

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра "Автоматизації виробничих процесів"

"Допущено до захисту"

Зав.кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____Дідик О.К.

" _____ " _____ 2023р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему

"Модернізація електропривода припливної камери зі зворотним зв'язком
за температурою"

"Modernization of the electric drive of the inflow chamber with temperature
feedback"

Виконав: здобувач вищої освіти

IV курсу, групи АК-19

ОПП «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

спеціальність 151 «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

_____Ігор ГОЛУБЄВ

" _____ " _____ 2023р.

Керівник роботи

професор, д-р техн.наук

_____Анатолій МАЦУЙ

" _____ " _____ 2023р.

Рецензент _____

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Призначення та область застосування систем вентиляції при виробництві олії.....	5
1.1 Технологічний процес рафінації соняшникової олії.....	5
1.1.1 Процес дезодорації жирів та олії.....	6
1.2 Загальні відомості про процес вентиляції.....	6
1.3 Складові частини припливної камери.....	8
1.4 Класифікація та автоматизація припливних камер.....	13
2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу.....	17
2.1 Опис роботи принципової схеми керування швидкістю не модернізованого електропривода припливної камери.....	17
2.1.1 Недоліки існуючої технології.....	18
2.1.2 Пропозиції щодо поліпшення роботи припливної камери.....	18
2.2 Розробка функціональної схеми привода.....	18
2.3 Вимоги до систем керування швидкістю електропривода вентиляції цеху дезодорації.....	19
2.4 Вибір принципу побудови системи керування швидкістю модернізованого електроприводу вентиляції.....	20
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій.....	21
3.1 Вибір типу привода вентилятора та розрахунок потужності двигуна.....	21
3.2 Вибір типу привода клапана теплоносія.....	22
3.3 Розробка та обґрунтування вибору елементів силової частини припливної камери.....	25

3.3.1 Вибір та обґрунтування керуючого пристрою припливної камери.....	25
3.3.2 Розробка схеми випрямляча та стабілізатора напруги з послідовним регулюючим елементом.....	31
3.3.3 Розробка та обґрунтування привода вентилятора.....	43
3.3.4 Вибір магнітного пускача.....	44
3.3.5 Вибір теплового реле.....	45
3.3.6 Вибір автоматичного вимикача.....	46
3.3.7 Вибір та обґрунтування термодатчика.....	47
3.4 Розробка принципової схеми керування припливною камерою.....	49
3.4.1 Розробка та обґрунтування принципової схеми мікроконтролера Реміконт Р-130.....	49
3.4.2 Опис роботи модуля процесора ПРЦ-10.....	52
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи.....	55
4.1 Розробка структурної схеми.....	55
4.1.1 Опис та обґрунтування структурної схеми.....	55
4.2 Аналіз перехідних процесів.....	59
Висновок.....	65
Література.....	66

ВСТУП

В умовах сучасного виробництва соняшникової олії вентиляція і кондиціонування повітря є одними з головних заходів, що забезпечують найкращі умови для високопродуктивної праці, підвищення творчої активності, а також повноцінного відпочинку людей. Істотна роль вентиляції і в захисті навколишнього середовища від забруднення.

Природні вентиляційні системи мають ряд недоліків, серед яких варто виділити, залежність продуктивності такого роду вентиляції від випадкових чинників: швидкості та напрямку вітру, температури повітря і т.д, тому великий розвиток отримала примусова вентиляція. Завдання створення вентиляції, що ефективно діє, вирішується економічними і прогресивними способами – комбіновані системи вентиляції для промислових підприємств з використанням аерації, повітряних душів на робочих місцях і площадках, а також повітряних завіс біля зовнішніх воріт і отворів в огорожах, застосовуються системи кондиціонування повітря, що відповідають найвищим санітарно-гігієнічним і технологічним потребам. Технологічні вимоги до параметрів повітряного середовища промислових приміщень, пов'язані зі створенням необхідних умов для дії і збереження встановленого устаткування, а також зберігання продукції, безперервно ростуть. У робочих приміщеннях, в яких виробляють соняшкову олію (цехи рафінації, виморожування, дезодорації та ін.) потрібна підтримка заданих параметрів повітря на строго певному рівні. Це обумовлює необхідність більш широкого застосування на даних промислових підприємствах вентиляційних систем і систем кондиціонування повітря з автоматичним управлінням і регулюванням.

Невід'ємною частиною технічної реалізації технологічних процесів з життєзабезпечення діяльності людини є засоби автоматизації. Чітку, надійну і енергозберігаючу роботу цих систем може забезпечити тільки правильно спроектована, змонтована, налагоджена і грамотно обслуговувана система автоматики. При цьому головною передумовою якісного виконання вказаних робіт

є наявність висококваліфікованого персоналу з систем автоматики: інженерно-технічних спеціалістів і робочих.

В даній кваліфікаційній роботі пропонується правильно спроектувати і автоматизувати систему припливної вентиляції, що дозволить якісніше підтримувати мікроклімат в цехах дезодорації соняшникової олії і скоротити витрати на обслуговування і ремонт апаратури.

1 Призначення та область застосування систем вентиляції при виробництві соняшникової олії

1.1 Технологічний процес рафінації соняшникової олії

Жири, що отримують з зерен масляних культур, називають рослинними. На Україні основними масляними культурами є соняшник, соя, рапс і деякі інші. Рослинні жири і продукти на їх основі є незамінними компонентами харчування. Сама важлива роль цих продуктів визначається їх енергетичною цінністю. В той же час рослинні жири містять ряд речовин, що знижують їх харчову і фізіологічну цінність продуктів, а також ускладнюючи їх переробку. Для видалення цих речовин олію піддають рафінації.

Рафінація – це складний багатостадійний процес на основі хімічних, фізико-хімічних методів обробки олії і жирів з метою підвищення їх якості, харчової і фізіологічної цінності, покращення технологічних властивостей.

В теперішній час рафінація стала основною ланкою в складній схемі отримання і переробки рослинних жирів і олії. Багатогранність складу і властивостей олій, жирів і супутніх речовин визначають і багатостадійність способів і підходів видалення їх з метою досягнення необхідного ступеня очищення.

Для правильної побудови технологічних схем рафінації, вибору оптимальних параметрів ведення технологічних процесів схему рафінації необхідно представити у вигляді окремих послідовних модулів, які відрізняються по цільовому призначенню підходів, що при цьому використовуються.

Модуль 1 – гідратація. Призначення – максимальне видалення з масел фосфоліпідів.

Модуль 2 – нейтралізація або лужна рафінація. Призначення – максимальне видалення вільних жирних кислот.

Модуль 3 – адсорбційне очищення (відбілювання). Призначення – видалення пігментів, та залишків фосфатидів і мила після лужного очищення.

Модуль 4 – виморожування (вінтеризація). Призначення – видалення з рафінованих масел воскоподібних речовин.

Модуль 5 – дезодорація. Призначення – видалення з масел та жирів одоруючих речовин, що визначають смак і запах.

1.1.1 Процес дезодорації жирів та олії

Найбільш відповідальним і заключним етапом рафінації є дезодорація. Особливо велике значення має дезодорація при підготовці жирів для виробництва маргаринової продукції і тих, що використовуються в консервному виробництві. Повнота дезодорації визначає якість олії, оскільки ніякі смакові добавки не зможуть замаскувати смак і запах неякісних жирів.

