реалізація коригувального пристрою передбачає використання у своєму складі імпульсної системи – системи, де як мінімум одна з описуваних систему координат зазнає квантуванню за часом. Квантування за часом величини за допомогою імпульсної модуляції перетворюються в чергування імпульсів. Таким чином, імпульсну систему для програмної реалізації доцільно представити у вигляді комбінації імпульсного елемента (здійснює процес квантування величини за часом з перетворенням її в послідовність імпульсів) і безперервної частини, складеної з типових динамічних ланок (задана система із включеним у неї ПКУ). Забігаючи вперед, необхідно відзначити, що функцію пристрою, що порівнює, а також функцію послідовного коригувального пристрою буде виконувати програмувальний логічний контролер марки WAGO I/O SYSTEM.

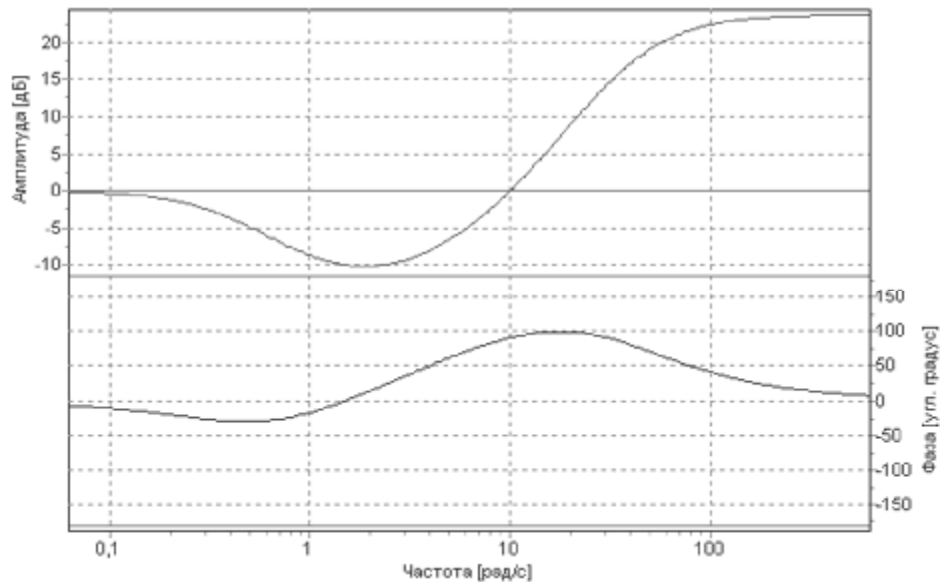


Рисунок 3.9 - ЛАЧХ і ЛФЧХ послідовного коригувального пристрою

Представимо математичну модель САР із включенням на вхід імпульсним елементом (рис.3.10):

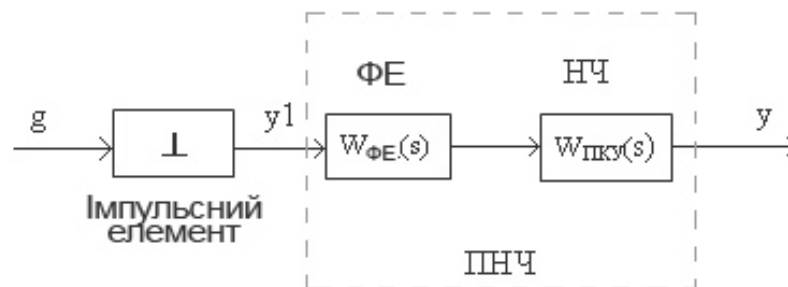


Рисунок 3.10 – Схема САР із включенням у неї імпульсним елементом:
 g - задаючий вплив; y_1 – сигнал з імпульсного елемента; y - вихідний вплив; НЧ - безперервна частина системи; ФЕ - формуючий елемент; ПНЧ - наведена безперервна частина системи; $W_{ПЧУ}(s)$ - передатна функція безперервної частини системи (послідовного коригувального пристрою).

Дискретну передатну функцію $W_{ПЧУ}(z)$ послідовного коригувального пристрою доцільно одержати через передатну функцію безперервної частини системи $W_{нч}(s)$.

