

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з графічної частини і пояснювальної записки.

Об'єм графічної (ілюстративної) частини кваліфікаційної роботи становить 17 слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає 72 друковані сторінки формату А4 (210×297).

В кваліфікаційній роботі нараховується 22 рисунки та 9 таблиць з даними. Використано 15 літературних джерел.

В кваліфікаційній роботі була розроблена система автоматизованого керування технологічним процесом кондиціювання. Впровадження автоматизованої системи управління для даного процесу дозволяє підвищити якість і ефективність процесу, зменшити витрати на підналаштування та електроенергію.

Під час виконання кваліфікаційної роботи розроблена функціональна схема автоматизованої системи управління системою кондиціювання повітря.

Особлива увага приділяється охороні праці та безпеці при роботі в приміщенні з пожежною небезпекою та розрахунок систем пожежогасіння.

Ключові слова: кондиціонування, центральне кондиціювання, температура, вологість.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Загальні відомості про системи кондиціонування.....	9
1.2 Будова та режими роботи центральної системи кондиціонування.....	9
1.3 Технічні характеристики системи центрального кондиціонування.....	10
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	16
2.1 Вибір та обґрунтування контрольованої змінної процесу.....	16
2.2 Вибір і обґрунтування обладнання для АСУ.....	17
2.2.1 Вибір вологомірів.....	18
2.2.2 Вибір електроприводу заслінки зовнішнього повітря.....	18
2.2.3 Вибір електроприводу заслінки припливного та рециркуляційного повітря.....	19
3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	21
3.1 Система автоматичного регулювання температури повітря.....	21
3.2. Автоматична система контролю вологості.....	30
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	39
5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	51
5.1 Вибір контролера.....	51
5.2 Розрахунок регулюючого органу та приводу.....	57
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...61	
6.1 Визначення параметрів зовнішнього повітря та оптимальних мікрокліматичних умов.....	62
6.2 Розрахунок на основі надлишкового відчутного тепла.....	63
6.3 Розрахунок на основі надлишку вологи.....	65
6.4 Розрахунок на основі надлишкового загального тепла.....	66
6.5 Визначення категорії приміщення за пожежною небезпекою та розрахунок систем пожежогасіння.....	66
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71

ВСТУП

Серед технічних систем будівлі ми можемо виділити такі як: систему вентиляції, систему опалення (або систему комбінованого опалення та вентиляції) і систему кондиціонування повітря (СКВ). Повітряне опалення в поєднанні з вентиляцією створює в жилих приміщеннях цілком задовільний мікроклімат а також забезпечує сприятливий повітряний режим. СКС є системою вищого порядку (з більшими можливостями). Основна перевага полягає в тому, що СКВ, крім виконання завдань вентиляції та обігріву, також дозволяє створити сприятливий мікроклімат (комфортний рівень температури) у спекотну літню пору року за рахунок використання фреонового чиллера.

Таким чином, обробка повітря в СКВ може включати його охолодження, нагрівання, зволоження або осушення, очищення (фільтрацію, іонізацію та ін.), а система дозволяє підтримувати заданий режим повітря в приміщенні незалежно від рівня і коливань метеорологічних параметри зовнішнього повітря (атмосфери), а також змінні надходження тепла і вологості в приміщення.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про центральні системи кондиціонування

Центральні системи кондиціонування повітря, які найбільш широко застосовуються в комфортному та технологічному кондиціонуванні, є неавтономними системами кондиціонування повітря, що забезпечують зовнішнє живлення холодом (подача холодної води або незамерзаючих рідин), теплом (подача гарячої води або пари) і електроенергії для приводу вентиляторів, насосів, запірно-регулюючих пристроїв повітряних і рідинних комунікацій тощо.

Системи центрального кондиціонування використовують для обслуговування кількох кімнат або одного великого простору. Іноді кілька центральних систем кондиціонування обслуговують один великий простір (театральний зал, критий стадіон, виробничий цех тощо).

Сучасні системи центрального кондиціонування виготовляються в секційному виконанні і складаються з уніфікованих стандартних секцій (тривимірних модулів), які призначені для регулювання, змішування, нагріву, охолодження, очищення, осушення, зволоження та руху повітря.

1.2 Будова та режими роботи центральної системи кондиціонування

Центральна система кондиціонування складається з окремих стандартних секцій, які герметично з'єднані між собою. Корпус кондиціонера складається з каркаса з алюмінієвих профілів, до якого кріпляться постійні та знімні (для доступу до обладнання) панелі.

Панелі складаються із зовнішнього та внутрішнього оцинкованих листів, між якими встановлено теплоізоляційний ущільнювач з мінеральної вати.

Для полегшення доступу до інсталяційних блоків з боку обслуговування передбачені оглядові дверцята, що відкриваються, або знімні панелі.

В основу технологічної схеми покладено вимоги до параметрів кондиційованого повітря, тому набір секцій може бути самим різним.

Розташування секцій може здійснюватися в два етапи або з урахуванням рельєфу приміщень, в яких встановлена система кондиціонування.

На додаток до стандартних макетів за замовчуванням, можна створити власний унікальний макет системи кондиціонування повітря.

Розміри секцій однакові і зазвичай визначаються витратою і швидкістю повітря, що обробляється в системі кондиціонування. Основні секції, які використовуються при проектуванні системи кондиціонування, включають: секцію вентилятора, охолодження, нагрівання, зволоження, фільтрацію, зниження шуму та рекуперацію тепла.

Вибір того чи іншого планування (технологічної лінії очищення повітря) залежить від багатьох факторів, насамперед від призначення та виду використання приміщень, конструктивних особливостей будівлі, а також санітарно-гігієнічних, будівельно-монтажних аспектів, а також як архітектурні, експлуатаційні та економічні вимоги.

1.3 Технічні характеристики системи центрального кондиціонування

У цьому проекті розглядається центральна система кондиціонування повітря CDC318 від Wesper. Він складається з (рис. 1.1):

- 1 – заслінка витяжного повітря;
- 2 – перевідний клапан;
- 3 – заслінка припливного повітря;
- 4 – секція витяжного вентилятора;
- 5 – секція першого повітрянагрівача;
- 6 – зона зволожувача;

- 7 – секція повітроохолоджувача;
- 8 – секція другого підігрівача повітря;
- 9 – Секція припливного вентилятора.

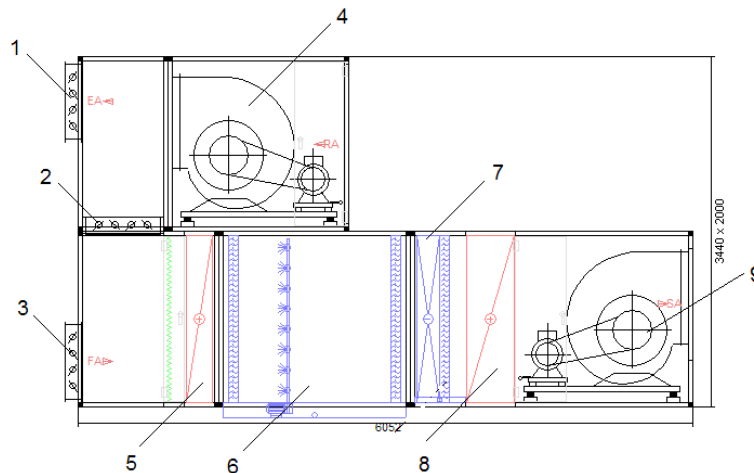


Рисунок 1.1 Центральне кондиціонування повітря CDC318

секція витяжного вентилятора

Витрата витяжного повітря, м³/год _____ 25000;

тиск, що розвивається, Па _____ 544;

Потужність електродвигуна, кВт _____ 7,5;

Частота обертання, об/хв _____ 1455.

Перший опалювальний теплообмінник

Перша опалювальна секція використовує водонагрівач.

Конструктивно перший повітронагрівач, як і повітроохолоджувач, складається з мідних трубок з алюмінієвим оребренням.

Стандартно колектори оснащені додатковими різьбовими трубами для відведення води та вентиляції.

Збірні труби виведені назовні. Кінці подаючих і зворотних розподільних труб також забезпечені різьбою.

Корпус теплообмінника має спеціальні транспортувальні кронштейни, що полегшують демонтаж і транспортування.

Оребрення труб повітронагрівача складаються з листового металу з кроком 1,6 мм.

Тип опалення _____ Водяне;

Температура всмоктуваного повітря, °C -18;

Температура повітря на виході, °C _____ +31,1;

Температура води на вході, °C _____ +80;

Температура води на виході, °C _____ +60;

Витрата теплоносія, л/год _____ 20468.

відносна вологість на вході, % _____ 90;

відносна вологість на виході, % _____ 2;

Теплова потужність, кВт _____ 476.

зрошувальна камера

Зволоження повітря в центральній системі кондиціонування відбувається в зоні розпилювального зволоження водою (камера форсунок) або в зоні парового зволоження.

Зрошувальна камера складається з корпусу, в якому встановлені трубні гребінки, піддон і насос.

У соплової камері відбувається адіабатичне зволоження повітря циркулюючою водою, що надходить з піддона. Повітря вступає в безпосередній контакт з поверхнею крапель води, розпилених соплами. При розбризкуванні вода перетворюється на щільний туман із дрібних крапельок, через які протікає повітря та поглинає водяну пару.

Продуктивність форсунок залежить від діаметра вихідного отвору, тиску і температури води перед форсункою. Монтаж форсунок в перерізі соплової камери здійснюється на трубних гребінках, до яких вода подається з відстійника через циркуляційний насос. Розпилювальні форсунки призначені для зменшення забруднення відкладеннями.

Піддон служить резервуаром для води і забезпечує безперебійну роботу насоса. Піддон оснащений переливом з поплавковим клапаном для зливу зворотної води та входом води для заповнення випареної води.

Циркуляційний насос розташований біля ванни на кронштейні. На всмоктувальній трубі насоса є сітчастий фільтр.

Конструкція соплової камери доповнена двома краплевідловлювачами, які запобігають потраплянню крапель води в наступні секції центральної системи кондиціонування.

Один виконує роль сепаратора на виході з секції, другий служить направляючим для балансування потоку повітря на вході. Ці сепаратори є вискоєфективними пристроями. Сепаратори виготовлені з пластикових профілів і мають опорну конструкцію з нержавіючої сталі.

Через захоплення води з повітрям у процесі зволоження необхідно компенсувати втрати води.

Подача води регулюється поплавцем, розташованим на лінії подачі, а циркуляція випускається ручним кульовим краном, розташованим на стороні опалення насоса.

Корпус секції зволоження виготовлений з нержавіючої сталі, яка повністю не піддається корозії, має вікно для контролю та підсвічування внутрішнього об'єму.

Ефективність зволоження в такій секції становить близько 90%.

Тип зволоження _____Форсунки;

Температура всмоктуваного повітря, °C _____+31,1;

Температура повітря на виході, °C _____+15;

відносна вологість на вході, % _____2;

відносна вологість на виході, % _____66;

Витрата води, л/год _____12821;

Температура води, °C _____+15;

Витрата конденсату, л/год _____195.1.

зона охолодження повітря

Секція охолодження являє собою водяний теплообмінник - повітроохолоджувач з мідних труб (4 ряди) з алюмінієвим оребренням. В якості холодоагенту (робочого середовища) використовується вода з чиллера

(холодильника). Колектори виготовлені з оцинкованої сталеві труби. Вхідний і вихідний патрубків розподільника мають зовнішню різьбу. Стандартно колектори оснащені додатковими патрубками для відведення холодоагенту та видалення повітря.

Колектори прокладаються поза секцією. Повітроохолоджувач має корпус із оцинкованої сталі. Корпус оснащений спеціальними транспортними кронштейнами, які полегшують розбирання та транспортування.

Труби повітроохолоджувача оребрені пластинчастими ребрами, що забезпечує високу тепловіддачу при низькому аеродинамічному опорі теплообмінника.

Стандартно в охолоджувальній частині встановлений піддон для конденсату з нержавіючої сталі, який оснащений дренажною трубою, що виходить назовні, до якої підключається переливний сифон, так званий переливний сифон. Гідрозатвор.

Водо-повітряні охолоджувачі оснащені антифризними термостатами.

За холодильною частиною центральної системи кондиціонування встановлені ефективні сепаратори (каплевідловлювачі).

Тип охолодження _____ Водяне;

Температура всмоктуваного повітря, ° _____ +35;

Температура повітря на виході, ° _____ +17,1;

Температура води на вході, °C _____ +6;

Температура води на виході, °C _____ +12;

Витрата теплоносія, л/год _____ 36459;

відносна вологість повітря на вході, % _____ 50;

відносна вологість на виході, % _____ 99;

Холодильна потужність, кВт _____ 254,4.

теплообмінник вторинного опалення

У другій секції нагрівання використовується електронагрівач.

Електронагрівач виконаний у вигляді прямокутного паралелепіпеда з ТЕНами, встановленими в корпусі у вигляді ребристих ТЕНів. Електричний

нагрівач підключається до джерела живлення 3/380 В/50 Гц. Така конструкція дозволяє легко витягти обігрівач із секції для огляду та ремонту (попередньо необхідно зняти панель). Нагрівальні елементи встановлені вертикально, а контакти виведені на панель підключення на бічній стінці корпусу нагрівача. Кожен елемент підключається до панелі підключення окремо, але для покрокового регулювання вони підключаються блоками по три. Обігрівач має запобіжний термостат, який обмежує надмірне підвищення температури в системі та відключає нагрівачі у разі втрати повітря.

Тип опалення _____ електричний;

Температура всмоктуваного повітря, °C __+15;

Температура повітря на виході, °C _____+20;

відносна вологість на вході, % _____ 66;

відносна вологість на виході, % _____ 48;

Теплова потужність, кВт _____ 36.

секція витяжного вентилятора

Витрата припливного повітря, м3/год _____ 25000;

тиск, що розвивається, Па _____ 877;

Потужність електродвигуна, кВт _____ 11;

Частота обертання, об/хв _____ 1460.

Характеристики центральної системи кондиціонування були розраховані за допомогою програми WinClim.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір та обґрунтування контрольованих змінних процесу

Підтримання постійної температури припливного повітря

Регулювання температури припливного повітря (контроль температури повітря в воздуховоде) використовується, коли в приміщення подається нагріте повітря з постійною температурою. Датчик температури знаходиться в припливному повітропроводі.

контроль кімнатної температури

Регулювання кімнатної температури (постійна кімнатна температура, контроль температури витяжного повітря) використовується для підтримки постійної кімнатної температури. Регулювання температури приміщення також використовується при зміні температури повітря внаслідок протягів, нагріву обладнання і т. д. Температура припливного повітря змінюється в залежності від необхідності обігріву або охолодження приміщення. Додатковий датчик температури розташований в припливному повітропроводі і регулює мінімальну і максимальну температуру припливного повітря, щоб в приміщення не потрапляло недоохолоджене або перегріте повітря. Основний датчик розташовується в кімнаті або у витяжному повітропроводі (якщо потрібно визначити середню температуру в кількох кімнатах).