Дезодорація є найбільш радикальним способом видалення з олії продуктів хімічної обробки рослин, зерен. Це один з методів дистиляції. Він складається з трьох стадій: дифузії ароматичних речовин з шару рідини до поверхні випаровування, випаровування ароматичних речовин і видалення молекул випарених речовин із зони випаровування.

Занадто підвищувати температуру дезодорації не можна, оскільки виникає імовірність полімеризації і окиснення жирів повітрям, що проникає через нещільність апаратури, або повітрям, що міститься в жирах.

Оскільки процес дезодорації відбувається при високих температурах, то підтримання в даному цеху комфортної, для працівників, температури являється актуальною задачею.

1.2 Загальні відомості про процес вентиляції

Вентиляцією називається сукупність заходів і пристроїв, використовуваних при організації повітрообміну для забезпечення заданого стану повітряного середовища в приміщеннях і на робочих місцях відповідно до ДБН України.

Системи вентиляції забезпечують підтримку допустимих метеорологічних параметрів в приміщеннях різного призначення. При всьому різноманітті систем вентиляції, обумовленому призначенням приміщень, характером технологічного процесу, видом шкідливих виділень і тому подібне, їх можна класифікувати по наступних характерних ознаках:

1. За способом створення тиску для переміщення повітря: з природним і штучним (механічним) імпульсом.
2. За призначенням: припливні і витяжні.
3. По зоні обслуговування: місцеві та загальнообмінні.
4. За конструктивним виконанням: каналні та безканалні.

Коротко розглянемо види вентиляції:

- природна вентиляція (переміщення повітря в системах природної вентиляції відбувається внаслідок різниці температур зовнішнього (атмосферного) повітря і повітря в приміщенні, так званій аерації; внаслідок різниці тиску «повітряного стовпа» між нижнім рівнем (обслуговуваним приміщенням) і верхнім рівнем – витяжним пристроєм (дефлектором), встановленим на крівлі будівлі; в результаті дії так званого вітрового тиску;

- механічна вентиляція (у механічних системах вентиляції використовуються устаткування і прилади (вентилятори, електродвигуни, повітрянагрівачі, пиловловлювачі, автоматика і ін.), що дозволяють переміщати повітря на значні відстані;

- припливна вентиляція (припливні системи служать для подачі у вентилязовані приміщення чистого повітря замість видаленого.;

- витяжна вентиляція (витяжна вентиляція видаляє з приміщення (цехи, корпуси) забруднене або нагріте відпрацьоване повітря. У загальному випадку в приміщенні передбачаються як припливні, так і витяжні системи;

- місцева вентиляція (при якій повітря подають на певні місця (місцева припливна вентиляція) і забруднене повітря видаляють тільки від місць утворення шкідливих виділень (місцева витяжна вентиляція);

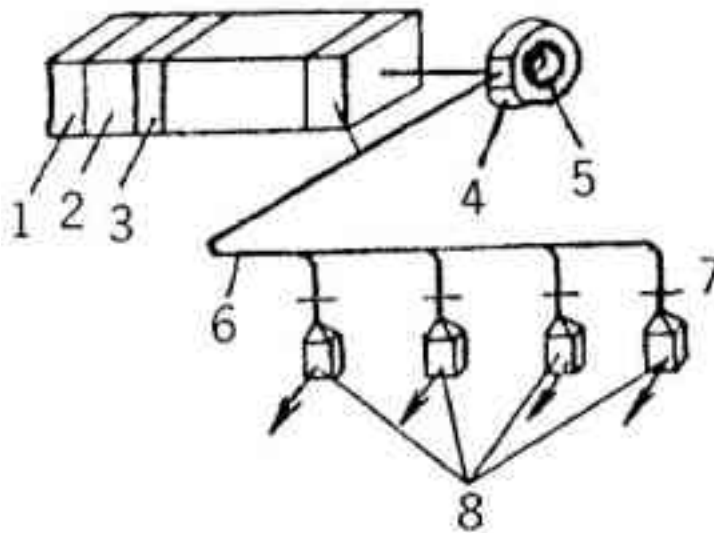


Рисунок 1.1 – Схема припливної установки

1 – пристрій для забору зовнішнього повітря; 2 – повітряний фільтр для очистки; 3 – нагрівач повітря; 4 – вентилятор; 5 – електродвигун; 6 – воздуховод; 7 – пристрій для регулювання кількості повітря, що подається (дросель-клапан); 8 – повітряні розподілювачі.

– загальнообмінні системи вентиляції (як припливні, так і витяжні, призначені для здійснення вентиляції в приміщенні в цілому або в значній його частині);

– канална і безканална вентиляція (системи вентиляції мають або розгалужену мережу воздуховодів для переміщення повітря (каналні системи), або канали (воздуховоди) можуть бути відсутніми, наприклад, при установці вентиляторів в стіні, в перекритті, при природній вентиляції і так далі (безканалні системи)).

1.3 Складові частини припливної камери

1. Повітрозабірні ґрати. Через них зовнішнє повітря поступає в систему припливної вентиляції. Одночасно вона не дозволяє потрапляти всередину краплям дощу і сніги, а також стороннім предметам.