Вираз для дискретної передатної функції розімкнутої імпульсної системи представимо в наступному виді:

$$W(z,s) = \sum_{n=0}^{\infty} w_{ПНЧ}[n,s] z^{-n} \quad (3.28)$$

де $w_{ПНЧ}[n,s]$ - імпульсна функція послідовної безперервної частини.

Для практичного розрахунку з метою спрощенні рекомендується представити передатну функцію у вигляді наступного вираз:

$$W(z,s) = Z_s \{W_{ПНЧ}(s)\}, \quad (3.29)$$

$$\text{де } W_{ПНЧ}(s) = W_{\phi\Delta}(s)W_{НЧ}(s). \quad (3.30)$$

У нашому випадку імпульсний елемент формує послідовність прямокутних імпульсів тривалістю $T_{ИМП} = \gamma T$, де γ – величина шпаруватості імпульсу). Тоді розрахункове співвідношення для дискретної передатної функції розімкнутої імпульсної системи прийме вид:

$$W(z,s) = Z_s \left\{ \frac{1 - e^{-gTs}}{s} W_{НЧ}(s) \right\} = W_1(z,s) - W_{1g}(z,s), \quad (3.31)$$

де

$$W_1(z,s) = Z_s \left\{ \frac{1}{s} W_{НЧ}(s) \right\}; \quad W_{1g}(z,s) = Z_s \left\{ \frac{e^{-gTs}}{s} W_{НЧ}(s) \right\}.$$

У роботі використовуємо імпульсний елемент контролера, який генерує прямокутні імпульси, тривалість яких збігається з періодом дискретності, тобто значення шпаруватості $\gamma=1$. Даний формуючий елемент зветься екстраполятором нульового порядку або запам'ятовуючим елементом. Дискретна передатна функція тоді прийме вид:

$$W(z,s) = Z_s \left\{ \frac{1 - e^{-Ts}}{s} W_{НЧ}(s) \right\} = \frac{z-1}{z} Z_s \left\{ \frac{W_{НЧ}(s)}{s} \right\} \quad (3.32)$$

Згідно (3.31) можна визначити дискретну передатну функцію $W_{ПКУ}(z)$ коригувального пристрою, враховуючи, що $W_{НЧ}(s) = W_{ПКУ}(s)$:

$$\frac{W_{НЧ}(s)}{s} = \frac{(T_{Ж2}s+1)^2(T_1s+1)(T_Ts+1)(T_2s+1)}{(T_{Ж1}s+1)^2(T_{Ж3}s+1)^3s} = \frac{1}{T_{Ж1}^2 T_{Ж3}^3} \times \frac{(T_{Ж2}s+1)^2(T_1s+1)(T_Ts+1)(T_2s+1)}{(s+\frac{1}{T_{Ж1}})^2(s+\frac{1}{T_{Ж3}})^3s}$$

Представимо перехідну характеристику $W_{ПКУ}(s)$ (рис.3.11):