захист від морозу

Датчик антифризу в основному використовується для запобігання замерзання теплоносія в водонагрівачі. Якщо утворюється лід, мідні труби в обігрівачі можуть лопнути, що може призвести до пошкодження через витік води. Розташування датчика температури особливо важливо, оскільки... Він повинен розташовуватися в найнижчій температурній зоні обігрівача.

компенсація зовнішньої температури

У деяких випадках необхідно, щоб зміна зовнішньої температури викликала певну зміну заданої температури головного контролера. Це означає,

що коли зовнішня температура перевищує певне значення, задану температуру необхідно поступово підвищувати.

У цьому випадку датчик, який контролює температуру зовнішнього повітря, підключається до основного контролера через окремий блок. Таку компенсацію можна проводити як влітку, так і взимку. Літня компенсація означає, що коли зовнішня температура піднімається вище певного значення, задане значення температури також підвищується. Зимової компенсація означає, що задане значення температури підвищується, коли зовнішня температура падає нижче певного значення.

вологість

Оптимальна відносна вологість становить від 30% до 60%. Верхня межа вологості – близько 70%.

2.2 Вибір і обґрунтування обладнання для АСУ

Для вимірювання температури припливного повітря використовується каналний датчик температури TG-K3/Pt1000 фірми Regin:

Діапазон вимірювань _____ -30...+70 °C;

Похибка вимірювання _____ $\pm 0,5$ °C;

Інертність _____ 38 с.

Для вимірювання температури повітря в приміщенні використовується кімнатний датчик температури TG-R5/Pt1000 фірми Regin:

Діапазон вимірювань _____ 0...+50 °C;

Похибка вимірювання _____ $\pm 0,5$ °C;

Для вимірювання температури зовнішнього повітря (атмосфери) використовується датчик зовнішньої температури TG-R6/Pt1000 фірми Regin:

Діапазон вимірювань _____ -40...+60 °C;

Похибка вимірювання _____ $\pm 0,5$ °C;

Для вимірювання температури води на виході з теплообмінника використовується затискний датчик температури TG-A1/Pt1000 фірми Regin:

Діапазон вимірювань _____ -40...+60 °C;

Похибка вимірювання _____ $\pm 0,5$ °C;

2.2.1 Вибір вологомірів

Для вимірювання вологості в приміщенні використовується кімнатний датчик вологості HRT250 фірми Regin:

Діапазон вимірювання _____ 0...100 %;

Похибка вимірювання _____ $\pm 2\%$ (при вологості повітря 0...90%);

$\pm 3\%$ (при вологості повітря 90...100%);

2.2.2 Вибір електроприводу заслінки зовнішнього повітря

Електричні приводи POLAR BEAR® спеціально розроблені для використання з повітряними заслінками з такими функціями безпеки, як захист від замерзання та гарантоване повне закриття. При отриманні керуючого сигналу привід переводить заслінку в нормальне робоче положення, поступово натягуючи вбудовану пружину. У разі планового відключення електроенергії або аварійного відключення живлення приводу енергія пружини миттєво переводить заслінку в закрите положення. Компактність і універсальний адаптер з обмеженням кута надають приводу багатофункціональні властивості.

Технічні характеристики електроприводу DA2.F:

Крутний момент _____ 16 Н*м

Площа заслінки _____ 3 м²

Час рухової реакції _____ 90 с

Весна _____ 10 с

Робоча напруга _____ 24 В

Частота _____ 50 Гц

Споживана потужність в робочому положенні _____ 7 Вт
в кінцевих положеннях _____ 0,6 Вт
Робочий кут повороту _____ 90°
обмежений діапазон _____ 60°...90°
Вага _____ 2,9 кг
Сигнал керування _____ 0...10 В
Індикатор положення _____ механічний,

2.2.3 Вибір електроприводу переливної заслінки та заслінки рециркуляції

Електропривод DM1.1 від POLAR BEAR® використовується для управління заслінками рециркуляції та потоку.

Технічні характеристики електроприводу DM1.1:

Крутний момент _____ 16 Нм
Площа заслінки _____ 3 м²
Час відгуку _____ 80...110 с
Робоча напруга _____ 24 В
Частота _____ 50 Гц
Споживана потужність в робочому положенні _____ 4 Вт
в кінцевих положеннях _____ 0,6 Вт
Робочий кут повороту _____ 90°
обмежений діапазон _____ 5°...85°
Вага _____ 1,1 кг
Сигнал керування _____ 0...10 В
Показчик положення механічний, стрілочним
Кількість циклів спрацьовування _____ 60000
Рівень шуму _____ 45 дБ (А)
Ступінь захисту _____ II
Клас захисту _____ IP 44

Робоча температура _____ -20...+50°C

Відносна вологість навколишнього середовища 5...95 %

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Системи автоматичного регулювання температури повітря

На рисунку 3.1 наведені структурні схеми систем автоматичного регулювання температури повітря з теплообмінником (нагрівачем), характерних для систем кондиціонування. До об'єкта контролю в даному випадку відносяться кондиціоноване приміщення, повітропровід, повітронагрівач і регулююча арматура; до контролера - вимірювальні та керуючі елементи і виконавчий механізм.

Як видно зі схем, при установці перетворювача після теплообмінника (в контрольованому об'єкті) система управління замкнута, а при установці перетворювача перед теплообмінником (у зовнішньому повітрі) – відкрита, оскільки зміна температури в контрольованому об'єкті не викликає зміни положення елемента управління. З двома перетворювачами, один встановлений в контрольованому об'єкті, а інший у зовнішньому потоці повітря, керуючий вплив є алгебраїчною сумою впливів.

Основні системи автоматичного регулювання температури повітря, які використовуються в системах кондиціонування, наведені на рис. 3.2.

Розміщення перетворювача в повітропроводі забезпечує постійну температуру повітря, що надходить у приміщення, при цьому температура повітря не регулюється і її відхилення не можуть викликати зміни положення регулятора (рис. 3.2, а).

Регулятор, перетворювач якого знаходиться в кондиціонованому приміщенні, при відхиленні температури від заданого значення впливає на регулюючий клапан, що змінює кількість пари, що надходить у повітронагрівач (рис. 3.2, б).

Також можливе використання системи керування, що складається з двох теплообмінників – змішувача нагріву повітря та поверхневого охолоджувача, що працюють послідовно (поверхневий охолоджувач включається при повному закритті клапана, що регулює подачу теплоносія (рис. 3.2, в).)) –

релейне керування, коли в залежності від знака відхилення температури вмикається нагрівальний змійовик або поверхневий охолоджувач.

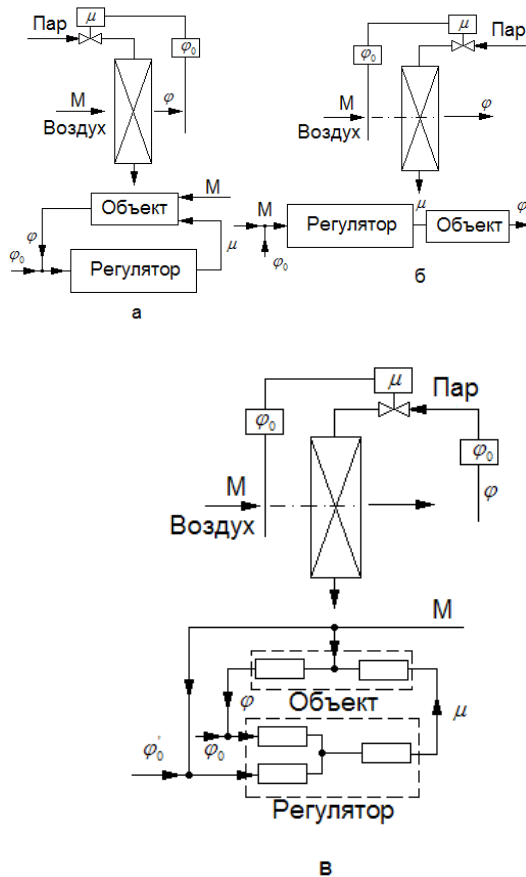


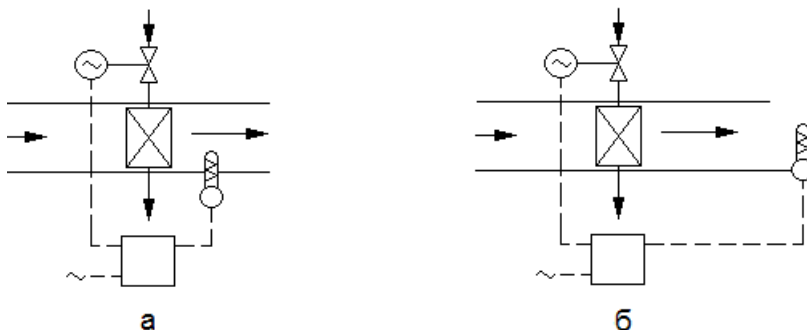
Рисунок 3.1 Функціональна та структурна схеми систем автоматичного регулювання температури повітря:

а – при установці передавача після нагрівача; б – при встановленні передавача перед нагрівачем; в – при наявності двох передавачів; φ - регульоване значення; φ_0' - значення установки; φ_0 - відхилення контрольованої величини від заданої; μ - регулятивні впливи; М – порушення навантаження.

У системі, що складається з теплообмінника, регулятора і регульованого клапана (рис. 3.2, г), регулювання здійснюється зміною співвідношення між кількістю повітря, що проходить через калорифер, і холодного повітря. Перевагою такої схеми є те, що невелика зміна положення рухомих клапанів негайно впливає на температуру припливного повітря, таким чином зменшуючи затримку системи регулювання.

Широко застосовуються системи автоматичного регулювання температури повітря, що складаються з регулятора з перетворювачем, нагрівача і повітроохолоджувача, двох регулюючих клапанів і повітряної заслінки (рис. 3.2, г). Температура повітря підтримується постійною шляхом регулювання співвідношення між нагрітим і охолодженим повітрям і сумішшю. Регулюючі клапани в системах опалення та охолодження відкриваються в залежності від знака відхилення температури повітря в повітропроводі.

У системі (рис. 3.2, д), що складається із змішувально-регулюючого клапана та реєстра підігріву повітря, приводи можуть працювати послідовно, тобто реєстр підігріву повітря вмикається, коли температура не може бути досягнута зміною температури подачі. і рециркуляційної повітряної суміші.



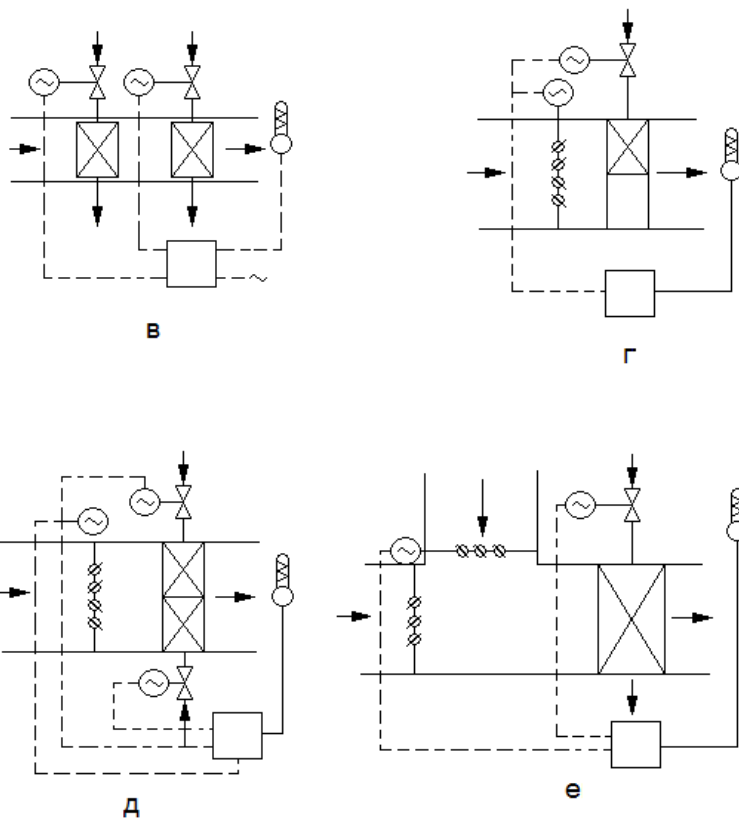


Рисунок 3.2 – Основні системи автоматичного регулювання температури повітря в системах кондиціонування:

а – з перетворювачем у повітропроводі; б – з перетворювачем у приміщенні; в – з нагрівачем і поверхневим охолоджувачем; г – з регульованим повітряним клапаном; д – з двома теплообмінниками і повітряним клапаном; е – зі змішувально-регулюючим повітряним клапаном.

На рис. 3.3 показані автоматичні системи регулювання температури повітря з одночасною зміною співвідношення зовнішнього і рециркуляційного потоку повітря і подальшим приготуванням суміші за допомогою теплообмінника. Зміна співвідношення потоку зовнішнього і рециркуляційного повітря здійснюється регулятором, чутливий елемент якого встановлений в потоці зовнішнього повітря. Наявність електромагнітного клапана забезпечує більш швидке охолодження повітря.

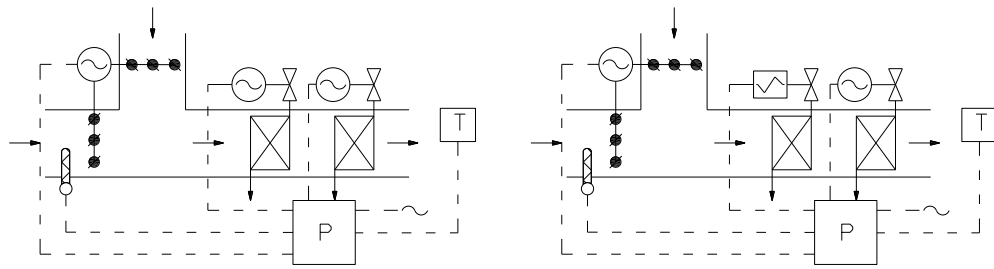


Рисунок 3.3 – Системи автоматичного регулювання температури з подальшим приготуванням суміші зовнішнього та циркуляційного повітря:

а – з моторними приводами; б – з електромагнітним клапаном подачі теплоносія.

Практично в усіх системах кондиціонування повітря в різних комбінаціях використовуються наступні схеми керування.

Регулювання температури повітря регулятором, перетворювач якого розташований безпосередньо в об'єкті, з великою ємнісною затримкою може призвести до значних перерегулювань через те, що регулятор може приймати крайні положення (особливо при релейному управлінні). Спеціальний обмежувач у повітропроводі забезпечує зміну температури припливного повітря в заданих межах (рис. 3.4).