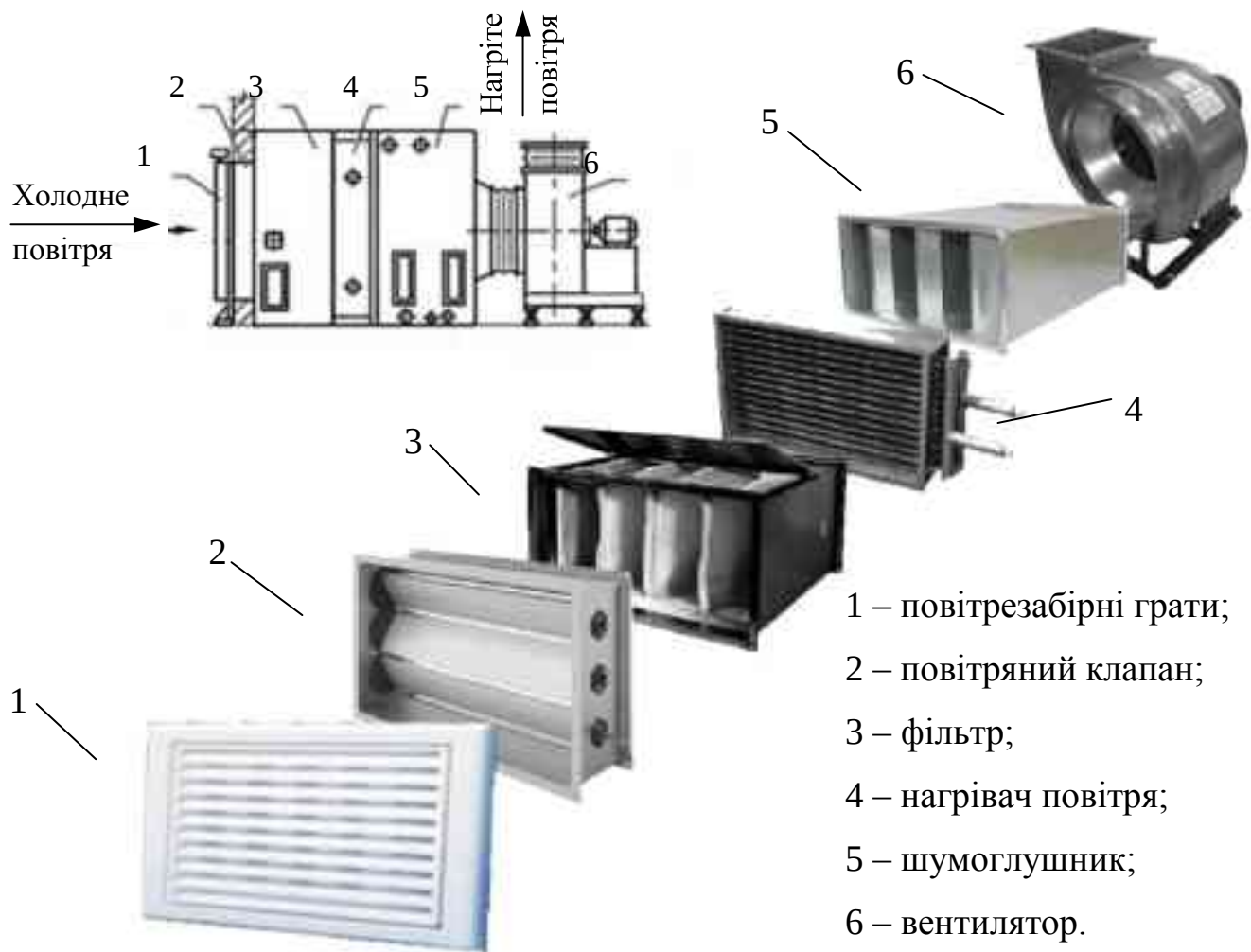


Рисунок 1.2 – Складові частини припливної камери

2. Повітряний клапан. Служить для запобігання попаданню в приміщення зовнішнього повітря при вимкненій системі вентиляції. Взимку без повітряного клапана в приміщення безконтрольно проникатимуть холодне повітря і сніг.



Рисунок 1.3 – Повітряний клапан

Як правило, в припливних системах вентиляцію встановлюють повітряні клапани з електроприводом, що дозволяє повністю автоматизувати управління

системою: при включенні вентилятора клапан відкривається, при виключенні – закривається.

3. Фільтр. Служить для захисту як самої припливної системи вентиляції, так і вентиляованих приміщень від пилу, пуху, комах.



Рисунок 1.4 – Фільтр карманного типу

4. Калорифер (повітронагрівач). Підігріває повітря, яке подається з вулиці в систему вентиляції в зимовий час, може бути водяним (температура води повинна бути не менше 70⁰C) або електричним.



Рисунок 1.5 – Схема однорядного повітронагрівача (калорифера):

1 – патрубок входу теплоносія (гарячої води); 2 – елементи повітронагрівача.

5. Шумоглушник. Оскільки вентилятор є джерелом звуку, після нього обов'язково встановлюють каналний шумоглушник, щоб запобігти розповсюдженню звуку по воздуховодам.



Рисунок 1.6 – Шумоглушник прямокутний

6. Вентилятор. Служить для подачі свіжого повітря в приміщення і створення необхідного тиску повітряного потоку в припливній вентиляційній системі.

Вентилятор – це лопаткова машина, що може підвищити тиск потоку повітря до 15 кПа. У техніці вентиляції і кондиціювання повітря використовують переважно два типи вентиляторів – радіальні (відцентрові) і аксіальні (осьові).

У радіальному вентиляторі повітря підводиться в напрямку осі робочого колеса і дією лопаток робочого колеса, що обертаються, відхиляється від початкового напрямку на 90^0 .

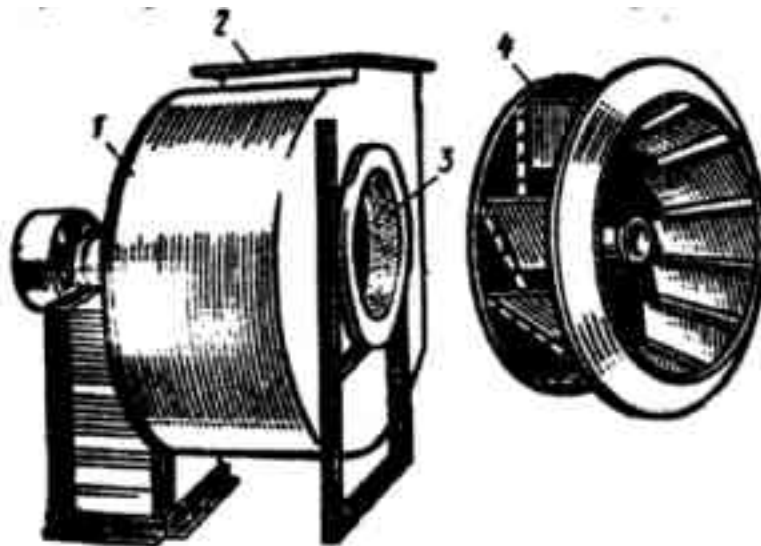


Рисунок 1.7 – Радіальний вентилятор

1 – корпус; 2 – вихідний патрубок; 3 – вхідний патрубок; 4 – робоче колесо.

Класифікація радіальних вентиляторів:

За призначенням радіальні вентилятори бувають:

а) загального призначення – для пересування повітря і неагресивних газів температурою до 80°C , які вміщують пил не більше 100мг/м^3 , не вміщують липких речовин. Серії вентиляторів загального призначення: Ц4-75, Ц4-76, Ц4-70 та ін.;

б) спеціального призначення – для виконання спеціальних функцій, наприклад, для пересування повітря, яке вміщує деревну стружку, опилки, формотворну землю та ін. Серії вентиляторів: Ц і ЦП;

в) іскрозахищеного виконання – призначені для пересування вибухонебезпечних і агресивних газових сумішів. Такі вентилятори чітко спеціалізовані за характером середовища, яке пересувають, і використовуються лише відповідно до інструкцій заводу виробника.

За тиском, що розвивається, радіальні вентилятори поділяються на:

а) низького тиску – до 1 кПа; б) середнього тиску – від 1 до 3 кПа;

в) високого тиску – більше 3 кПа.

За напрямком обертання радіальні вентилятори бувають:

а) правого обертання – якщо з боку вхідного патрубку обертання робочого колеса вентилятора здійснюється в напрямку годинникової стрілки;

б) лівого обертання – якщо з боку вхідного патрубку обертання робочого колеса вентилятора відбувається проти годинникової стрілки.

За напрямком виходу повітря з вентилятора можлива різна спрямованість виходу залежно від спрямованості вихідного патрубка.

Позначення показані на схемах для вентиляторів правого і лівого обертання.

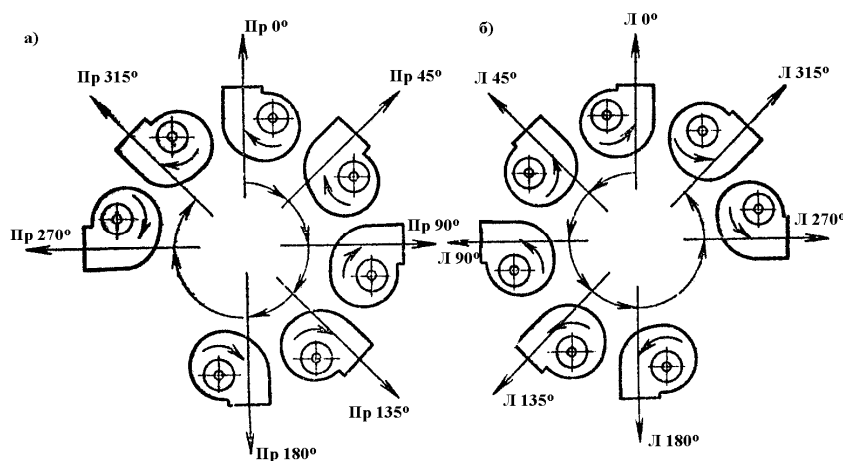


Рисунок 1.8 – Можливі положення вихідного патрубка радіального вентилятора: а – правого обертання; б – лівого обертання.