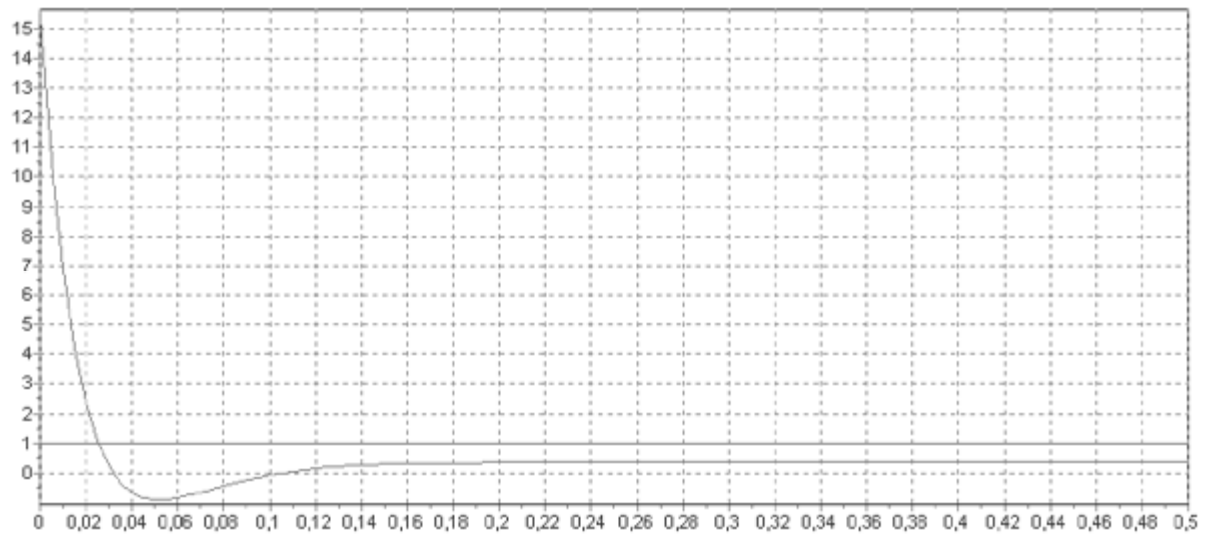


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика послідовного коригувального пристрою

Виходячи із представленої перехідної характеристики, здійснимо вибір частоти дискретизації: $T=0,002$ с - період дискретності, отже, частота дискретизації $f_{\text{дискрет}}=500$ Гц.

Отримаємо наступний вираз для дискретної передатної функції:

$$W_{\text{ПКУ}}(z) = \frac{b_0 \times z^5 + b_1 \times z^4 + b_2 \times z^3 + b_3 \times z^2 + b_4 \times z + b_5}{a_0 \times z^5 + a_1 \times z^4 + a_2 \times z^3 + a_3 \times z^2 + a_4 \times z + a_5} \quad (3.33)$$

Коефіцієнти дискретної передатної функції представлені в табл. 3.6. Для перевірки правильності вибору частоти дискретизації приведемо перехідну характеристику дискретної передатної функції послідовного коригувального пристрою $W_{\text{ПКУ}}(z)$ (рис.3.12).

Таблиця 3.3 – Отримані в результаті перетворень значення коефіцієнтів

Коефіцієнт	Значення	Коефіцієнт	Значення
b_0	15,5	a_0	1
b_1	-76,8	a_1	-4,9
b_2	152,6	a_2	9,6
b_3	-151,5	a_3	-9,4
b_4	75,2	a_4	4,6
b_5	-14,9	a_5	-0,9

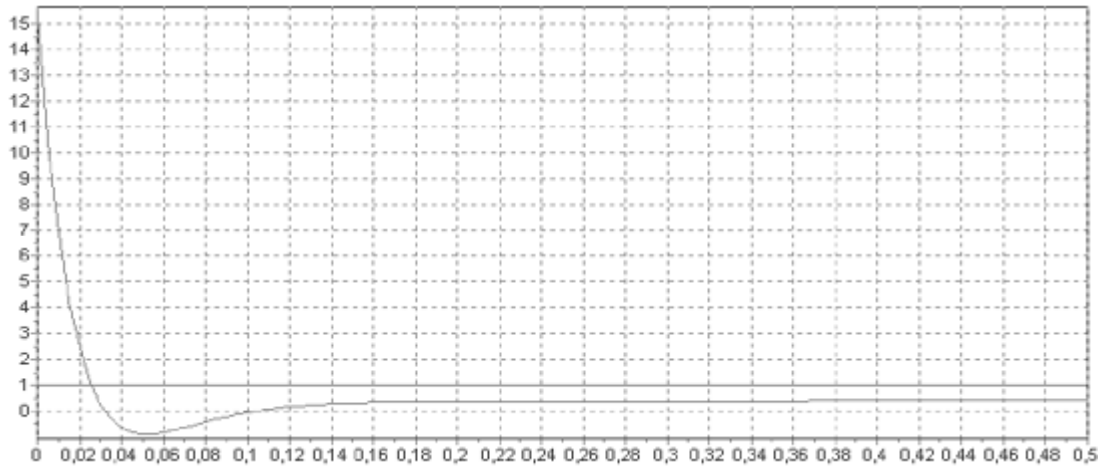


Рисунок 3.12 – Перехідна характеристика дискретної передатної функції ПКП $W_{ПКУ}(z)$

При порівнянні двох характеристик (рис.3.20, 3.21) видно, що візуально вони практично не відрізняються, що свідчить про вірно обране значення періоду, а, значить, і частоти дискретизації.