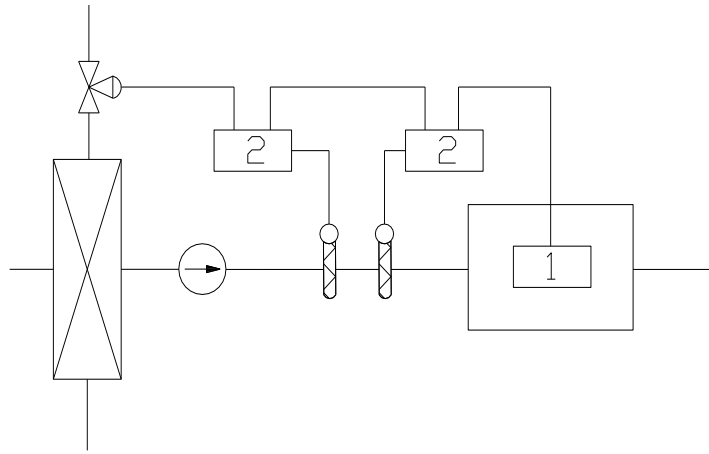


Рисунок 3.4 – Система автоматичного керування з обмеженнями мінімальної та максимальної температури повітря:

1 – регулятор кімнатної температури; 2 – обмежувач регулятора.

Можливі два типи обмежень: мінімальна температура і максимальна температура. Якщо температура повітря в контрольованому об'єкті при максимальному обмеженні нижче значення, встановленого на регуляторі-обмежувачі, сигнал керування в лінії елемента керування визначається тільки відхиленням температури повітря в контрольованому об'єкті від заданого значення. об'єкта (керуючий сигнал проходить через обмежувач без змін). Якщо температура повітря досягає значення, встановленого регулятором-обмежувачем, останній за допомогою свого керуючого елемента (наприклад, соплово-заслінного пристрою) відповідним чином змінює тиск у магістралі регулятора, внаслідок чого потік теплоносія, що надходить в нагрівач зменшується. Температура повітря в контрольованому об'єкті падає і обмежувач не працює.

При досягненні мінімального ліміту і температури повітря до значення, встановленого на ліміт-регуляторі, цей контролер збільшує подачу теплоносія і подальший контроль здійснюється головним контролером. Головний контролер і граничний контролер з'єднані послідовно в лінії керування стисненим повітрям. На малюнку 3.4 показано мінімальне та максимальне обмеження з використанням двох лімітних контролерів.

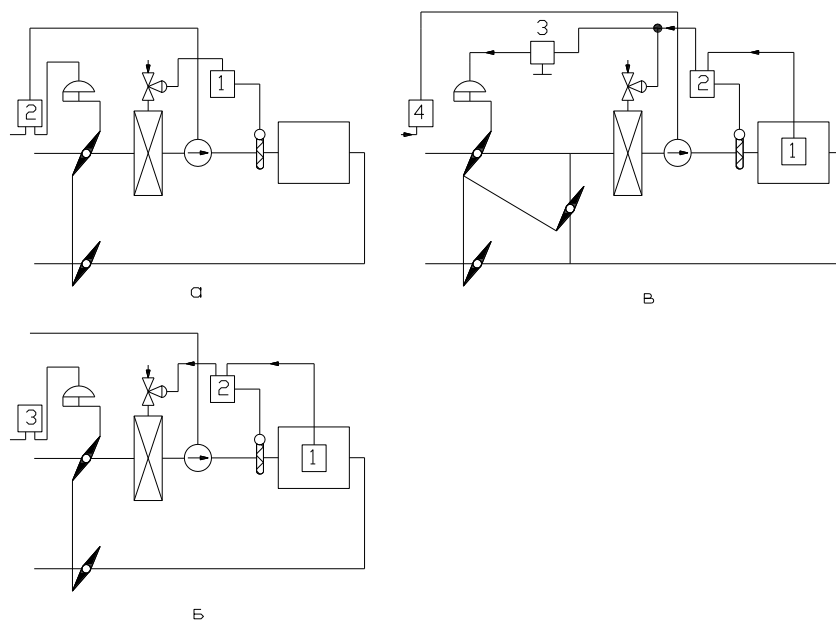


Рисунок 3.5 – Системи автоматичного регулювання температури припливного повітря:

а – система керування: 1 – терморегулятор у повітропроводі; 2 – електропневматичне реле блокування роботи вентилятора та повітряних клапанів; б – регулювання температури з мінімальним обмеженням: 1 – регулятор кімнатної температури; 2 – регулятор-обмежувач; 3 – електропневматичне реле; в – регулювання температури повітря з мінімальним обмеженням і зміною співвідношення витрат зовнішнього та рециркуляційного повітря: 1 – регулятор температури; 2 – регулятор-обмежувач; 3 – регулятор положення повітряної заслінки; 4 – електропневматичне реле.

За допомогою обмежувача також можливі максимальні та мінімальні обмеження. У цьому випадку регулятором керує тільки ліміт-регулятор, а роль регулятора температури повітря в об'єкті контролю зводиться до зміни встановленого лімітом значення при відхиленні температури повітря від заданого значення в об'єкті контролю. .

Розглянемо деякі типові схеми автоматичного регулювання температури припливного повітря (рис. 3.5).

Регулятор, перетворювач якого розташований в живильному каналі, регулює ступінь відкриття регулюючого клапана в нагрівачі.

Система регулювання температури повітря в установці відкрита і зміни теплового навантаження не впливають на ступінь відкриття регулюючого клапана (рис. 3.5, а).

Регулятор температури об'єкта управляє регулюючою арматурою повітронагрівача, а регулятор, перетворювач якого розташований в повітропроводі, є мінімальним обмежувачем і включається при зниженні температури повітря нижче заданого мінімуму (рис. 3.5, б).

Система регулювання температури повітря в системі з мінімальним обмеженням і регулюванням співвідношення зовнішнього і рециркуляційного повітряних витрат (рис. 3.5, в) характеризується наявністю регульованих повітряних клапанів. Елементи управління повітронагрівачем і повітряні клапани з'єднані послідовно. Робота повітряних клапанів і повітронагрівачів визначається ефективністю системи і необхідною кількістю свіжого повітря.

У системі регулювання температури витяжного повітря з мінімальним обмеженням температури припливного повітря (рис. 3.6, а) температура припливного і рециркуляційного повітря регулюється окремим регулятором, перетворювач якого розташований у припливному протока. Щоб запобігти замерзанню, через нагрівач проходить попередньо нагріте повітря. Послідовна робота регулятора температури витяжного повітря і регулятора мінімального обмежувача забезпечує регулювання по середній температурі об'єкта, але в цьому випадку затримка збільшується.

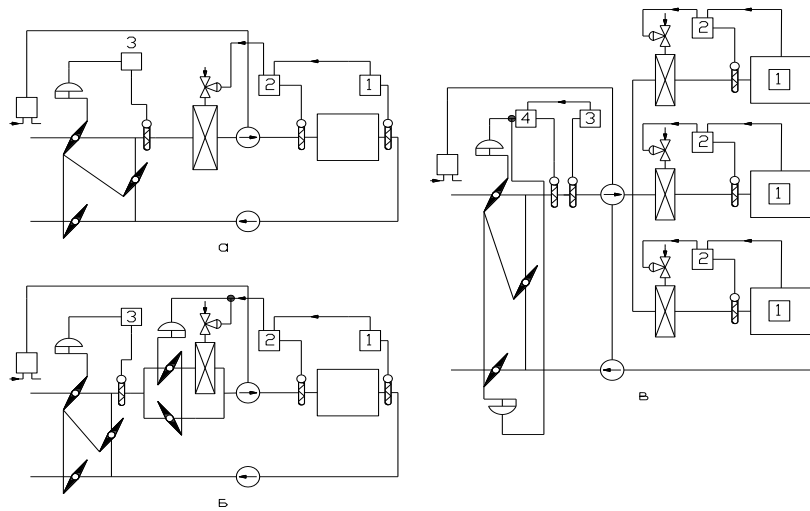


Рисунок 3.6 – Системи автоматичного регулювання температури припливного повітря:

а – регулювання температури витяжного повітря; б – регулювання температури витяжного повітря за наявності байпасу; в – багатозонне регулювання з мінімальним обмеженням температури припливного повітря: 1-4 – регулятори.

У системі регулювання температури повітря (рис. 3.6, б) значну інерційність теплообмінників (нагрівачів) можна зменшити за допомогою клапана, що змінює співвідношення нагрітого і ненагрітого повітря. При закритті регулюючого клапана нагрівача дросельна заслінка перед ним закривається і перепускний канал (байпас) відкривається.

У багатозонній системі регулювання температури з мінімальним обмеженням температури припливного повітря (рис. 4.6, в) все припливне повітря попередньо підігрівається шляхом змішування зовнішнього і рециркуляційного повітря за допомогою двох регуляторів з різними завданнями (літній і зимовий режим). Температура повітря регулюється незалежно в кожній системі за допомогою власного повітряонагрівача, при цьому температура припливного повітря обмежена лише мінімально.

3.2 Системи автоматичного контролю вологості

За способом регулювання відносної вологості в приміщенні системи поділяються на три види:

Системи з непрямым контролем відносної вологості; при цьому відносна вологість в об'єкті стабілізується або змінюється за заданою програмою в залежності від температури точки роси після зрошувальної камери і температури в самому об'єкті;

Системи з прямим контролем відносної вологості за допомогою регулятора вологості, перетворювач якого встановлений в самій системі. Контролер безпосередньо впливає на подачу відповідних джерел енергії, щоб підтримувати значення вологості в контрольованому об'єкті.

На рис. 3.7 показана система непрямого контролю відносної вологості в двох режимах (літній і зимовий).

Регулювання температури повітря здійснюється регулятором 1, перетворювач якого розташований в системі (рис. 3.7, а). Мінімальна межа температури припливного повітря встановлюється регулятором обмежувача 2. Температура суміші зовнішнього та рециркуляційного повітря

контролюється контролерами 5 і 6, а температура повітря після зрошувальної камери регулюється автономною схемою управління на два режими (літо і зима, з включенням регуляторів 3 і 4 по граничній схемі).

На рис. 3.7, б показана схема регулювання температури води в зрошувальній камері двома теплообмінниками - нагрівачем і охолоджувачем. Схема дозволяє інтенсивно впливати на температуру точки роси і в деяких випадках обійтися без попереднього підігріву або охолодження повітря. Випарник холодильної машини можна використовувати як охолоджувач води. Для підвищення точності роботи виконавчі механізми повинні бути обладнані позиціонерами. Робочі схеми елементів схеми наведено на рис. 3.7, в.

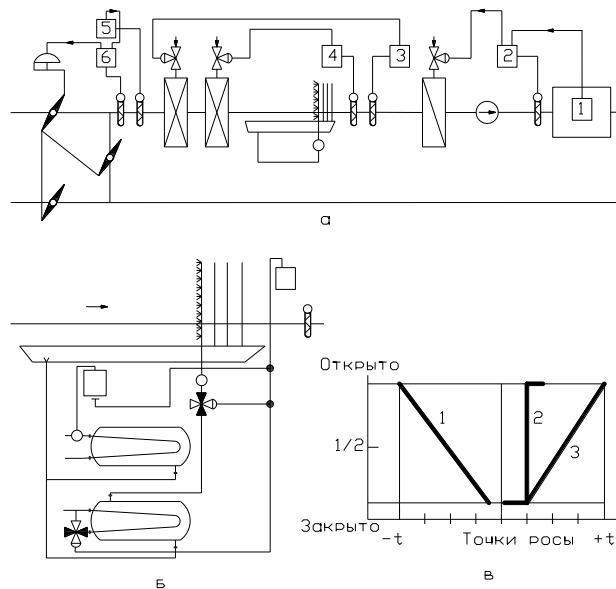
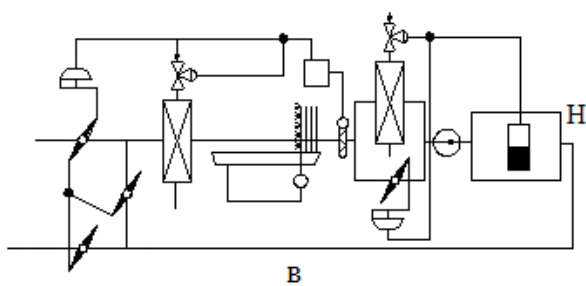
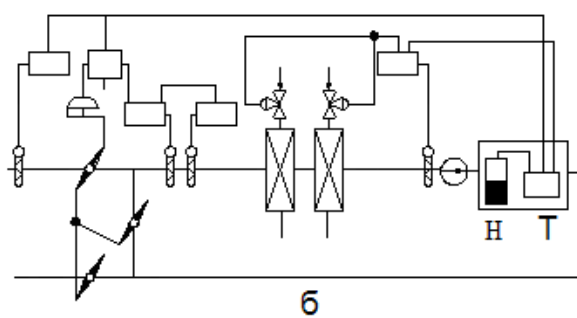
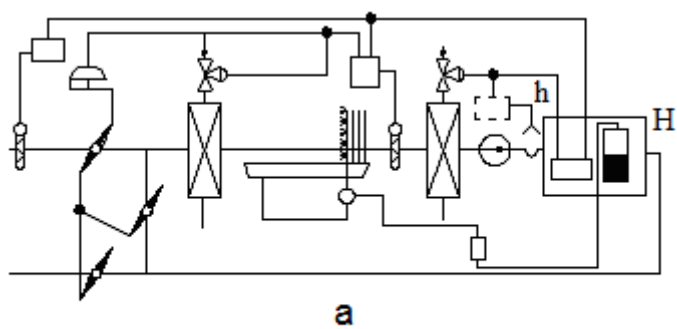


Рисунок 3.7 – Система непрямого контролю відносної вологості в двох режимах:

а – функціональна схема; б – контур регулювання температури води; в – функціональні схеми елементів схеми: 1 – вентиль гарячої води; 2 – Компресор; 3 – Вентиль холодної води.

Діаграма з так званою ковзною температурою точки роси наведена на рис. 3.8. Схема передбачає два режими роботи - літній і зимовий. У зимовому режимі температура і вологість в об'єкті постійні, в літньому режимі температура точки роси і температура в об'єкті можуть змінюватися в заданих межах, але вологість в об'єкті постійна. Відсутність кулера в контурі виключає нормальну роботу при дуже високій зовнішній температурі і високій відносній вологості.

Регулятор, перетворювач якого встановлений в потоці зовнішнього повітря, змінює задані значення температури точки роси і температури повітря в системі влітку. Змішувальний і регулюючий повітряний клапан і нагрівач попереднього підігріву з'єднані послідовно. Регулятор температури повітря в системі регулює подачу теплоносія в обігрівач. Також можливе використання регулятора мінімальної межі (на рис. 3.8, а показано пунктиром).



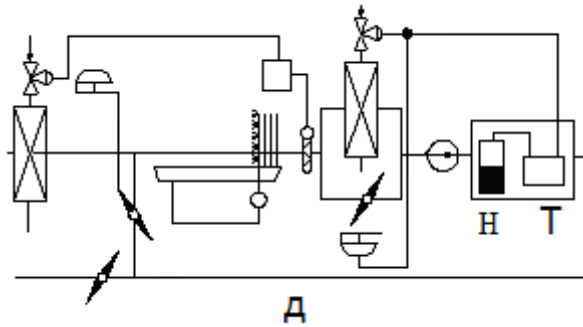


Рисунок 3.8. – Схеми з ковзною температурою точки роси:

а – з камерою поливу; б – схема без зрошувальної камери; в – схема з регулятором вологості в системі; г – схеми роботи елементів установки: 1 – клапан припливного повітря; 2 – підігрівач; 3 – байпас; е – схема з попереднім підігрівом зовнішнього повітря.