7. Воздуховоди. Розподіляють повітряний потік по приміщеннях. Для цього використовується ціла повітропровідна мережа, що складається з воздуховодів і фасонних виробів (трійників, поворотів, перехідників).

8. Розподільники повітря. Через них повітря з системи вентиляції потрапляє в приміщення.

9. Система управління вентиляцією. Найчастіше складається тільки з вимикача, що дозволяє включати і вимикати вентилятор. Іноді в системі вентиляції використовують систему управління з елементами автоматики, яка включає калорифер при пониженні температури припливного повітря, стежить за чистотою фільтру, управляє повітряним клапаном і так далі. Як елементи системи управління системою вентиляції використовують термостати, гігростати, манометри і інші прилади.

1.4 Класифікація та автоматизація припливних камер

Класифікація припливних камер:

а) за типом нагрівача розподіляються на:

- з електричним калорифером;
- з водяним калорифером.

б) за витратами повітря бувають:

- до $200-3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ – мініприпливні установки;
- більше $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ – центральні припливні установки.

в) за виконанням:

- для вертикального монтажу;
- для горизонтального монтажу;
- універсальні.

Головними електричними виконавчими пристроями в системі є сервоприводи МЕО. Серед електричних сервомоторів, що набули найбільшого поширення в автоматичі, слід назвати електродвигуни і електромагніти.

За пристроєм і принципом дії електричні двигуни класифікують на асинхронні, синхронні і колекторні. Асинхронні і синхронні двигуни працюють на змінному струмі, колекторні – на змінному або постійному струмі, а універсальні на змінному і постійному струмі.

В якості сервоприводу застосовують асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором (у вигляді білячої клітки).

Залежно від з'єднання електродвигуна і регулюючого органу розрізняють дві основні структурні схеми електричних сервомоторів, невідповідності швидкохідності і оберտального руху сервомотора тихохідності, що визначаються ступенем, і поступальній, іноді обертальній ході затвора регулюючого органу.

Конструкція електричного виконавчого механізму приведена на рис. 1.9 а, який складається з електродвигунової частини І (сервоприводу) і колонки управління ІІ, яка називається блоком сервоприводу, схема якого представлена на рис. 1.9 б.

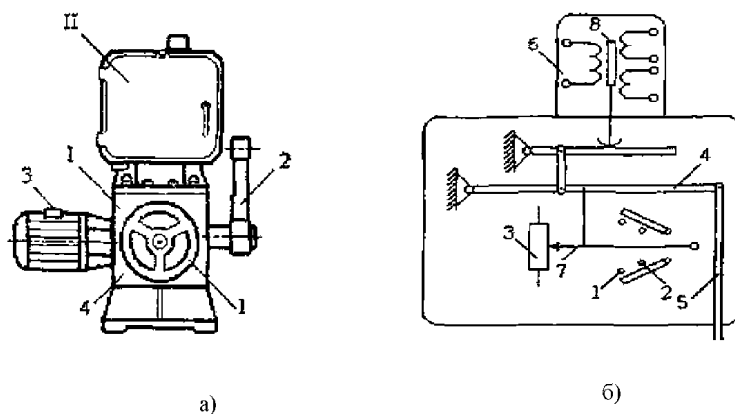


Рисунок 1.9 – Електричний виконавчий пристрій МЕО

а – конструкція механізму; б – конструктивна схема блоку сервоприводу.

Повний хід сервоприводу відповідає повороту вихідного валу на 90° . Час повного ходу називається часом сервоприводу (сервомотора).

Електромагнітні приводи застосовуються для приведення в дію регулюючих органів з поступальною ходом затвора - клапанів, засувок, золотників. Електромагнітні сервомотори працюють в релейному режимі (відкрито – закрито). Серед них найчастіше використовуються прямоходовий електромагніт з сердечником (соленоїд), що втягується, а також конструкції з якорем, що

притягується або поворотним. Схеми електромагнітних сервомоторів приведені на рис. 1.10.

Окрім основних підсистем дистанційного керування, блокування і автоматичного регулювання температури повітря, що забезпечують належний санітарно-гігієнічний ефект, для функціонування припливних вентиляційних систем (ПВС) необхідно мати в своєму розпорядженні додаткові засоби автоматизації.

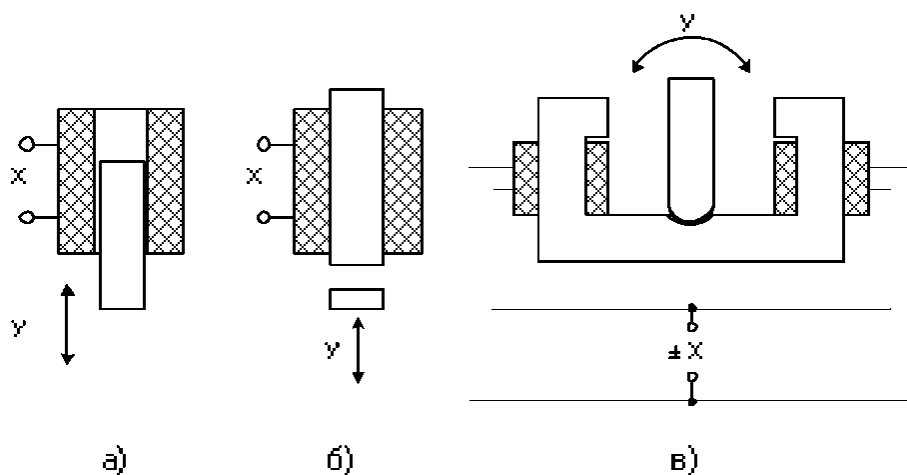


Рисунок 1.10 – Електромагнітні приводи

а – соленоїдний; б – з притягуючим якорем; в – з поворотним якорем.

На рис. 1.11 представлена схема автоматизації припливної вентиляційної установки з підігрівом повітря. До складу системи автоматизації входять місцеве і дистанційне управління електроустаткуванням за допомогою перемикача SA і кнопок станцій SB1...SB4. Необхідна температура повітря в приміщенні підтримується за допомогою регулятора температури ТС, датчик якого ТЕ(3) розміщується в приміщенні або у воздуховоді після вентилятора ТЕ(2). Регулятор керує виконавчим механізмом Y2 клапана на зворотній лінії теплоподачі повітрянагрівача (у даній схемі теплоносієм є вода). Для технологічного захисту повітрянагрівача від замерзання в схему включений позиційний регулятор температури TS, один датчик якого ТЕ(4) встановлений в теплопроводі після повітропідігрівача, а другий ТЕ(1) – в повітропроводі перед ним. Коли температура води знизиться до 30°C , а зовнішнього повітря буде нижче 3°C , регулятор TS

відключить вентилятор і закрий приймальний утеплений клапан Кл. Кнопкова станція SB3 і магнітний пускач NS(2) служать для управління електрообігрівачем утепленого клапана у разі експлуатації при температурах нижче за межі, передбачені основною схемою.

Залежно від поєднання динамічних параметрів об'єкту і припливної вентиляції в схемах регулювання можуть застосовуватися П-, І-, і ІІІ-регулятори безперервної дії, а також і дискретної дії (позиційні і імпульсні). У багатьох схемах автоматизації ПВС використовуються імпульсні перетворювачі, наприклад, ступінчасті (СПП), такі, що дозволяють значно зменшити перерегулювання в перехідних процесах. З метою підвищення економічності застосовують сукупний спосіб зміни теплової продуктивності повітрянагрівача.