Для зручності програмної реалізації послідовного коригувального пристрою доцільно скласти різницеве рівняння по дискретній передатній функції $W_{ПКУ}(z)$. Для цього помножимо чисельник і знаменник $W_{ПКУ}(z)$ на z^{-n} , де n – максимальний порядок передатної функції (у нашому випадку $n=5$):

$$W_{ПКУ}(z) = \frac{b_0 \times z^5 + b_1 \times z^4 + b_2 \times z^3 + b_3 \times z^2 + b_4 \times z + b_5}{a_0 \times z^5 + a_1 \times z^4 + a_2 \times z^3 + a_3 \times z^2 + a_4 \times z + a_5} \times \frac{z^{-5}}{z^{-5}}.$$

У результаті множення отримаємо вираз для дискретної передатної функції:

$$W_{ПКУ}(z) = \frac{b_0 + b_1 \times z^{-1} + b_2 \times z^{-2} + b_3 \times z^{-3} + b_4 \times z^{-4} + b_5 \times z^{-5}}{a_0 + a_1 \times z^{-1} + a_2 \times z^{-2} + a_3 \times z^{-3} + a_4 \times z^{-4} + a_5 \times z^{-5}} = \frac{U(z)}{F(z)}. \quad (3.34)$$

Представимо вираз (3.34) у вигляді рівняння різниць:

$$\begin{aligned} a_0 \times y[n] + a_1 \times y[n-1] + a_2 \times y[n-2] + a_3 \times y[n-3] + a_4 \times y[n-4] + a_5 \times y[n-5] = \\ = b_0 \times f[n] + b_1 \times f[n-1] + b_2 \times f[n-2] + b_3 \times f[n-3] + b_4 \times f[n-4] + b_5 \times f[n-5] \end{aligned} \quad (3.35)$$

Рішенням отриманого рівняння різниць при нульових початкових умовах $y[n]=0$, $f[n]=0$ для всіх $n<0$ буде рішення виду:

$$\begin{aligned} y[n] = \frac{1}{a_0} (b_0 \times f[n] + b_1 \times f[n-1] + b_2 \times f[n-2] + b_3 \times f[n-3] + b_4 \times f[n-4] + b_5 \times f[n-5] - \\ - a_1 \times y[n-1] - a_2 \times y[n-2] - a_3 \times y[n-3] - a_4 \times y[n-4] - a_5 \times y[n-5]) \end{aligned} \quad (3.36)$$

Підставляючи значення коефіцієнтів (табл. 3.6), знайдемо шуканий вираз для $y[n]$. Таким чином, необхідно й достатньо реалізувати функцію регулювання згідно (3.36), яка б по програмі на ЕОМ здійснювала якісне регулювання температури повітря калорифера. Однак, дана функція є нереалізованою на обраному ПЛК, тому що немає підтримки механізмів черг.

Так як високих вимог до точності регулювання температури не пред'являється, то доцільно управляти електроприводом JP Fluid Control AW1 через аналоговий вхід, подаючи значення напруги на переміщення позиції заслінки в клапані. Тоді діапазон руху заслінки буде прямо залежати від поданого рівня напруги, або, інакше кажучи, позиція заслінки буде визначатися внесеними налаштуваннями. Скористаємося регулюванням за принципом балансування.

Виходячи з технічного паспорта на електропривод AW1 отримаємо таблицю даних для якісного процесу регулювання температури повітря. Максимальне значення напруги, що подається на аналоговий вхід електропривода 24 В. Подібний процес регулювання був промодельований у даному пункті, він є стійким і відповідає вимогам якості перехідного процесу в системі.

Таким чином, приведемо таблицю відповідності значень вхідної напруги й позицій переміщення заслінки. Дані розрахунків, необхідні для розробки керуючої програми ПЛК, наведені в таблиці 3.4. У підсумку отримаємо електропривод, керований пропорційним регулятором (балансування), функції якого – формувати певний рівень напруги залежно від порівняння поточної температури повітря в паропроводі зі значенням заданої температури, буде виконувати обраний ПЛК. Коефіцієнт передачі регулятора розрахуємо за формулою (3.37):

$$k_p = \frac{Dw_{\text{заслінки}}}{DU_{\text{вв}}} = \frac{90 \text{ кут. градус}}{24 \text{ В}} = 3,75 \text{ кут. градус / В} \quad (3.37)$$

Крок зміни положення – на кожний 1 Вольт поданої напруги від ПЛК заслінка міняє положення на 3,75 кут. градуса.