Гігростат в цій схемі є мінімальним обмежувачем вологості повітря в об'єкті. Якщо відносна вологість підвищується порівняно з заданим значенням, гігростат через проміжне реле включає циркуляційний насос води в камері поливу.

Розсувний режим без зрошувальної камери забезпечується установкою, схема якої наведена на рис. 3.8, б. Взимку забезпечується постійна температура в приміщенні з мінімальним обмеженням температури припливного повітря. Влітку температура повітря змінюється залежно від температури зовнішнього повітря; регулятор температури зовнішнього повітря автоматично передає завдання на контролер об'єкта. Регулятор вологості повітря в системі служить максимальним обмежувачем. Якщо вологість повітря в об'єкті перевищує задане значення, нагрівання повітря в повітронагрівачі збільшується.

При прямому регулюванні вологості повітря регулятор вологості, розташований безпосередньо в будівлі, впливає на елементи управління елементів установки, які впливають на значення відносної вологості повітря в будівлі. Схема такої установки наведена на рис. 3,8, в. При цьому температура

і відносна вологість повітря підтримуються постійними. Схеми роботи елементів наведені на рис. 3,8, ж.

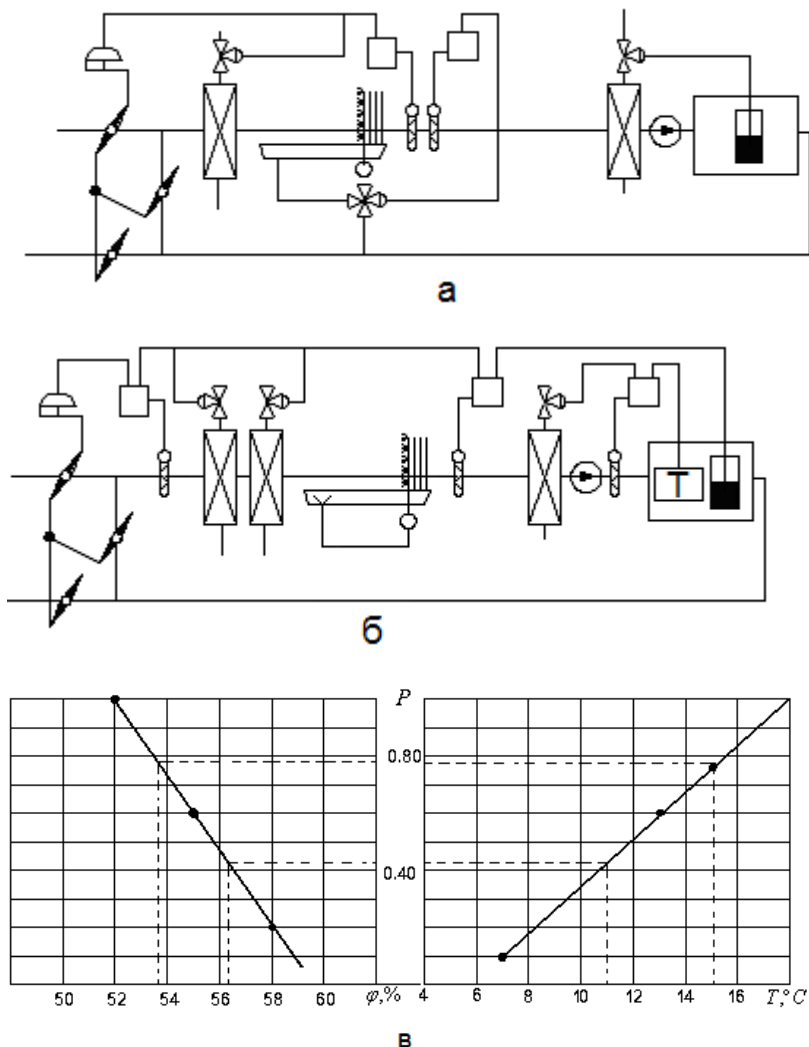


Рисунок 3.9. – Системи контролю вологості:

а – прямий контроль вологості шляхом підмішування холодної води в зрошувальній камері; б – каскадна схема регулювання вологості повітря; в – залежність заданого значення температури точки роси від зміни відносної вологості в об'єкті.

Інша схема прямого контролю вологості повітря наведена на рис. 3.8, д. Терморегулятор в системі вмикає повітрянагрівач, коли температура повітря падає нижче заданого значення, таким чином запобігаючи проникненню вологого повітря.

У районах з м'якими кліматичними умовами реєстр попереднього підігріву можна розмістити в зовнішньому повітропроводі.

На діаграмі на рис. 3.9а зниження температури точки роси досягається шляхом додавання холодної води в зрошувальну камеру. Регулятор відносної вологості керує клапаном повітронагрівача для другого нагріву повітря. На рис. 4.9, б регулятор вологості в об'єкті безперервно змінює налаштування регулятора температури точки роси і таким чином «стежить» за відотною вологістю в об'єкті. Контролер температури точки роси контролює роботу попереднього підігрівача повітря (або охолоджувача) і повітряних змішувальних клапанів.

Терморегулятор в об'єкті змінює задане значення на обмежувачі, який керує роботою нагрівача другого порядку.

Функціональні схеми цієї системи наведено на рис. 3.9, в.

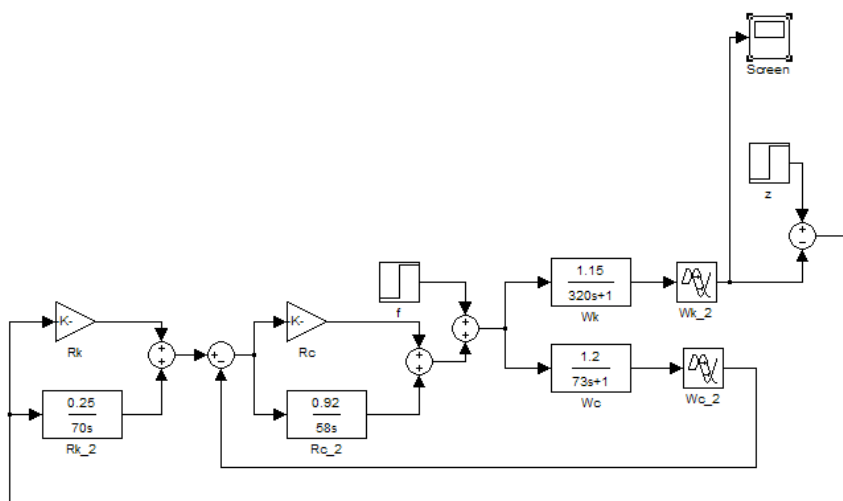


Рисунок 3.10 – Блок-схема каскаду температури повітря в приміщенні ASR

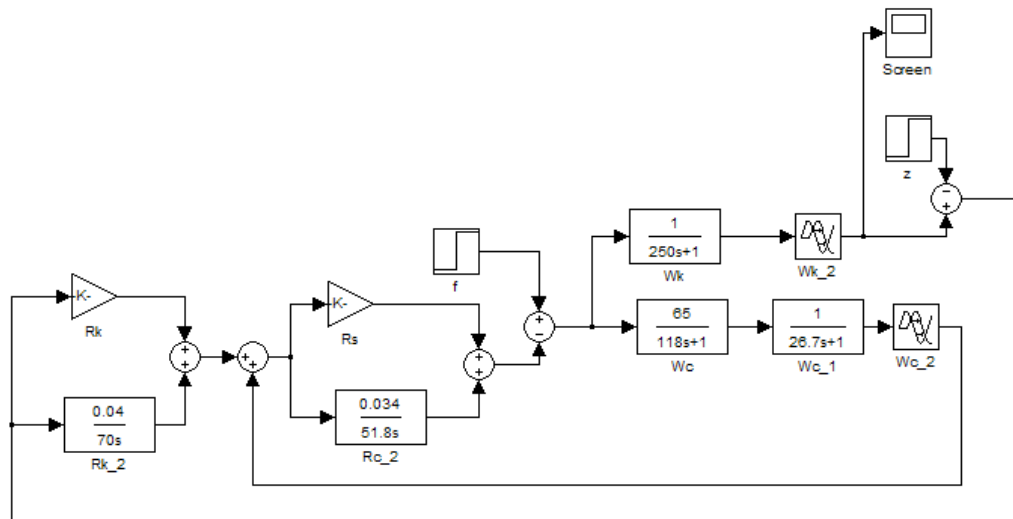


Рисунок 3.11 – Структурна схема каскадної АСР вологості приміщення

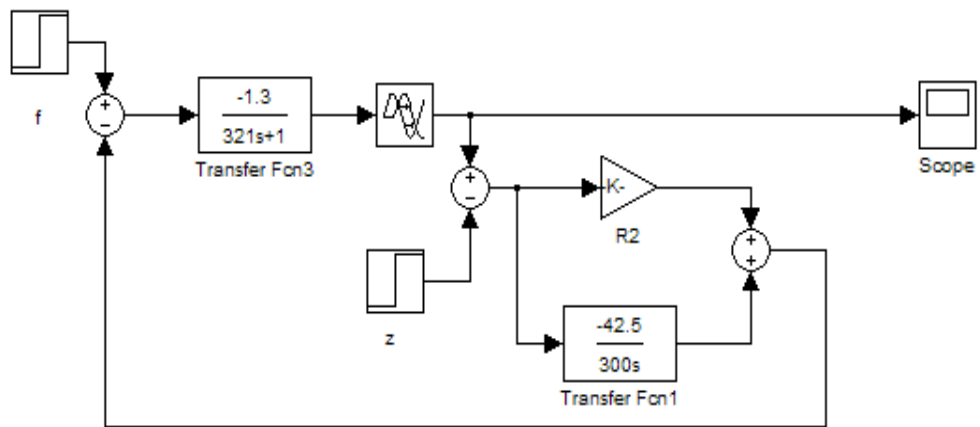


Рисунок 3.12 – Структурна схема одноконтурного АСР температури
ВОДИ

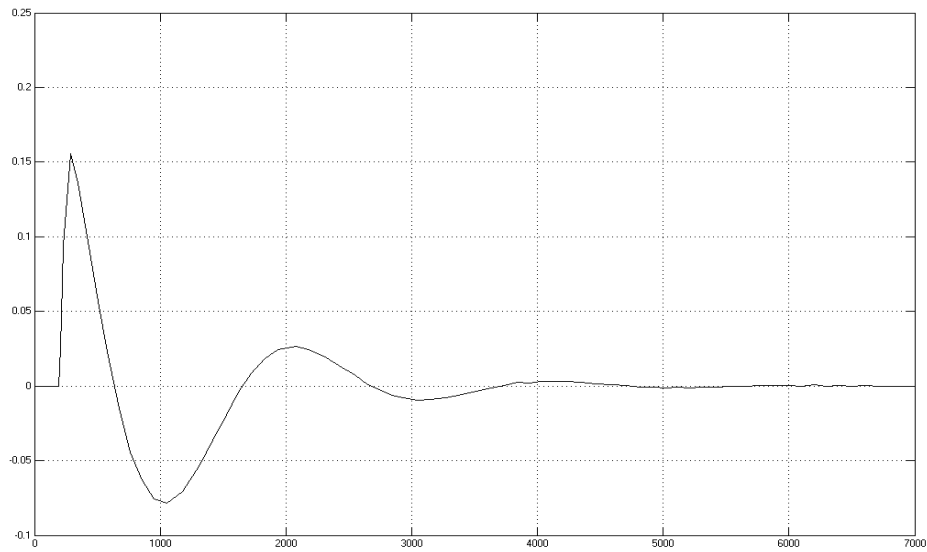


Рисунок 3.13 – Перехідний процес регулювання по каналу «Зміна температури зовнішнього повітря – зміна температури приміщення».

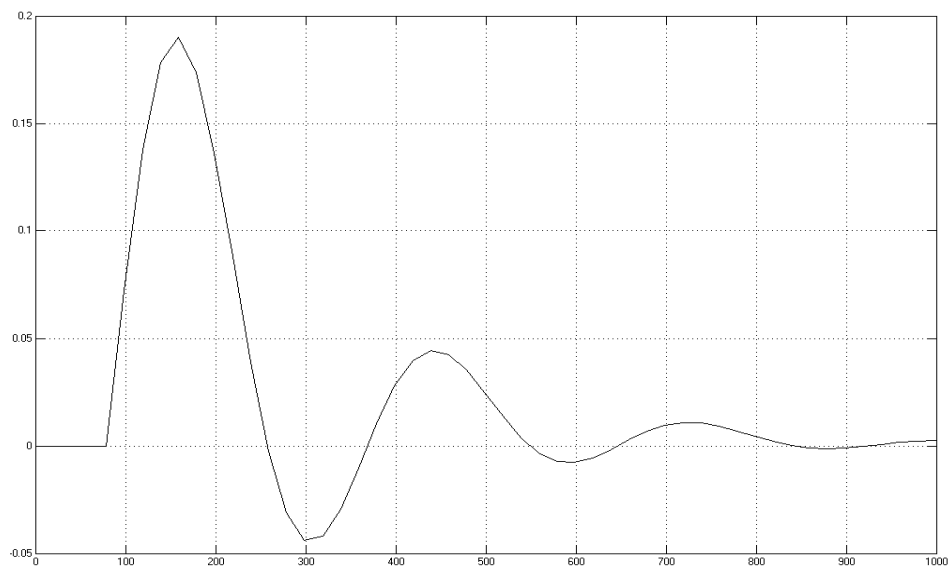


Рисунок 3.13 – Перехідний процес керування через канал «Зміна зовнішньої вологості – Зміна вологості в приміщенні».

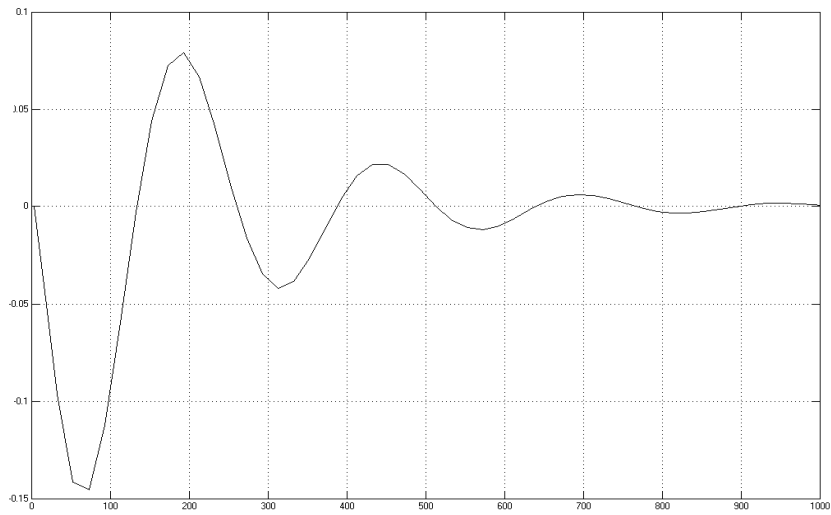


Рисунок 3.14 – Перехідний процес керування по каналу «зміна коефіцієнта холодної оборотної води – зміна температури води».