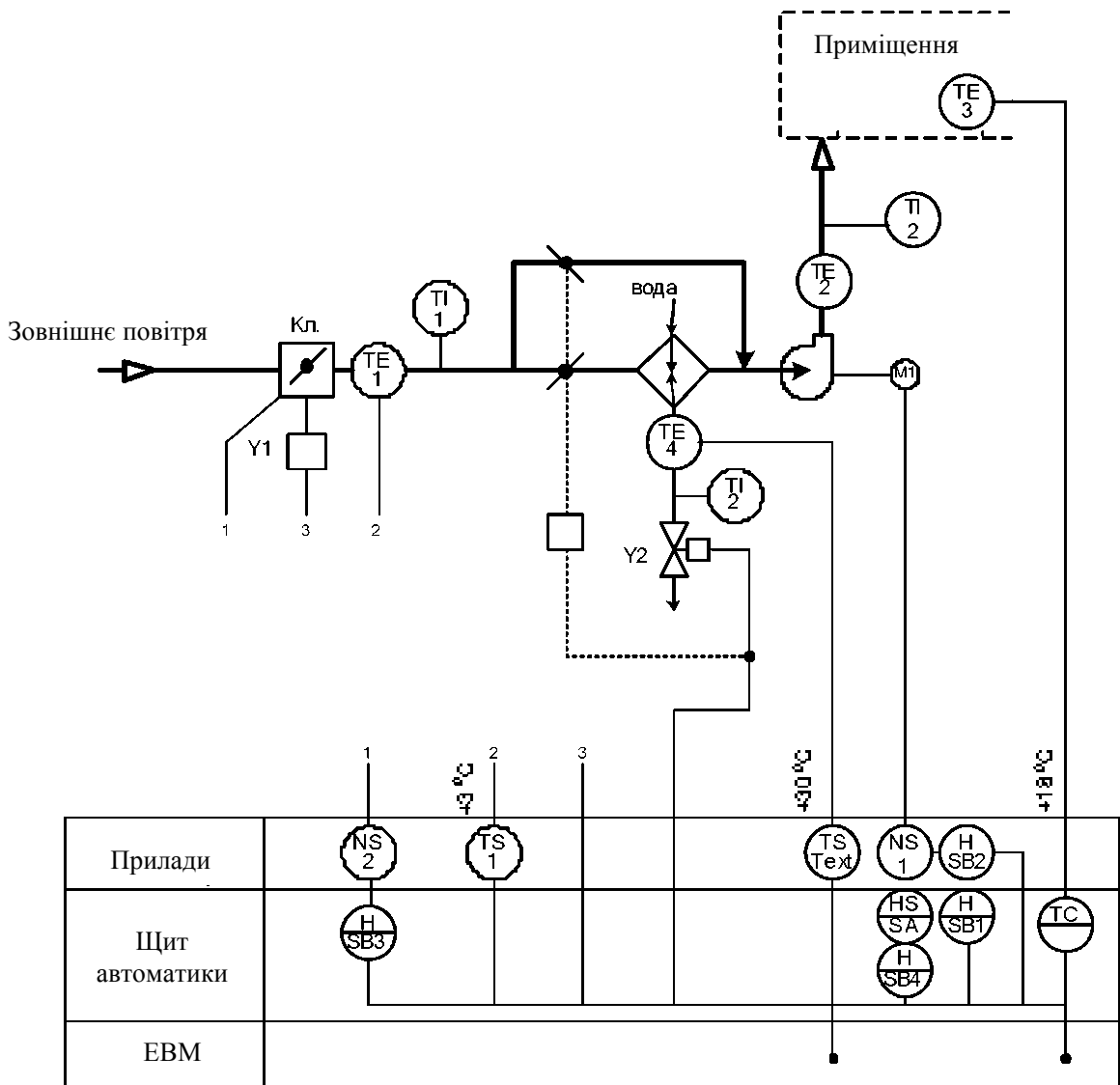


Рисунок 1.11 – Автоматизація припливної вентиляційної системи

2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу

2.1 Опис роботи принципової схеми керування швидкістю не модернізованого електропривода припливної камери

На рис 2.1 зображена принципова схема керування не модернізованого електропривода припливної камери.

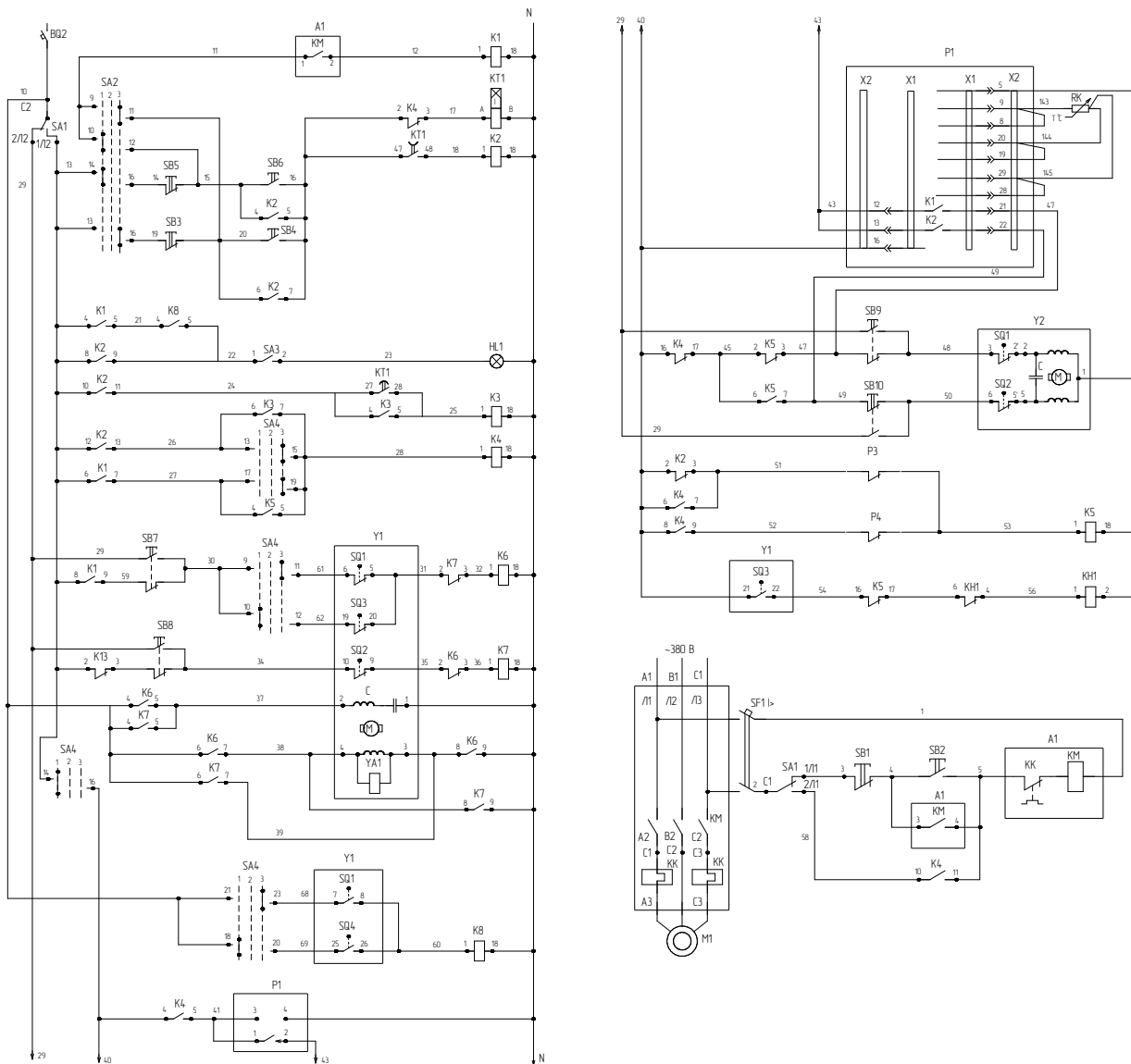


Рисунок 2.1 – Принципова схема керування не модернізованого електропривода припливної камери.