Дані з таблиці 3.4 необхідні для написання керуючої програми САР температурою притічного повітря. Напівжирним шрифтом у таблиці виділений режим захисту калорифера від переохолодження – рівень клапана відкритий на 25% під час простою системи в зимовий період. У літній період роботи клапан буде закритий і зафіксований подачею дискретного імпульсу «закритий». При цьому необхідно буде програмно зв'язати керування електродвигуном в аварійних режимах роботи – перегрів і переохолодження калорифера.

Таблиця 3.4 – Дані для якісного регулювання температури повітря

Керуюча напруга, $U_{вх}$	Положення заслінки, кут. град	Керуюча напруга, $U_{вх}$	Положення заслінки, кут. град
1	3,75	13	48,75
2	7,5	14	52,5
3	11,25	15	56,25
4	15	16	60
5	18,75	17	63,75
6	22,5	18	67,5
7	26,25	19	71,25
8	30	20	75
9	33,75	21	78,75
10	37,5	22	82,5
11	41,25	23	86,25
12	45	24	90

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Мікроклімат виробничих приміщень

Одне з найважливіших завдань на виробництві – організація повітряно-температурного клімату. Для цього є наступні пристрої:

- вентиляційні системи (загальнообмінні, місцеві, технологічні);
- системи охолодження та обігріву;
- пристрої для зволоження та ароматизації та дезінфекції;
- системи кондиціювання.

Мікрокліматичні умови приміщення та їх забезпечення розроблені і дотримуються відповідно до вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціювання» .

Мікроклімат виробничих приміщень визначається діючими на організм людини поєднаннями температури, вологості й швидкості руху повітря, а також температурою оточуючих поверхонь.

Параметри мікроклімату оптимальні і допустимі показники температури, відносної вологості і швидкості руху повітря встановлюється для робочої зони виробничих приміщень з урахуванням надлишків тепла, важкості виконуваної роботи й сезонів року у відповідності ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Для забезпечення встановлених норм мікроклімату і підтримки чистоти повітря в виробничих приміщеннях застосовують вентиляцію. Основне завдання вентиляції - вилучити із приміщення забруднене або нагріте повітря та подати свіже. Усунення шкідливих газів, парів, аерозолей і пилу, які утворюються на ділянках проводиться через місцеву і загально-обмінну вентиляцію з штучним спонуканням. У дільниці друку повітря може бути забруднене парами розчинників, фарби, солей та багатьох інших хімічних реактивів.

Кількість припливного повітря має відповідати нормам, встановленим ДСН 3.3.6-042-99.

У виробничих приміщеннях, де виділяються шкідливі речовини або речовини з неприємним запахом, об'єм витягнутого повітря повинен бути більший за об'єм припливного повітря на 10%. При цьому розрідження має бути не менше 10 Па (1 кгс/м²) по відношенню до тиску в приміщенні (при зачинених дверях), але не менше 100 м³/год на кожні двері захищеного приміщення.

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати ГДК, контроль за концентрацією шкідливих речовин проводиться в залежності від класу небезпеки шкідливих речовин. Гранично допустимі концентрації в повітрі робочої зони наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Гранично допустимі концентрації в повітрі робочої зони

№ з/п	Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки	Агрегатний стан
1	Аміак	5	2	пари
2	Ацетон	200	4	пари
3	Бензин-розчинник	300	4	пари
4	Кислота сірчана	1	2	аерозоль
5	Окис вуглецю	20	4	пари
6	Спирт етиловий	1000	4	пари

Природна вентиляція виробничих приміщень типографії поділяється на два види: аерація та інфільтрація. Аерація – це природний приплив повітря з вулиці, яким можна керувати, змінюючи просвіт вікон і прорізів в огорожувальних конструкціях будівлі. Інфільтрація здійснюється за допомогою надходження повітряних мас зовні приміщення через прорізи, щілини і зазори, завдяки вітру, різниці температур і тисків, але відрізняється від аерації вона тим, що не керується людиною.

Для видалення шкідливих продуктів зварювання в типографії змонтовано механічну припливно-витяжну вентиляцію, поєднану з повітряним опаленням для зимового часу. Також у цеху, через можливість раптового надходження великої кількості шкідливих речовин, передбачається влаштування аварійної вентиляції.