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Існує два методи теоретичного дослідження теплообмінників у системах кондиціонування повітря: як об'єктів із розподіленими параметрами та як об'єктів із зосередженими параметрами.

Повітронагрівачі та поверхневі повітроохолоджувачі є об'єктами керування з розподіленими параметрами, динаміка яких описується рівняннями в частинних похідних. Тільки такий метод математичного дослідження дозволяє аналітично визначити величину затримки цих об'єктів керування і може вважатися точним.

Другий метод математичного дослідження – апроксимація цих технологічних пристроїв моделями зосереджених параметрів – є наближенням, але в багатьох випадках достатнім для попередніх інженерних розрахунків.

Теплообмінники, які використовуються в системах кондиціонування, діляться на дві групи:

- у разі прямого контакту повітря з теплом або теплоносієм (камери зрошення, парові зволожувачі та місцеві додаткові зволожувачі);

- з передачею тепла через стінку, що відокремлює повітря від тепла або теплоносія (сухі або поверхневі агрегати, трубчасті та реброві повітроохолоджувачі та повітронагрівачі).

Система кондиціонування – це комбінація теплообмінників різного призначення.

При складанні рівняння теплового балансу кондиціонованого приміщення як об'єкта автоматичного керування можна умовно вважати, що діє тільки регулятор вологості, а вологість повітря в даний момент часу постійна ($d = \text{const}$). При розрахунку матеріального балансу, з іншого боку, необхідно припустити, що працює тільки терморегулятор і температура постійна в момент $t = \text{const}$.

На зимовий і літній періоди тепловологісні баланси приміщень повинні складатися за розрахунковими параметрами зовнішнього повітря.

При складанні рівняння теплового балансу передбачається, що повітря добре перемішується по всьому об'єму, і в рівняння вводяться середні значення вхідних змінних. Тому передаточні функції можна отримати, припускаючи, що технологічні пристрої систем кондиціонування є об'єктами керування із зосередженими параметрами.

У системах кондиціонування повітря відхилення температури повітря від заданих значень, що виникають внаслідок певних збурень, необхідно усунути за відносно короткий час. При повільних змінах теплових навантажень (при зміні температури зовнішнього повітря, сонячному нагріванні огорож будівель тощо) системи керування зазвичай встигають відреагувати на відхилення параметрів повітря від заданих значень, тому аналіз питань регулювання повітря систем кондиціонування з повільними змінами теплових навантажень істотного практичного значення не має.

Найскладнішим з динамічної точки зору об'єктом управління в системі кондиціонування є зрошувальна камера. У процесі регулювання температура точки роси після зрошувальної камери може змінюватися через зміни наступних регуляторних впливів:

Ентальпія води, що розпилюється через форсунки;

співвідношення об'ємів свіжого і циркулюючого повітря (зміни ентальпії пароповітряної суміші);

Теплова потужність першого опалювального повітрянагрівача. При окремих збуреннях вздовж цих каналів криві прискорення відрізняються, а отже, відрізняються і параметри зрошувальної камери як об'єкта автоматичного керування.

Тому динаміку зрошувальної камери неможливо описати одним диференціальним рівнянням, і при визначенні настроювальних параметрів регулятора необхідно враховувати особливості зрошувальної камери як об'єкта зі змінною структурою. У першому наближенні параметри об'єкта повинні бути усереднені по всіх каналах регулюючих впливів. Система

регулювання температури точки роси після зрошувальної камери наведена на рис.

Перехідні функції зрошувальної камери досить добре апроксимуються диференціальними рівняннями другого порядку

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = kx. \quad (4.1)$$

Передаюча функція зрошувальної камери, яка визначається встановленням теплового та вологобалансу в стаціонарному та перехідному режимах,

$$W(p) = k \frac{1 + T_1 p}{1 + T_2 p}. \quad (4.2)$$

Ця передавальна функція дозволяє уявити зрошувальну камеру як інтегрально-диференціальний елемент.

Розв'язок диференціального рівняння, що відповідає передатній функції, має вигляд

$$y(t) = k \left(1 - \frac{T_2 - T_1}{T_2} e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (4.3)$$

Теоретично крива прискорення 1, створена за допомогою цього рівняння, показана на рис. , а крива 2 відповідає аперіодичному зв'язку з передавальною функцією

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}. \quad (4.4)$$

Як видно з отриманих кривих, наявність похідної в чисельнику передатної функції відображається у різкій зміні параметра в момент часу $t = 0$, тоді обидві криві практично рівні.

Спринклерні камери для систем кондиціонування повітря з високою тепловою продуктивністю можуть бути апроксимовані аперіодичним з'єднанням і з'єднанням затримки з передатною функцією з точністю, достатньою для практичних розрахунків

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} e^{-p\tau}. \quad (4,5)$$

Розглянемо передатні функції зрошувальної камери в різних режимах роботи.

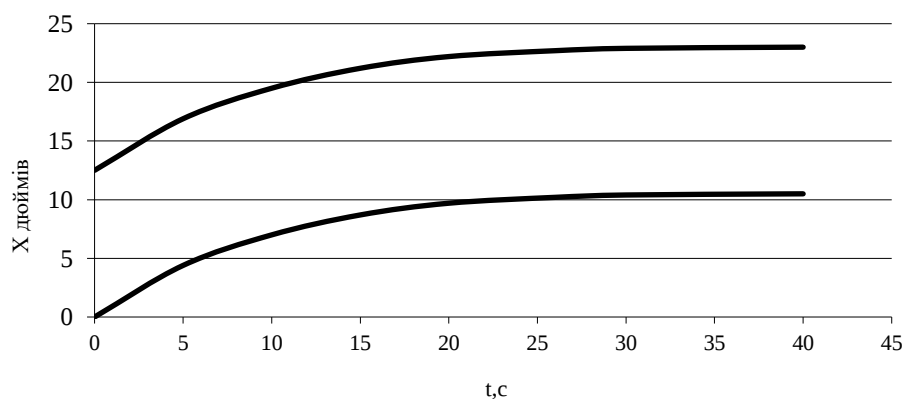


Рис. 4.1 Криві прискорення для зрошувальної камери.

Коли ентальпія повітря зменшується

$$W_1(p) = \frac{\Delta\theta_{c_2}(p)}{\Delta\beta(p)} = k_\beta \frac{T_0 p + 1}{T_1 p + 1}, \quad (3,6)$$

$$\text{Де } T_0 = \frac{M_w}{G_w}; \quad T_1 = \frac{T_0}{(1-\beta) + \beta \Pi_1 \frac{G_B c_B}{G_w c_w}}; \quad k_\beta = \frac{(\theta_{w_k} - \theta_{w_x}) c_B^n}{(1-\beta) + \beta \Pi_1 \frac{G_B c_B}{G_w c_w}}; \quad (4,7-4,8)$$

B - Коефіцієнт зрошення;

G_B - Витрата обробленого повітря, кг/с;

G_w - Витрата розпилюваної води, кг/с;

c_w - питома теплоємність води, Дж/(кг*К);

$\theta_{w_H}, \theta_{w_K}$ - початкова і кінцева температура води, °C;

M_w - маса води в баку камери, кг;

θ_{c_2} - температура повітря за сухим термометром після камери °C;

$$\Pi_1 = \Pi \left[\frac{R - B_1 M_1 (\theta_{c_1} - \theta_p)}{1 + M_1 R} - \frac{B_1 g (\theta_{c_1} - \theta_2)}{R} \right], \text{ тут (4.9)}$$

R - безрозмірний коефіцієнт, що враховує початкові параметри повітря і води. $R = 1.8 + 0.0022(\theta_p + \theta_{w_H}) + 0.00077(\theta_p^2 + \theta_p \theta_{w_H} + \theta_{w_H}^2); (4.10)$

$$M_1 - \text{температурний критерій. } M_1 = \frac{\theta_p - \theta_{w_K}}{\theta_{c_1} - \theta_p}; (4.11)$$

θ_p - температура точки роси, °C;

c - постійний коефіцієнт;

g, n - показники степеня;

β - співвідношення мас або об'ємів оборотної та розпиленої води;

θ_{w_x} - температура холодної води, що надходить °C;

$B_1 = 0.022 + 0.00077(\theta_p + 2\theta_{w_H}); \quad \theta_{c_1}$ - температура повітря за сухим термометром до зрошувальної камери, °C.

Характерною особливістю постійних часу T_1 і підсилення k_β є їх залежність від співвідношення мас або об'ємів холодної і оборотної води і

початкових параметрів повітря і води. При $\beta \rightarrow 0$ розмірах $T_1 \rightarrow T_0$ і в такому рішенні зрошувальну камеру можна розглядати як підсилювальну ланку. $\beta \rightarrow 1$ T_1 зростає і перехідний процес наближається до аперіодичності.

При зміні витрати повітря (кількісний контроль)

$$W_2(p) = \frac{\Delta \theta_{c_2}(p)}{\Delta G_B(p)} = k_c \frac{1 + T_2 p}{1 + T_1 p}, \quad (4.12)$$

Однак значення постійних часу в цьому випадку інші.

В адіабатичних процесах

$$W_1(p) = \frac{\Delta \theta_{c_2}(p)}{\Delta \theta_{c_1}(p)} = \frac{k_1}{T_1 p + 1}. \quad (4.13)$$

Якщо збурюючим впливом є зміна вологості повітря перед камерою, а вихідним параметром є зміна температури повітря після камери поливу,

$$W_2(p) = \frac{\Delta \theta_{c_2}(p)}{\Delta d_1(p)} = \frac{k_3}{T_1 p + 1}. \quad (4.14)$$

Дослідження динамічних властивостей перетворювачів температури при роботі в повітряних потоках різної швидкості показали, що вони можуть бути описані передатною функцією аперіодичного зв'язку.

$$W_d = \frac{1}{T_d p + 1}. \quad (4.15)$$

Постійна часу T_d є функцією швидкості повітряного потоку, v що оточує конвертор, і зазвичай визначається з виразу

$$T_d = T_\infty + Av^{-n}, \quad (4.16)$$

де T_∞ постійна часу при $v \rightarrow \infty$;

A є постійними значеннями залежно від конструкції та теплофізичних властивостей передавача.ⁿ

Динаміка електричних перетворювачів вологості описується передаточною функцією виду

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} - \frac{\beta\varphi_0}{\tau_\beta p + 1}, \quad (4.17)$$

де β – початковий опір передавача

задана вологість;

φ_0 - вихідна вологість;

τ_β - Постійна часу вимірювального перетворювача.

Передавальна функція об'єктів керування нагрівальними ділянками в будь-якій точці зони керування може бути приведена до виду

$$W(p) = \frac{k_{p.o.} k_\kappa e^{-\tau p}}{Tp + 1}, \quad (4.18)$$

де $k_{p.o.}$ – прибуток регулятора (регулятор – безінерційний зв'язок);

k_κ - Посилення секції опалювальної камери;

P - комплексна змінна;

τ - Затримка (періоди опалення разом з вимірюванням).

датчик температури);

T - Постійна часу (періоди опалення разом з вимірюванням).

датчик температури).

Температуру припливного повітря можна регулювати, змінюючи витрату гарячої води, що проходить через нагрівач; потік повітря через

калорифер з подвійним повітряним клапаном; температура води (шляхом додавання холодної води із зовнішнього джерела до гарячої).

Ділянку нагріву можна описати передатною функцією форми

$$W_{\kappa}(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{T_{\kappa}p + 1} \quad (4,19)$$

Подвійний повітряний і регулюючий клапани на магістралі теплоносія можна розглядати приблизно як безінерційні елементи системи управління.

$$W_{p.o.}(p) = k_{p.o.} \quad (4,20)$$

Коефіцієнти посилення клапанів розраховуються на основі їх робочих характеристик потоку з урахуванням змінного тиску клапана та характеристик з'єднання.

Таким чином, передавальна функція об'єкта регулювання є

$$W_0(p) = W_{\kappa}(p)W_t(p)W_p(p) = \frac{k_{\kappa}k_t k_{p.o.}}{(T_{\kappa}p + 1)(T_t p + 1)} \quad (4,21)$$

Загалом коефіцієнт підсилення k_0 , час затримки τ_0 та постійна часу T_0 величинами, які змінюються в межах діапазону керування. Тому неможливо досягти однакової якості контролю у всьому діапазоні регулювання без вжиття спеціальних заходів.

значення τ_0 і $\frac{\tau_0}{T_0}$ в певному діапазоні регулювання незначно, наприклад, спеціально підібраним сполученням приводу з регулятором можна лінеаризувати статичну характеристику і досягти майже однакової якості регулювання у всьому діапазоні регулювання. Якщо значення суттєво

змінюються τ_0 , $\frac{\tau_0}{T_0}$ то можна сказати, що якість «не гірше», ніж зазначено в контрольному діапазоні.