Схема має можливість працювати як в автоматичному, так і в ручному режимах роботи.

При ручному керуванні управління, здійснюється тільки обертання в одну чи іншу сторону виконавчими механізмами МЭО для закривання або відкривання клапана теплоносія та повітряного клапана.

2.1.1 Недоліки існуючої технології

Основним недоліком існуючої припливної системи є малий діапазон регулювання температури. Це обумовлено тим, що силова частина та система керування камерою містить застаріле обладнання, яке є не надійним.

2.1.2 Пропозиції щодо поліпшення роботи припливної камери

Для покращення роботи припливної камери пропонується силову частину та систему керування виконати на більш надійнішій електронній базі. Для цього необхідно розробити функціональну та принципову схеми керування припливною камерою. Відповідно для ефективнішої роботи вибрати і розрахувати потужність двигуна вентилятора, приводи виконавчих механізмів. Також потрібно розробити структурну схему електропривода, проаналізувати та обґрунтувати перехідні процеси.

2.2 Розробка функціональної схеми привода

На рис. 2.2 зображена функціональна схема припливної камери. Система може працювати як в автоматичному, так і в ручному керування. Вибір режиму здійснює перемикач SA1. Необхідна температура повітря в приміщенні підтримується за допомогою термоопорів T1 та T2. Один датчик встановлено в повітроводі перед входом в приміщення або в приміщенні, а інший в повітропроводі перед нагрівачем повітря. Сигнали, які знімаються датчиками поступають по аналоговому входу на блок підсилення сигналу БУС-10, а з нього в блок контролю мікроконтролера БК-1, де обробляється центральним процесором

ПРЦ-10. Якщо температура в приміщенні не відповідає заданій, то з БК-1 подає сигнал на блок підсилення потужності БУМ-10, звідки сигнал поступає на виконавчий механізм клапану теплоносія Y2, який в свою чергу регулює подачу гарячої води в калорифер.

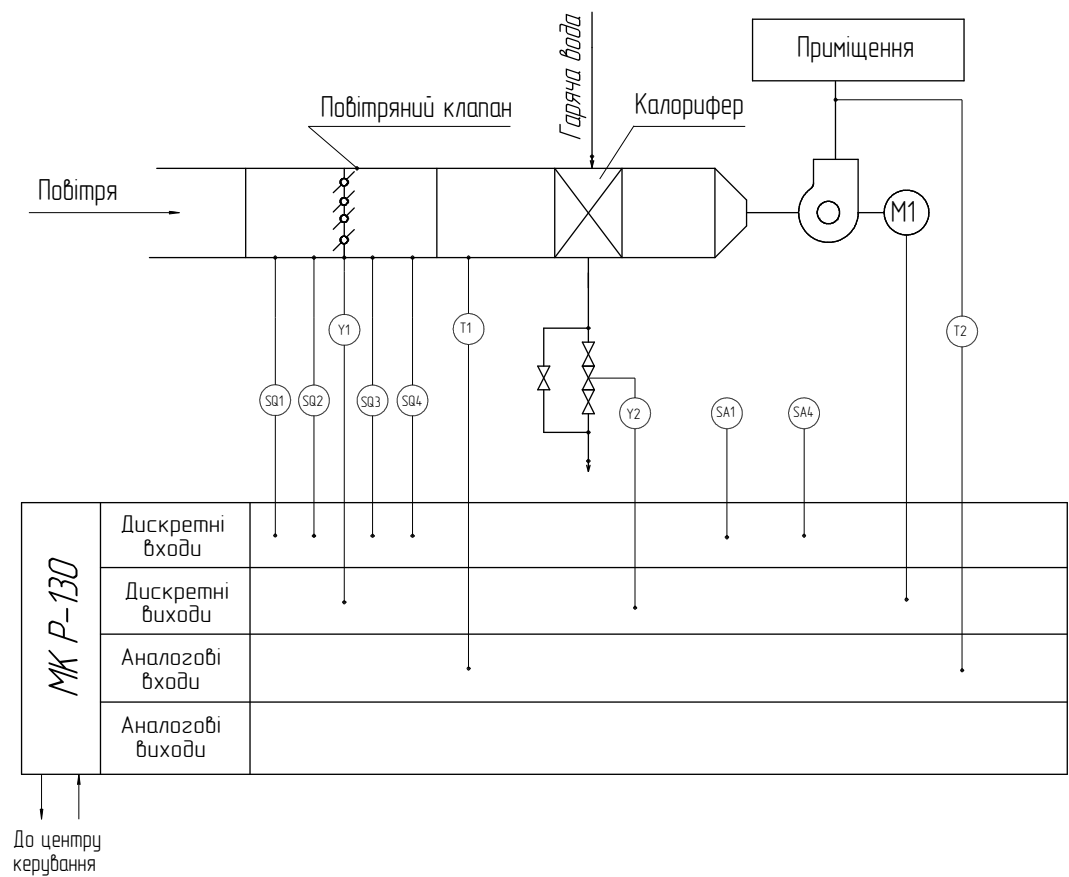


Рисунок 2.2 – Функціональна схема припливної камери:

SQ1...SQ4 – кінцеві вимикачі, завдяки яким повітряний клапан можна не тільки закриватися й відкриватися, а й зупинятися в проміжних положеннях.

2.3 Вимоги до систем керування швидкістю електропривода вентиляції цеху дезодорації

Ефективність САК у кожному конкретному випадку визначається ступенем задоволення поставлених до неї вимог. Найважливішою вимогою є забезпечення функціональної залежності між сигналами на вході та виході системи. При розробці системи прагнуть знайти розумний компроміс між високою якістю роботи та простотою технічної реалізації САК. Вимоги до САК різні і визначаються багатьма факторами. Звичайно ставлять вимоги:

- до запасу стійкості;
- до величини помилки в усталеному режимі (статичної точності);
- до поведінки системи в перехідному процесі при певних діяннях;
- до динамічної точності при діяннях, що неперервно змінюються.

2.4 Вибір принципу побудови системи керування швидкістю модернізованого електроприводу вентиляції

Оператор в залежності від мікроклімату в цеху дезодорації може встановлювати необхідне значення температури, а по даним датчиків температури може контролювати цей параметр.

Процес можна також регулювати автоматично. При цьому оператор задавачем встановлює необхідне значення температури, система автоматичного керування, діючи за принципом зворотного зв'язку, підтримує це значення. Керованим об'єктом в САК виступає електродвигун припливної камери, а інформаційними засобами датчики температури.

Дані складові частини САК необхідно вибрати та обґрунтувати.