4.2 Виробничий шум

Одним із негативних факторів, що впливають на працю, є шум і вібрація. Інтенсивний шум, є загально-біологічним подразником, впливає на енергетичний баланс організму, викликає різноманітні порушення обміну речовин (змінюються стан центральної нервової та серцево-судинної системи, з подальшим зниженням звуку).

Виробничий шум — це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що виникають у повітряному середовищі і можуть впливати на працездатність людини.

Допустимі рівні шуму повинні відповідати ДСН 3.3.6.037-99 „Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку”. Для зниження шуму в зварювальних цехах в приміщеннях висотою до 5 м проводять їх акустичну обробку шляхом облицювання стелі і стін (частково) спеціальними звукопоглинаючими плитами і конструкціями, що дозволяють знизити шум в приміщенні на 5-15 дБ. Приміщення висотою більше 5 м обладнують підвісною звукопоглинаючою стелею.

На обладнання, що гучно шумить, встановлюють, спеціальні звукоізолюючі кожухи. Зниження шуму вентиляційних установок, що обслуговують виробничі ділянки та пости, досягається встановленням у всмоктувальних і нагнітаючих повітроводах глушників шуму – трубчатих або пластинчатих.

Методи захисту від шуму:

- боротьба з шумом в джерелі виникнення. Це найбільш дієвий

спосіб боротьби. Створюються малошумні механічні передачі розроблено способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторах:

- зниження звукопоглинанням та звукоізоляцією. Об'єкт (компресор) розташовують в ізольованому приміщенні на звукоізольованому фундаменті;
- зниження акустичною обробкою приміщення. Акустична обробка передбачає вкривання стелі та верхньої частини стін звукопоглинальним матеріалом;
- використання засобів індивідуального захисту. Захист органів слуху за допомогою вушних заглушок, навушників.

4.3 Пожежна безпека та профілактика

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується у часі і просторі.

Пожежна безпека – це стан, за яким з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі. Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків.

Виникнення пожежі можливе, якщо в приміщенні присутні три фактори: горюча речовина, окислювач і джерело запалювання.

Пожежна безпека повинна забезпечуватись шляхом проведення організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на попередження пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих майнових втрат і зменшення негативних екологічних наслідків у разі їх виникнення.

Система попередження пожеж включає два основні напрямки:

Запобігання формування горючого середовища (застосування герметичного устаткування; заміна, в технологічних процесах, горючих речовин негорючими; правильне використання і зберігання горючих речовин) запобігання виникненню в горючому середовищі джерела запалювання (використовувати пристрої, при роботі яких не виникає джерела запалювання; установки повинні відповідати

пожежній безпеці зон і задовольняти вимоги електростатичної іскробезпеки)

На підприємстві встановлений протипожежний режим, де визначено: місце паління, прядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювання), місця для зберігання різних матеріалів. Пожежна безпека будівель забезпечується правильним і вибором необхідного ступеню вогнетривкості будівельних конструкцій, об'ємно — планувальним вирішенням, застосуванням протипожежних переходів, дверей і воріт, а також спеціальних заходів, що забезпечують гасіння пожежі.

У будівлях організовано, на випадок пожежі, можливість евакуації людей із приміщення через евакуаційні виходи. Евакуаційні виходи (не менше двох) розташовані розсереджено. Мінімальна ширина шляхів евакуації - не менше 1 м, дверей - 0,8 м.

Для подачі води в ці системи в приміщенні мають розташовуватись водопроводи. Постійний тиск води в водопроводі підтримується пневматичними установками. Мережі протипожежного водогону повинні забезпечувати потрібну за нормами витрату та напір води.