Враховуючи вищесказане, передатні функції по основних каналах керування мають вигляд:

«Зовнішня вологість – вологість на виході з системи кондиціонування»

$$W(p) = \frac{65e^{-14p}}{(118p+1)(26.7p+1)};$$

"Вологість на вулиці - вологість у приміщенні"

$$W(p) = \frac{e^{-80p}}{250p+1};$$

«Температура зовнішнього повітря - температура на виході з системи кондиціонування»

$$W(p) = \frac{1.2e^{-20p}}{73p+1};$$

"температура зовнішнього повітря - температура повітря всередині"

$$W(p) = \frac{1.15e^{-200p}}{320p+1};$$

«Відношення холодної та оборотної води до температури води»

$$W9p) = -\frac{1.3e^{-7p}}{321p+1}.$$

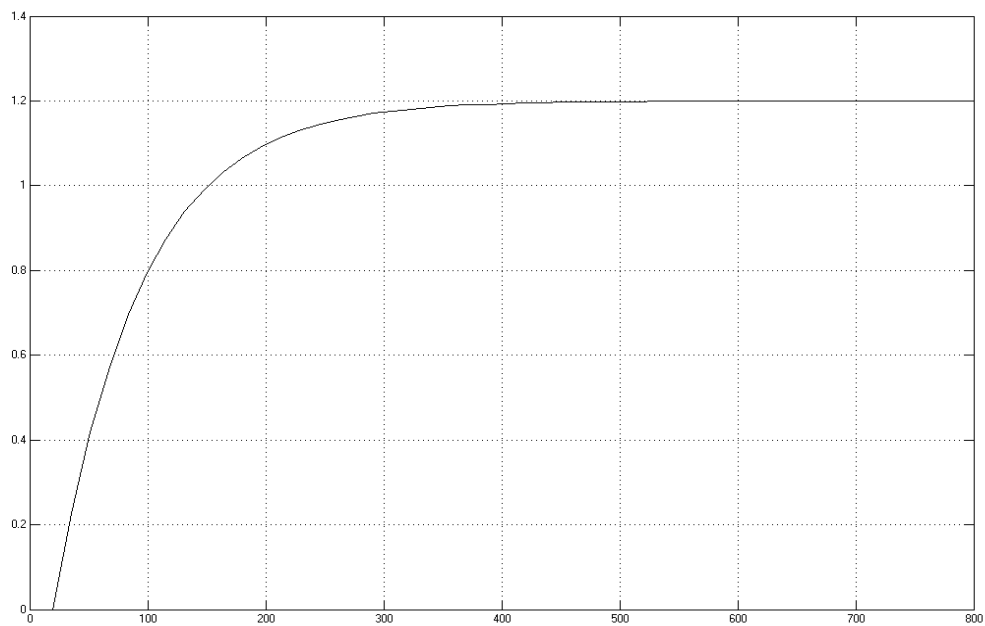


Рисунок 4.2 – Крива розгону малоінерційного об'єкта (температура повітря на виході з системи кондиціонування)

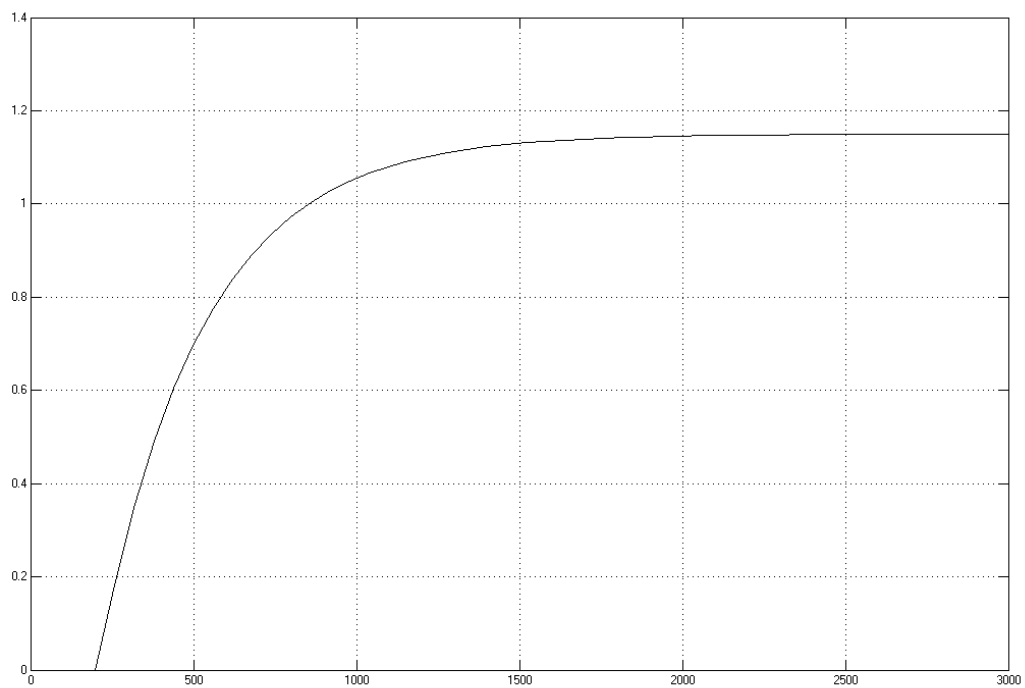


Рисунок 4.3 - Крива прискорення інерційного об'єкта (кімнатна температура)

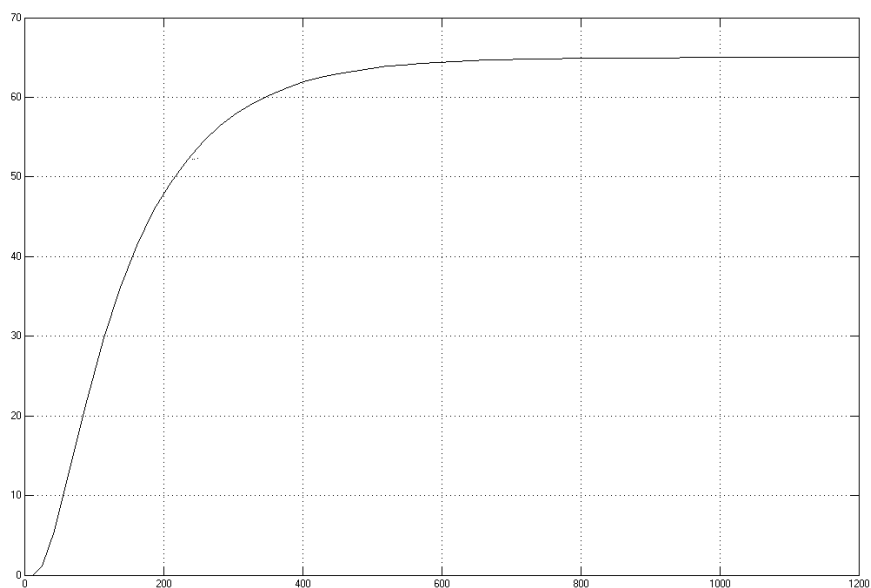


Рисунок 4.4. - Крива розгону малоінерційного об'єкта (вологість на виході з системи кондиціонування)

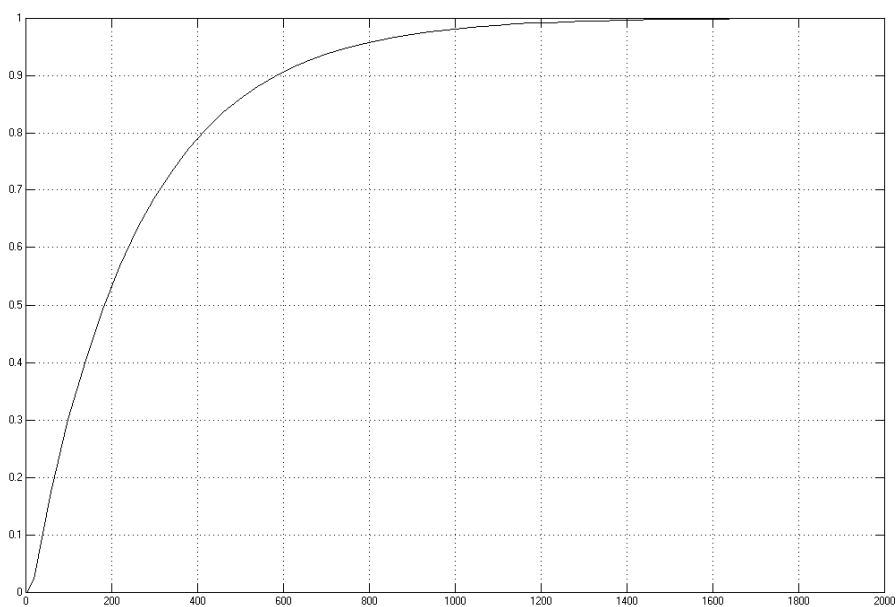


Рисунок 4.5 - Крива прискорення інерційного об'єкта (вологість приміщення)

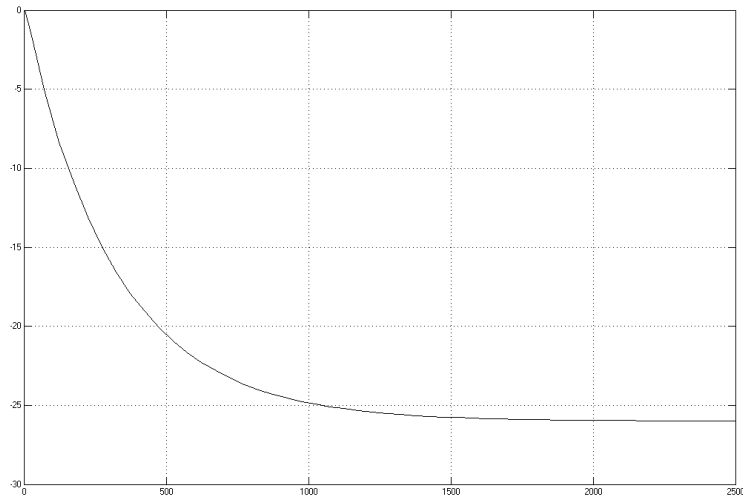


Рисунок 4.6 - Крива прискорення інерційного об'єкта (зміна відношення холодної до оборотної води).

5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Обґрунтування вибору контролера

CORRIGO C30 - це новий контролер, простий у використанні та експлуатації. Призначений для використання в центральних системах управління кондиціонуванням. Контролер має дисплей і вбудований індикатор сигналізації на передній панелі; контролер управляється кнопками.

Контролер призначений для монтажу на DIN-рейку в шафі або на стійці.

Необхідні функції вибираються за допомогою текстових меню або значень кодів конфігурації меню, залежно від типу використовуваної програми.

Контролер має річний годинник і автоматичне перемикання літо/зима.

Система меню дозволяє працювати користувачам з різними рівнями доступу, відображає налаштування та дозволяє їх змінювати в залежності від рівня доступу. Це робиться для того, щоб запобігти несанкціонованому маніпулюванню контролером, тобто на нижчому рівні користувача неможливо виконати неправильні налаштування під час відображення поточного стану, значень параметрів, аварійних сигналів тощо. У нормальному режимі роботи, без необхідності натискання будь-яких кнопок, сам дисплей показує найважливіші індикації, такі як встановлені/поточні значення, логічне керування виходами, час/дата тощо.

Аналогові входи AI

Контролер C30 має шість аналогових входів AI3...AI8. Входи AI3, AI4 призначені для використання датчиків вологості з вихідним сигналом 0...10В. Входи AI5...AI8 призначені для використання датчиків температури типу Pt1000.

AI3 датчик вологості HRT

Канальний передавач вологості AI4 HRT250

Датчик зовнішньої температури AI5 TG-R6/Pt1000

Датчик температури припливного повітря AI6 TG-K3/Pt1000

Датчик кімнатної температури AI7 TG-R5/Pt1000

Датчик температури зворотної лінії AI8 TG-A1/Pt1000.

Цифрові входи DI

Контролер C30 має десять цифрових входів AI1...AI2 і DI1...DI8 для активації відповідних функцій і моніторингу аварій.

Ці входи слід підключати лише до потенційно вільно замикаючих реле.

AI1 Контроль роботи вентилятора припливного повітря або реле тиску.

AI2 Контроль роботи витяжного вентилятора або реле тиску.

DI1 Моніторинг забруднення фільтра.

DI2 Керування циркуляційним насосом контуру опалення.

DI3 Аварійний вхід холодильної машини (машин).

DI4 Контроль обертання роторного теплообмінника.

Перевірка обмерзання теплообмінника.

Пожежна сигналізація DI5.

DI6 Зовнішня сигналізація. Зовнішні перемикачі не встановлені в положення «Авто».

Кнопка DI7 або таймер затримки вимкнення (на одну швидкість) /

Затримка відключення двошвидкісних систем вентиляції.

Кнопка DI8 або таймер для затримки вимкнення на низькій швидкості (наприклад,

двошвидкісні системи).

аналогові виходи AO

Контролер C30 має три аналогових виходи AO1...AO3. Виходи мають сигнал 0...10 В постійного струму, 5 мА та стійкі до короткого замикання.

AO1 Y1 – охолодження, нагрівання або заслінка.

AO2 Y2 – опалення, пластинчастий теплообмінник, роторний теплообмінник, тепловий насос, охолодження або заслінка.

AO3 Y3 – Нагрівання або охолодження.

AO6 Зволоження/осушення.

Цифрові виходи DO

Контролер C30 має сім дискретних виходів DO1...DO7. Виходи мають сигнал 0...10 В постійного струму, 5 мА та стійкі до короткого замикання.

Керування вентилятором припливного повітря DO1.

Високошвидкісний вентилятор припливного повітря для двошвидкісних систем.

Керування витяжним вентилятором DO2.

Високошвидкісний витяжний вентилятор для двошвидкісних систем.

Управління циркуляційним насосом DO3.

Блокування електронагрівача.

DO4 Керування компресором 1 (охолодження DX).

Низька швидкість припливного вентилятора для двошвидкісних систем.

DO5 Керування компресором 2 (охолодження DX).

Низька швидкість витяжного вентилятора для двошвидкісних систем.

DO6 Контроль зовнішнього захисту від замерзання.

Активация протипожежної заслінки.

Аварійний вихід DO7.

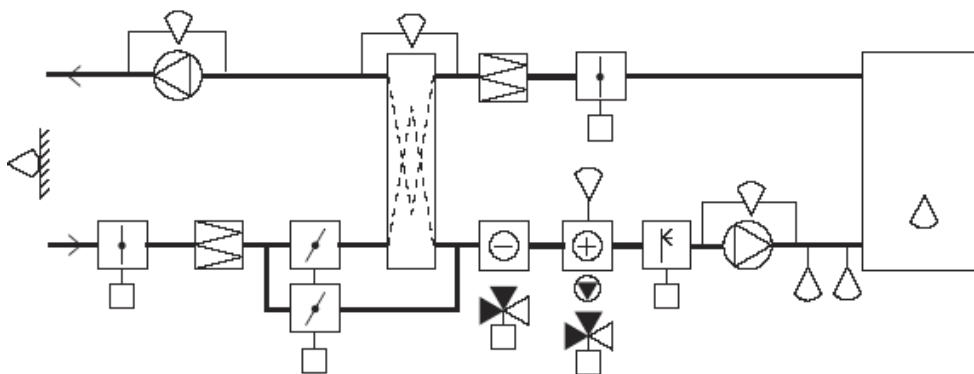
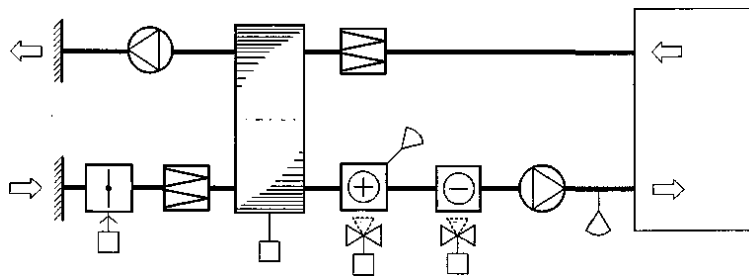


Рис.5.1 Приклад системи керування з контролером серії C30

Функції управління C30

Прикладний контроль температури повітря

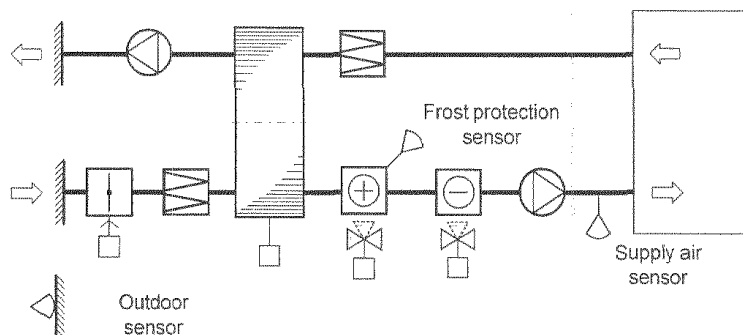
Датчик температури припливного повітря (AI3) контролює процес досягнення заданої температури.