3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1 Вибір типу привода вентилятора та розрахунок потужності двигуна

Нам потрібно вибрати вентилятор, який би задовольняв вихідні дані завдання. З додатку 1 книги [2] за заданим значенням $Q=11000 \text{ м}^3/\text{год}$ вибираємо тип вентилятора В-Ц14-46-5.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики вентилятора

Тип вентилятора	Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$	ККД вентилятора η_e	ККД передачі потужності η_o	Тиск, Па	Тип віброізолятора	Кількість віброізоляторів	Вага, кг	Швидкість обертання, об/хв
В-Ц14-46-5	11,0	0,7	1	2200- 2380	ДО-41	4	145	1460

З даних табл. 3.1 за формулою (3.1) розраховуємо потужність електродвигуна:

$$N = \frac{Q \cdot P_{\partial e}}{\eta_e \cdot \eta_o} \cdot k, \quad (3.1)$$

де Q – продуктивність вентилятора в $\text{м}^3/\text{с}$; $P_{\partial e}$ – тиск, який нагнітає вентилятор; η_e – ККД вентилятора; η_o – ККД передачі енергії обертання від електродвигуна до вентилятора ($\eta_o=1$ для з'єднання напряму); $k=1,1$ – коефіцієнт запасу.

$$N = \frac{3,055 \cdot 2200}{0,7 \cdot 1} \cdot 1,1 = 10563 \text{ Вт}.$$

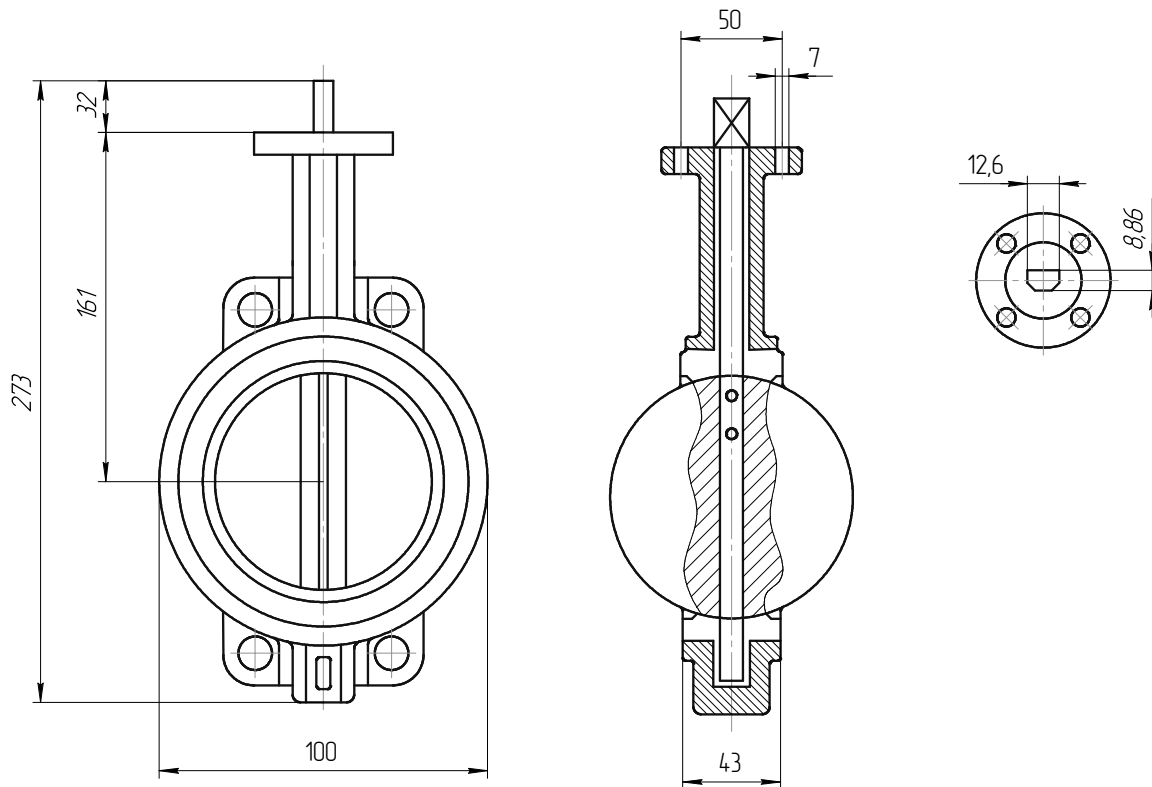
З додатку 5.2.2 книги [2] за даними $N = 11 \text{ кВт}$ та $\omega = 1460 \text{ об/хв}$ вибираємо двигун 4А132М4. Характеристики двигуна представлені в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики двигуна

Тип двигуна	Потужність, кВт	Частота обертання, об/хв	ККД	$\cos \varphi$	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	Момент інерції, кг/м^2	Вага, кг
4A132M4	11	1460	88,5	0,85	7,0	2,2	0,0349	64,9

3.2 Вибір типу привода клапана теплоносія

В якості регулюючого елемента подачі гарячої води до калорифера був обраний затвор поворотний дисковий ДУ 50-1200. Беремо затвор з діаметром труби $D_y=50$ мм.

Рисунок 3.1 – Клапан ДУ 50-1200 у виконанні $D_y=50$ мм

До даного затвору нам необхідно підібрати виконавчий механізм, який би мав необхідну силу для того, щоб повернути затворний механізм. В табл. 3.3 наведені обертові моменти для даного клапану.

Таблиця 3.3 – Обертові моменти поворотних затворів

Діаметр D_y , мм	Сила моменту, $H \cdot m$	
	Мокрий	Сухий
50	5	6
65	7	13
80	13	25
100	28	51
125	48	82
150	83	145
200	159	272
250	268	455
300	407	662
350	524	782
400	723	1081
450	971	1453
500	1298	1944
600	2033	3047

У нас клапан $D_y=50$ мм і він знаходиться завжди у мокрому середовищі, тому нам необхідний виконавчий механізм з моментом, як мінімум, 5 $H \cdot m$. Для цього підходить виконавчий механізм МЭО-6,3/12,5-0,25-99. Загальний опис механізмів МЭО був описаний в п. 1.3. В табл. 3.4 приведено таблицю технічних характеристик для даного механізму.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики деяких механізмів МЭО

Тип механізму	Номінальний крутний момент, <i>N·м</i>	Номінальний час повного ходу вихідного валу, <i>с</i>	Номінальне значення ходу вихідного валу від повного оберту, рад	Тип електродвигуна	Споживана потужність, <i>Вт</i>	Вага механізму, <i>кг</i>
МЭО-6,3/12,5	6,3	12,5	0,25	ДСОР 68-0,25	43	3,6
МЭО-12,5/25	12,5	25				
МЭО-16/30	16	30		ДСОР 68-0,16	35	
МЭО-25/63	25	63				
МЭО-40/10	40	10	0,25	ДАУ-10С	60	26

МЭО-40/25		25	0,63			
МЭО-100/10	100	10	0,25	ДАУ-25П	80	30
МЭО-100/25		25	0,63			

Механізми виконуються для роботи в поворотно-короткочасному реверсивному режимі з числом включень до 320 на годину і тривалістю включення до 25% при навантаженні на вихідному валу в межах, від номінального протидіючого до 0,5 номінального значення попутній. При цьому механізми допускають роботу на протязі 1 години в поворотно-короткочасному реверсивному режимі з числом включень до 630 в час і тривалістю включення до 25% з наступним повтором не раніше ніж через 3 години. Інтервал часу між виключенням і включенням на зворотну напругу – не менше 50 *мс*. Максимальна тривалість неперервної роботи механізму в реверсному режимі не повинна перевищувати 10 *хв*.