Для ліквідації пожежі на початковій стадії на внутрішній водопроводній мережі повинні бути встановлені внутрішні пожежні крани. Пожежні крани встановлюються у доступних місцях, їх розміщення не повинно заважати евакуації. Кожен пожежний кран споряджається прогумованим рукавом та пожежним стволом. Довжина рукава - 10 -20 м. Продуктивність кожного крану не менше ніж 2,5 л/с. Витрати води на зовнішнє пожежогасіння беруться в залежності від ступення вогнестійкості будівель, їх об'єму,

Норма витрат води на внутрішнє пожежогасіння приймається:

- для виробничих приміщень - із розрахунку двох струменів продуктивністю не менше 2,5 л/с;
- для допоміжних споруд - із розрахунку одного струменя продуктивністю не менше 2,5 л/с;
- для складів або приватних будинків, розміщених з врахуванням протипожежних перепон і об'ємом більше 25000 м³ - із розрахунку двох

струменів продуктивністю не менше 2,5 л/с кожна, а при об'ємі менше 25000 м³ - із розрахунку одного струменя продуктивністю не менше 2,5 л/с;

- для будинків, які влаштовані спринклерними і дренчер-ними системами - із розрахунку одного струменя продуктивністю не менше 2,5 л/с.

Для запобігання пожежі на окремих ділянках виробництва з пожежонебезпечним виробництвом застосовують засоби пожежної автоматики-установки електричної пожежної сигналізації, встановлюють спринклерні та дренчерні установки пожежогасіння, використовують первинні засоби пожежогасіння.

Площа змочування одним спринклером становить від 9 до 12 м², а інтенсивність подачі води - 0,1 л/с м². Дренчерні установки обладнані розбризкувальними головками, які постійно відкриті. Вода подається вручну або автоматично при спрацюванні пожежних датчиків, котрі відкривають клапан групової дії.

До первинних засобів пожежогасіння відносяться вогнегасники типу вуглекислотні; газові; порошкові; комбіновані, пожежний інвентар та пожежний інструмент. Пожежний інвентар та інструменти розміщуються на спеціальних щитках (один щит на 5000 м²). Щити забезпечують захист вогнегасників і інвентарю. Вогнегасники потрібно встановлювати у легкодоступних та помітних місцях, а також у пожежонебезпечних місцях, де найбільш вірогідна поява осередків пожежі, також коло місць розташування вогнегасників слід розмістити наліпку з відповідним позначенням.

Підприємство забезпечене пожежною сигналізацією, сповіщувачами комбінованого типу.

4.4 Освітлення виробничих приміщень

Зорові відчуття при впливі світла на очі людини викликають електромагнітні хвилі оптичного діапазону. Область видимих оптичних електромагнітних випромінювань розташована між областю ультрафіолетових та ІЧ-випромінювань.

Виробниче освітлення – це система заходів і пристроїв, що забезпечують сприятливу роботу зорового аналізатора людини та виключають шкідливий або небезпечний вплив світла на нього в процесі праці.

Освітлення у виробничих будинках і на відкритих площадках здійснюється природним і штучним світлом. При недостатності природного застосовують сполучене освітлення, при якому у світлий час доби використовується одночасно природне і штучне освітлення.

Нормуються всі види освітлення за характеристикою зорової роботи (ступеня її точності) відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення", згідно з яким для створення нормальних умов роботи зорового аналізатора людини в процесі праці повинні виконуватися такі основні вимоги:

- освітленість на робочих місцях має відповідати характеру зорової роботи (забезпечення необхідної освітленості робочих поверхонь поліпшує умови бачення об'єктів, підвищує продуктивність праці);
- рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні (при нерівномірній яскравості в процесі роботи око змушене переадаптуватися, що веде до стомлення зорового аналізатора);
- відсутність різких тіней на робочих поверхнях (у полі зору людини різкі тіні спотворюють розміри й форми об'єктів розрізнення, що додатково втомлює зір, а тіні, що рухаються, можуть призвести до травм);
- відсутність блискоті й засліпленості (блискоті викликає порушення зорових функцій, а засліпленість – призводить до швидкого втомлення зорового аналізатора і зниження працездатності людини);

- сталість освітленості в часі (коливання освітленості викликає переадаптацію ока, призводить до значного втомлення);
- правильна передача кольору (спектральний склад штучних джерел світла повинен бути максимально наближений до спектра природного освітлення);
- забезпечення електро-, вибухо- і пожежонебезпечності;
- економічність.

Одним з основних факторів сприятливого функціонування зору є достатня яскравість або освітленість робочих поверхонь і їх ділянок. При незадовільних характеристиках освітленості виробниче освітлення може бути шкідливим чи небезпечним виробничим фактором.