Управління повітрям із зовнішньою температурною компенсацією

Датчик температури припливного повітря (AI3) контролює процес досягнення заданої температури. Уставка компенсується з урахуванням датчика зовнішньої температури (AI1). Параметри, встановлені в меню «Налаштування» в меню зовнішньої компенсації, стають доступними після вибору.

Зовнішню температурну компенсацію можна встановити за допомогою двох початкових і кінцевих положень, див. розділ «Налаштування».



Регулювання температури приміщення з каскадним регулюванням температури повітря

Датчик температури припливного повітря (AI3) контролює процес таким чином, щоб задане значення досягалось так само, як і контроль повітря.

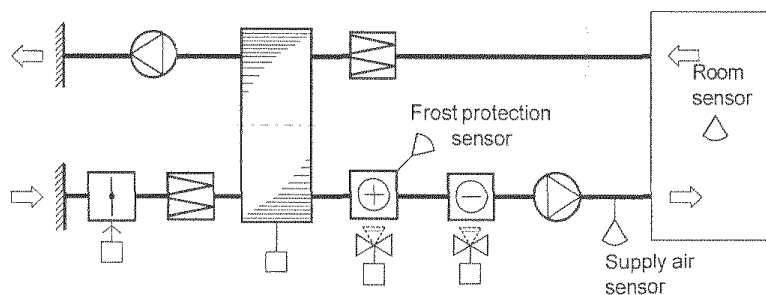
Датчик температури припливного повітря (AI3) контролює процес таким чином, щоб задане значення досягалось так само, як і при регулюванні припливного повітря. Задане значення температури припливного повітря визначається датчиком кімнатної температури (AI2), який збільшує задане

значення припливного повітря відповідно до встановлених параметрів, коли потрібне опалення, або знижує його, коли потрібно охолодження.

Коефіцієнт каскаду (наскільки потрібно змінити задане значення кімнатної температури (на градус)) встановлюється в «Налаштуваннях», див. відповідний вибір.

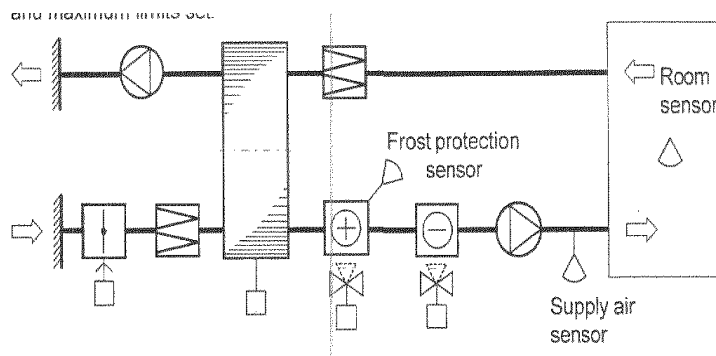
ПРИМІТКА: Каскадне керування – це PI-регулятор із регульованим часом І (заводське налаштування 10 хвилин) і працює з налаштуваннями між встановленими мінімальними та максимальними межами.

(Поточне налаштування кімнатної температури відображається в меню Cascade Factor.)



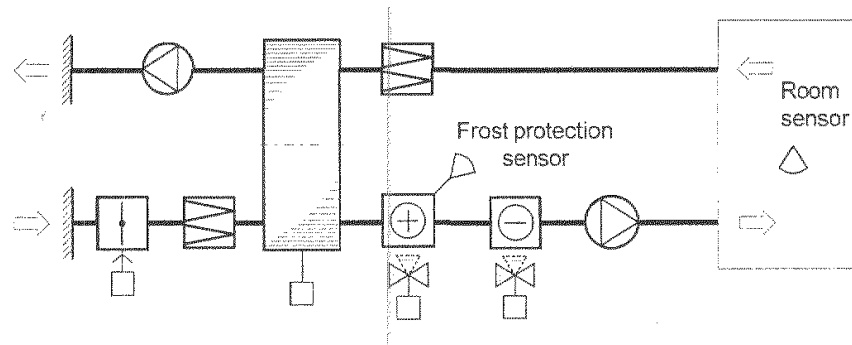
Контроль температури приміщення з мінімальним/максимальним обмеженням температури припливного повітря.

Датчик контролю кімнатної температури (AI2) контролює процес для досягнення заданих параметрів. Температура підтримується цим датчиком з мінімальним і максимальним обмеженням.



Контроль температури приміщення без датчика припливного повітря.

Датчик кімнатної температури (AI2) контролює процес для досягнення заданих значень.

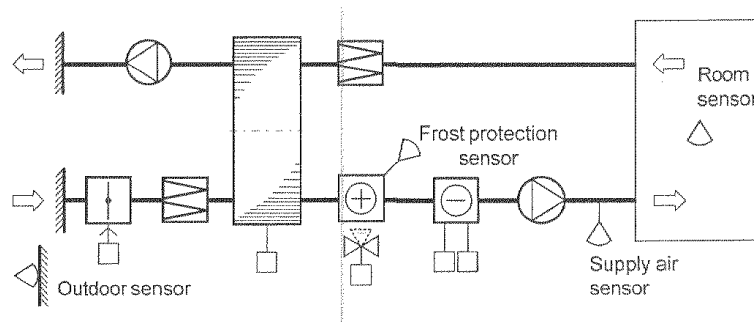


Контроль температури повітря із зовнішньою температурною компенсацією або контроль кімнатної температури з мінімальним/максимальним обмеженням. Перемикання в залежності від зовнішньої температури.

Датчик зовнішньої температури контролює перемикання між керуванням повітрям (зима) та керуванням приміщення (літо).

Датчик припливного повітря (AI3) контролює процес для досягнення заданих параметрів. Налаштування – зовнішня температура компенсується датчиком зовнішньої температури (AI1). Параметри задаються в меню «Налаштування».

Внутрішній датчик (AI2) контролює процес для досягнення заданих параметрів. Температуру можна обмежити макс./мін. Параметри задаються в меню «Налаштування».



Вибір регуляторного органу та виконавчого механізму

5.2 Розрахунок регулюючого органу та приводу

Необхідна потужність для підігріву припливного повітря в зимовий період становить 381 кВт; на охолодження влітку - 123 кВт. Різниця температур теплоносія становить 80...60 °С, температура теплоносія 7...12 °С. Витрата теплоносія становить:

$$Gm = \frac{Qm}{\Delta t * 1.163} = \frac{381}{(80 - 60) * 1.163} = 16,4 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Охолоджуюча рідина:

$$Gx = \frac{Qx}{\Delta t * 1.163} = \frac{123}{(12 - 7) * 1.163} = 21,2 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

В якості регулятора подачі теплоносія використовується триходовий кран типу NMTR виробництва Regin. Клапан вибирається з умови, щоб перепад тиску на ньому не перевищував 20 кПа. Вибір здійснюється за схемою на рис. 6.1.

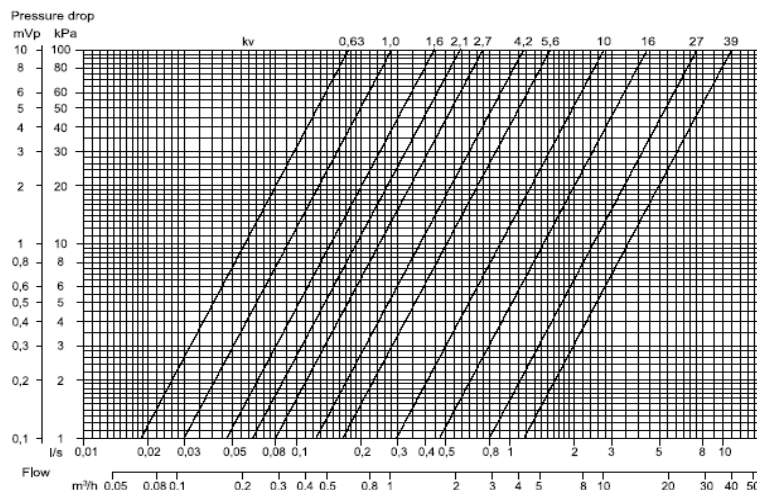


Рисунок 5.2 Схема вибору триходового клапана типу NMTR

Органом управління подачею теплоносія служить триходовий клапан типу BGTR фірми Regin. Клапан вибирається з умови, щоб перепад тиску на ньому не перевищував 20 кПа. Вибір здійснюється за схемою на рис. 5.2.

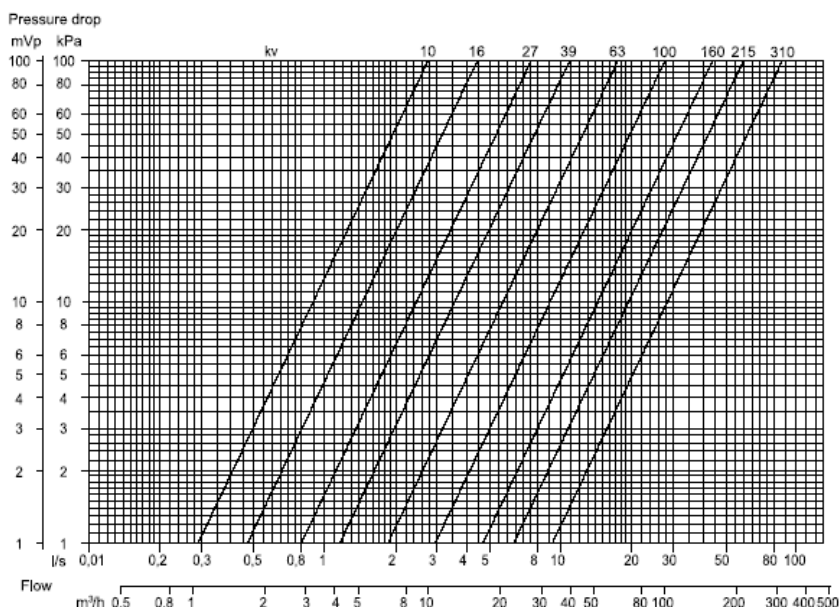


Рисунок 5.3. Схема вибору триходового клапана типу BGTR

На подачі теплоносія встановлено триходовий кран НМТР50-39 (рис. 5) номінальним діаметром DN=50мм і номінальною витратою Kv=39 м³/год. На подачі теплоносія встановлений триходовий кран БГТР65-63 (рис. 5.3) номінальним діаметром DN=65 мм і номінальною витратою Kv=63м³/год.

Як виконавчий механізм на клапані теплоносія використовується електропривод AQM24-1R (рис. 5.4) фірми Regin. Технічні характеристики електроприводу AQM24-1R:

Напруга живлення _____ 24 В.

Частота _____ 50 Гц.

Сигнал керування _____ 0...10 В.

Споживана потужність ____ 6 Вт.

Довжина стержня _____ 20 мм.

Час ходу штанги _____ 10 с/мм.

Дійсна сила _____ 500 Н.

Для приводу клапана теплоносія використовується електропривід AV24-MFT (рис. 8) фірми Belimo. Технічні характеристики електроприводу AV24-MFT:

Напруга живлення ____ 24 В.
Частота _____ 50 Гц.
Сигнал керування ____ 0...10 В.
Споживана потужність _ 6 Вт.
Довжина стержня _____ 50 мм.
Час ходу штока _____ 3 с/мм.
Фактична сила _____ 2000 Н.

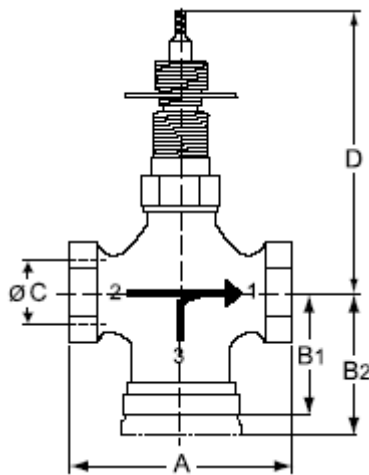


Рисунок 5.3 Клапан триходовий NMTR50-39

A=160 мм

B1=100 мм

B2=73 мм

C=G 2"

D=126 мм

Вага – 5,0 кг.

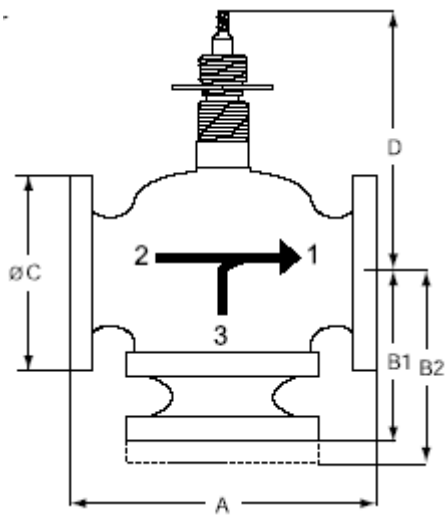


Рисунок 5.4 Клапан триходовий регулюючий BGTR65-63

A=260 мм, B1=170 мм, B2=190 мм, C=185 мм, D=200 мм, Вага – 23 кг.

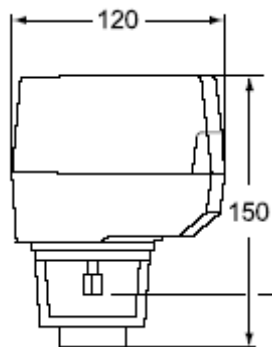


Рисунок 5.5 Електропривід AQM24-1R

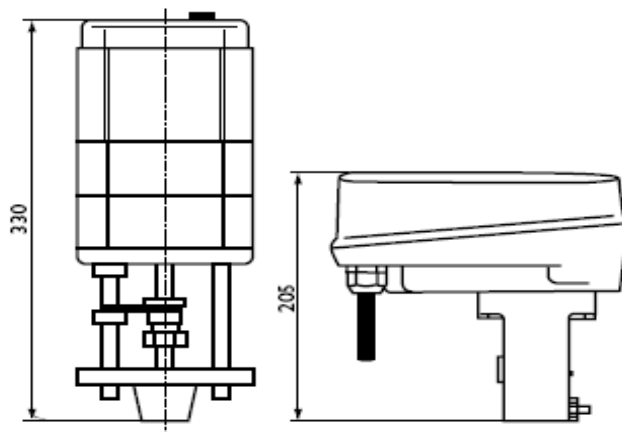


Рисунок 5.6 Електропривід AV24-MFT

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Здоров'я, працездатність і просто самопочуття людини багато в чому визначаються мікрокліматом і умовами повітря в житлових і громадських приміщеннях, в яких вона проводить значну частину свого часу.

Оскільки будівлі оснащені сучасними системами опалення та вентиляції, освітлювальними приладами та різними електропобутовими приладами, вислів «будинок — це жива машина» стає все більш очевидним.