При незадовільній освітленості погіршуються умови для здійснення зорових функцій і життєдіяльності організму: з'являються втомлення, очні хвороби, головні болі, що може бути непрямою причиною нещасних випадків. Погано освітлені небезпечні зони, прожектори і лампи, що засліплюють, відблиски від них, різкі тіні погіршують або можуть викликати втрату орієнтації працюючих.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено автоматизовану систему вентиляції приміщень типографії з контролем параметрів мікроклімату. Проведено аналіз конструктивних особливостей систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря та способи формування мікроклімату виробничих приміщень. Здійснено аналіз сучасних систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

У роботі здійснюється розробка заходів з автоматизації процесу вентиляції виробничих приміщень типографії. Проведено вибір оптимальної технології системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Розроблено автоматизовану систему керування економайзера вентиляційної системи.

У третьому розділі здійснено перевірку на надійність елементів спроектованої автоматизованої системи.

У четвертому розділі виконано аналіз питань безпеки життєдіяльності й охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kingscourt Co. Understanding Building Ventilation. Guide. Kingspan Light + Air Limited. 2021.
2. Industrial Ventilation. – Режим доступу:
<https://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ventilation/introduction.html>
3. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-(2016). Performance Rating Method Reference Manual. 2016. p.251.
4. ASHRAE Handbook. Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications. 2019. www.ashrae.org
5. ACGIH: Industrial Ventilation Manual Industrial Ventilation. A Manual of Recommended Practice. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Ohio. 1998.
6. Nigel Wells. Energy Efficiency. Weblene Special Report №4. PrintCity GmbH + Co. KG. 2008.
7. Displacement Ventilation. Engineering Guide. Price Industries Limited 2016.
8. YORK Sun Choice Rooftop Units. – Режим доступу:
https://www.york.com/commercial-equipment/packaged-split-dx/packaged-rooftop-units/15275tchoiceac_ds/york-sun-choice-rooftop-units
9. Evio rooftops units. – Режим доступу:
<https://www.redgehvac.com/en/products/air-conditioning-and-heating/rooftops/evio>
- 10.ETT HVAC Nos produits. – Режим доступу:
<https://www.ett-hvac.com/produit>
- 11.J.J. McArthur. Rethinking ventilation: A benefit-cost analysis of carbon Offset increased outdoor air provision. Building and Environment 169. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106551>
- 12.Understanding HVAC Economizers: Airside vs. Waterside
<https://primemechanical.net/understanding-hvac-economizers-airside-vs-waterside/>

13. Haohan Sha. Investigation of mechanical ventilation for cooling in high - Rise buildings. Energy & Buildings 228. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110440>
14. Qian Li. Flexible real-time ventilation design in a subway station Accommodating the various outdoor PM10 air quality from climate change variation. Building and Environment 153. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.029>
15. JADE™ Y7220 Economizer System – Режим доступу:
<https://buildings.honeywell.com/us/en/products/by-category/building-management/field-devices/economizers-and-ventilation-controls/jade-y7220-economizer-system>
16. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
17. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»/ Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
18. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>

- 19.Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль: ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>
- 20.Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни – Електроніка і мікросхемотехніка. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>
- 21.Федорів І. Аналіз кондуктометричних давачів / І. Федорів // Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. — Т.: ТНТУ, 2019. — С. 92–93. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28159>
- 22.Станько А. А. Аналіз впливу вразливостей Meltdown і spectre на роботу мікропроцесорів автоматизованих систем управління технологічними процесами / А. А. Станько, Р. О. Козак, І. П. Федорів // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), 22-24 травня 2018. — Т.: ТНТУ, 2018. — С. 235–236. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/25403>
- 23.Аналіз стійкості і якості електромеханічної слідкуючої системи.: Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Теорія автоматичного управління», для здобувачів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньо-професійних програм «Комп'ютерно-інтегровані системи автоматики та робототехніки», «Комп'ютеризовані системи управління та прикладне програмування». / укл. І.Р. Козбур, В.П. Пісьціо, В.Б. Савків, П.С. Федорів. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 67 с
- 24.Коноваленко І.В., Федорів П.С. Системне програмування у Windows з прикладами на Delphi. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТНТУ ім.І.Пулюя, 2012. – 320 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1557>

- 25.Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня бакалавр. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
- 26.Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 123 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>