Якщо говорити про фізіологічний вплив навколишнього повітря на людину, то слід пам'ятати, що людина щодня споживає близько 3 кг їжі і 15 кг повітря. Яке повітря, наскільки воно свіже і чисте, душно, жарко або холодно людині в приміщенні, багато в чому залежить від технічних систем, розроблених спеціально для комфортного повітря.

Серед технічних систем будівлі можна виділити: систему вентиляції, систему опалення (або систему комбінованого опалення та вентиляції) і систему кондиціонування повітря (СКВ). Повітряне опалення в поєднанні з вентиляцією створює в приміщенні цілком задовільний мікроклімат і забезпечує сприятливий повітряний режим. СКС є системою вищого порядку (з більшими можливостями). Основна перевага полягає в тому, що SCR, крім виконання завдань вентиляції та обігріву, також дозволяє створити сприятливий мікроклімат (комфортний рівень температури) у спекотну літню пору року за рахунок використання фреонового чиллера.

Таким чином, обробка повітря в СКВ може включати його охолодження, нагрівання, зволоження або осушення, очищення (фільтрацію, іонізацію та ін.), а система дозволяє підтримувати заданий режим повітря в приміщенні незалежно від рівня і коливань метеорологічних параметри зовнішнього повітря (атмосфери), а також змінні надходження тепла і вологості в приміщення.

6.1 Визначення параметрів зовнішнього повітря та оптимальних мікрокліматичних умов

Розрахункові параметри зовнішнього повітря визначаються кліматичними умовами місцевості, в якій експлуатується СКВ, і її призначенням. Зазвичай розрахунок проводиться за такими параметрами:

- для холодної пори року - середня температура найхолоднішої п'ятиденки та атмосферна ентальпія, що відповідає цій температурі, а також середня відносна вологість повітря найхолоднішого місяця на 13:00;

- для теплої пори року - температура повітря, найбільше значення якої спостерігається в даній точці протягом 220 годин, і відповідна ентальпія повітря (в середньому за багаторічними спостереженнями).

Для Тернополя параметри зовнішнього повітря наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

період року	температура	ентальпія	вміст вологи	відносна вологість
холодний	- 15	- 3.1	16.4	68,0
теплий	30.5	14.5	11.7	41.5

Комфортні системи кондиціонування призначені для підтримки оптимальних параметрів повітря в кондиціонованих приміщеннях для комфортного самопочуття людей, які в них знаходяться. Параметри визначаються умовами тепло- і вологообміну, які в свою чергу залежать від стану здоров'я людини, виду виконуваної ним роботи, нервового напруження, одягу, а також від температури, вологості, швидкості навколишнього повітря та інших факторів. Врахування всіх перерахованих умов для кожного конкретного випадку дуже громіздке. Значення оптимальних параметрів повітря для різних промислових, громадських і житлових приміщень регламентуються відповідними стандартами.

У таблиці 6.2 наведено параметри зовнішнього повітря за умовами освітлення.

Таблиця 6.2 - Параметри зовнішнього повітря за умовами освітлення

період року	температура	ентальпія	вміст вологи	відносна вологість
холодний	20	13.7	14.7	30
теплий	22	15.3	16.6	30

Подачу SCR необхідно розраховувати окремо для теплої, перехідної та холодної пори року.

Для кожного періоду розраховується надлишок тепла, надлишок вологості, надлишок загального тепла та кількість викинутих забруднюючих речовин відповідно до інструкцій. Для спрощення розрахунку параметри витяжного повітря - температура, вологість, ентальпія і концентрація забруднюючих речовин - приймаються рівними відповідним параметрам повітря приміщення.

6.2 Розрахунок на основі надлишкового відчутного тепла

Кількість повітря, видаленого з приміщення $m^3 / ч$,

$$L_{\text{я}} = \frac{Q_{\text{я}}}{0,29(t_{\text{yo}} - t_{\text{n}})}, \quad (9.1),$$

Де $Q_{\text{я}}$ надлишок тепла в кімнаті $ккал/ч$?

$$Q_{\text{я}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (9.2),$$

Q_1 - Тепло, що виділяється тілами людей, що знаходяться в приміщенні;

$Q_2 = Q_3 = Q_4 = 0$ - Тепло від сонячного випромінювання (сонячного світла), роботи електродвигунів або джерел світла;

$t_{y\partial}$, t_n - температура витяжного або припливного повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Відчутне тепло, яке виробляє людське тіло ккал/ч ,

$$Q_1 = q_n n, \quad (9.3),$$

Де q_n кількість відчутного тепла, яке виділяє людина у стані спокою:

при $t_{\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$ $q_n = 85 \text{ ккал/ч}$, $Q_1 = 500 * 85 = 42500 \text{ ккал/ч}$;

на $t_{\text{в}} = 22^{\circ}\text{C}$ $q_n = 70 \text{ ккал/ч}$, $Q_1 = 500 * 70 = 35000 \text{ ккал/ч}$.

Для холодного та перехідного періодів року кількість видаленого повітря становить

$$L_n = \frac{42500}{0,29(20 - (-15))} = \frac{42500}{10,15} = 4187 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Для теплої пори року

$$L_n = \frac{35000}{0,29(22 - 30,5)} = \frac{35000}{2,47} = 14200 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

9.3 Розрахунок на основі надлишку вологи

Кількість повітря, видаленого з приміщення $\text{м}^3 / \text{ч}$,

$$L_{\text{вл}} = \frac{\omega}{1,2(d_{y\partial} - d_n)}, \quad (9,4)$$

Де ω надлишок вологи в кімнаті г/ч ?

$$\omega = n d, \quad (9,5)$$

n - кількість людей у кімнаті; d - кількість вологи, що виділяється однією людиною (у стані спокою):

при $t_{\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$ $d = 75 \text{ г/ч}$;

на $t_{\text{в}} = 22^{\circ}\text{C}$ $d = 100 \text{ г/ч}$;

$d_{\text{вд}}$, $d_{\text{п}}$ - вологість витяжного або припливного повітря, г/ч .

Для холодного та перехідного періодів року кількість видаленого повітря становить

$$L_{\text{в}} = \frac{500 \cdot 75}{1,2(14,7 - 16,4)} = \frac{37500}{2,04} = 18382 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Для теплої пори року

$$L_{\text{в}} = \frac{500 \cdot 100}{1,2(16,6 - 11,7)} = \frac{50000}{5,88} = 8503 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

6.4 Розрахунок на основі надлишкового загального тепла

Кількість повітря, видаленого з приміщення $\text{м}^3 / \text{ч}$,

$$L_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{н}}}{1,2(I_{\text{вд}} - I_{\text{п}})}, \quad (9,6)$$

Де $Q_{\text{н}}$ надлишок загального тепла в кімнаті ккал/ч ?

$$Q_{\text{в}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (9,7)$$

Q_1 - Тепло, що виділяється тілами людей, що знаходяться в приміщенні;

$Q_2 = Q_3 = Q_4 = 0$ - Тепло від сонячного випромінювання (сонячного світла),
роботи електродвигунів або джерел світла;

I_{yd}, I_n - Ентальпія витяжного або припливного повітря.

Загальна кількість тепла, що виділяється тілом людини ккал/ч ,

$$Q_1 = q_n n, (9.8),$$

Де q_n загальна кількість тепла, що виділяється людиною у стані спокою:

при $t_s = 20^\circ\text{C}$ $q_n = 130 \text{ ккал/ч}$;

на $t_s = 22^\circ\text{C}$ $q_n = 125 \text{ ккал/ч}$.

Для холодного та перехідного періодів року кількість видаленого повітря становить

$$L_{\text{я}} = \frac{500 \cdot 130}{1,2(13,7 + 3,1)} = \frac{65000}{20,16} = 3225 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Для теплої пори року

$$L_{\text{я}} = \frac{500 \cdot 125}{1,2(15,3 - 14,5)} = \frac{62500}{0,96} = 65100 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

6.5 Визначення категорії приміщення за пожежною безпекою та розрахунок систем пожежогасіння

Відповідно до [7] будівля відноситься до категорії D (у приміщенні знаходяться матеріали в холодному стані, електропроводка та обладнання, а також окремі предмети меблів). Виходячи з цього, розрахункову масу комбінованої вуглекислотно-фреонової композиції (ВФК) для об'ємного пожежогасіння визначають за формулою

$$m_d = k_6 q_n V = 1.2 * 0.4 * 12800 = 6144 \text{ кг}, (9.9)$$

де k_6 – коефіцієнт компенсації неврахованих втрат ЦГС, для приміщень з дверними та віконними прорізами прийнято $k_6 = 1,2$;

q_n – Нормативна масова вогнегасна концентрація вуглекислого газу за часу заповнення приміщення 60 с становить $q_n = 0,4 \text{ кг/м}^3$;

$V = 12800$ – об'єм простору, що охороняється, м^3 .

Розрахункова кількість балонів ξ_2 визначається виходячи з ємності 40-літрового кг балона 25 UHS: $\xi_2 = 6144 / 25 = 245$

Внутрішній діаметр магістрального трубопроводу визначається за формулою

$$d_i = d_1 \sqrt{\xi_2} = 12 \sqrt{245} = 188 \text{ мм}, (9.10)$$

де $d_1 = 12$ – діаметр сифонної трубки циліндра мм; $\xi_2 = 245$ – кількість одночасно розведених циліндрів.

Еквівалентну довжину основної лінії визначають за формулою

$$l_2 = k_7 l = 1.05 * 120 = 126 \text{ м}, (9.11)$$

де k_7 коефіцієнт збільшення довжини трубопроводу для компенсації неврахованих локальних втрат $k_7 = 1,05$; $l = 120$ – довжина трубопроводу в залежності від проекту, м.

Площа поперечного перерізу вихідного отвору зрошувача A_3 визначається за формулою

$$A_3 = \frac{S}{\xi_1} = \frac{27760}{20} = 1388, \text{ мм}^2, (9.12)$$

де $S = \frac{\pi d_i^2}{4} = \frac{3.14 * 188^2}{4} = 27760$ – площа поперечного перерізу магістрального трубопроводу, мм^2 ; $\xi_1 = 20$ - кількість зрошувачів.

Витрата CCS для Q трубопроводу кг/с діаметром 35 мм визначається в залежності від еквівалентної довжини; при $l = 120 \text{ м}$ і $Q = 4,4 \text{ кг/с}$.

Питома витрата вуглекислого газу становить:

$$q = \frac{Q}{9.62} = \frac{4.4}{9.62} = 0.45 \text{ кг/(см}^2 * \text{с)} (9.13)$$

Площа поперечного перерізу трубопроводу:

$$S = 0.785d^2 = 0.785 * 18.8^2 = 277 \text{ см}^2 (9.14)$$

Споживання CCS становить

$$Q = Sq = 277 * 0.45 = 125 \text{ кг/с} (9.15)$$

Приблизний час подання UHS:

$$t = \frac{m_d}{60Q} = \frac{6144}{60 * 125} = 0.82 \text{ мин} = 50 \text{ с},$$

де m_d – розрахункова маса хімічної суміші, кг ; Q – споживання вуглекислого газу, кг/с .

Масу основного складу резерву ККС визначають за формулою

$$m = 1.1m_d \left(1 + \frac{k_8}{k_6}\right) = 1.1 * 6144 \left(1 + \frac{0.25}{1.2}\right) = 8200 \text{ кг}, (9.16)$$

де k_8 коефіцієнт прийнято з урахуванням балансу вуглекислого газу в балонах і трубопроводах $k_8 = 0.25$

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі була розроблена система автоматизованого керування технологічним процесом кондиціювання. Впровадження автоматизованої системи управління для даного процесу дозволяє підвищити якість і ефективність процесу, зменшити витрати на підналаштування та електроенергію.

Під час виконання кваліфікаційної роботи розроблена функціональна схема автоматизованої системи управління системою кондиціювання повітря.

Особлива увага приділяється охороні праці та безпеці при роботі в приміщенні з пожежною небезпекою та розрахунок систем пожежогасіння.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Микитишин А.Г. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт магістрів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, В.В. Левицький, Р.І. Королук – Тернопіль: ТНТУ, 2022. – 84 с.
2. Левицький В.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Основи автоматизованого проєктування складних об'єктів та систем» для здобувачів освітнього рівня магістр за спеціальністю 174"Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" / Уклад. В.В. Левицький, І.С. Дідич – Тернопіль: ТНТУ, 2023. - 44 с.
3. Тотосько О.В. Введення в комп'ютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023 - 304с.
<http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166>.
4. Левицький В.В. Методичні вказівки для виконання курсового проєкту з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / уклад. В. В. Левицький. // ТНТУ. – 2024. – С. 49.
5. Микитишин А.Г. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт магістрів спеціальності 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, В.В. Левицький, Р.І. Королук – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 82 с.

6. Левицький В.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Основи автоматизованого проєктування складних об'єктів та систем» для здобувачів освітнього рівня магістр за спеціальністю 174"Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" / Уклад. В.В. Левицький, І.С. Дідич – Тернопіль: ТНТУ, 2023. - 44 с.
7. І.Т. Стрепко, О.В. Тимченко, Б.В. Дурняк. Проектування систем керування на однокристальних мікро-ЕОМ. – К.: Фенікс, 1998.
8. Навчальний посібник «ТЕХНОЕКОЛОГІЯ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА. ЧАСТИНА «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»» / автор-укладач В.С. Стручок – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.
9. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
10. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
11. Проць Я. І. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. / Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Тернопіль : ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 344с.
12. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В.С. Стручок – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с.
13. Вовк Ю. Я. Охорона праці в галузі. Навчальний посібник / Ю. Я. Вовк, І. П. Вовк – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А. – 2015. – 172 с.
14. Harby, K., Doaa R. Gebaly, Nader S. Koura, and Mohamed S. Hassan. Renewable and sustainable energy reviews 58 347-360.(2016).
15. Hajidavalloo, E., and H. Eghtedari. international journal of refrigeration 33, no. 5, 982-988(2010).

- 16.Sarntichartsak, Pongsakorn, and SirichaiThepa. Applied Thermal Engineering 51, no. 1-2 597-610 (2013).
- 17.Martínez, P., J. Ruiz, C. G. Cutillas, P. J. Martínez, A. S. Kaiser, and M. Lucas. Applied Thermal Engineering 105, 1041-1050(2016).
- 18.Wang, Tianwei, Chenguang Sheng, and AG AgwuNnanna. Energy and buildings 81,435-443(2014).
- 19.Hajidavalloo, E., and H. Eghtedari. international journal of refrigeration 33, no. 5, 982-988(2010).
- 20.Sukani Sunny, SavajJayesh, Cop Improver Group Improve Cop of Domestic Refrigerator with the Help of Water-Cooling Condenser(2015).
- 21.Purusothaman M, Vedagirisriharsha, Yuvaraj R, Yadlasaipavan, Yarramsetti, Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, 8, 5, (2020).
- 22.M. Purusothaman, Rahul Varma, Gowtham Gupta, G. Senthilkumar and T.N. ValarmathiIJEP 39 (7) : 645-650 (2019)