Механізми випускають у виконанні, яке допускає гальмування вихідного валу навантаженням. Сумарний час перебування механізму в загальмованому положенні на весь період експлуатації – 500 *год*.

Пусковий обертовий момент механізмів при номінальній напрузі живлення перевищує номінальний момент не менше, ніж в 1,7 разів.

Механізм повинен бути захищений від прямої дії сонячної радіації і атмосферних опадів. Степінь захисту механізму IP65 по ДСТУ 14254-96 забезпечує роботу механізму при наявності в навколишньому середовищі пилу та струменя води.

На рис. 3.2 показані загальний вигляд, габаритні та приєднувальні розміри механізму МЭО.

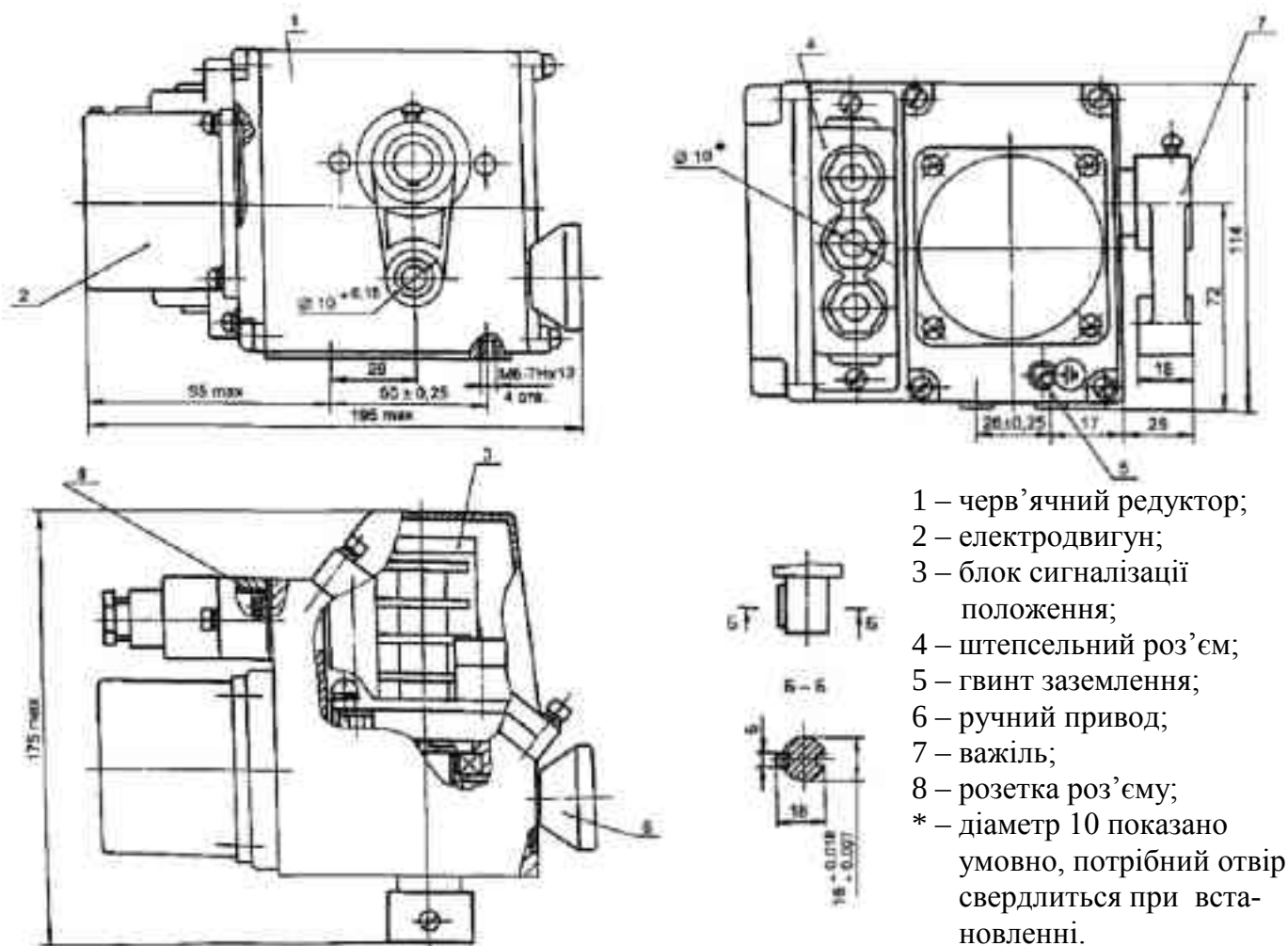


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд та габаритні розміри механізму МЭО

3.3 Розробка та обґрунтування вибору елементів силової частини припливної камери

3.3.1 Вибір та обґрунтування керуючого пристрою припливної камери

Управління складним промисловим устаткуванням може здійснюватися різними способами. Задавати команди і контролювати їх виконання може оператор зі свого пульта, що не завжди є оптимальним рішенням для важливого індустріального об'єкту. Наявність автоматичного устаткування і приладів для контролю і вимірювання вимагає миттєвої обробки сигналів, даних і відомостей про несправності. Людина навіть за допомогою комп'ютера не здатна здійснювати всі необхідні дії. Саме тому вже багато років в промисловості використовують спеціальні прилади – контролери.

Контролер – це прилад, який регулює роботу устаткування. Він отримує від всіх останніх пристроїв сигнали, які викликають у відповідь реакцію: включення або виключення тих або інших функцій, зміну параметрів, обробку і збереження інформації. У своєму первинному вигляді контролерами були шафи, які містили реле і контакти, логічно зв'язані між собою. Ці зразки проводилися з вже заданими функціями і параметрами управління, і змінити їх в робочому порядку було неможливо. З появою нових досягнень в області техніки, контролери почали розроблятися на роботі процесора. Це зробило можливим виконання не тільки логічних операцій, але і програмування приладу під конкретні умови. В даний час контролери мають можливість обробки і аналогових, і цифрових сигналів. Окрім можливості програмування, вони отримали і пам'ять для зберігання інформації.

У сучасних контролерах реле замінили мікропроцесори. Управляти технологічними процесами в промисловості стало набагато зручніше, завдяки можливості отримувати сигнали відразу від великої кількості устаткування і контрольно-вимірювальних приладів, швидкості обробки даних і надійності цього виду техніки. Серед вітчизняних контролерів найбільшого поширення набув прилад під назвою «Реміконт». Він давно і успішно застосовується на підприємствах нафтохімічної, енергетичної, металургійної, харчової промисловості і багатьох інших галузях індустрії. Цей контролер відрізняється від своїх закордонних аналогів доступнішою вартістю і надійністю при експлуатації. Він чудово підходить і для роботи з традиційним обладнанням, і для управління найновішими технологічними процесами. Є різні модифікації Реміконта, що носять маркування з декількох цифр і букв, наприклад, Реміконт-130, що найчастіше зустрічається. Оскільки промислове обладнання в нашій країні управляється саме цим видом контролера, то і всі новітні зразки базуються на моделях Реміконта. Скажімо, вже декілька років успішно застосовується модель Реміконт 130ISa, який має ширші можливості в області програмування і ефективного управління автоматичним устаткуванням на промисловому підприємстві.

Основні функції контролера Реміконт – побудова систем управління автоматичним устаткуванням і управління такими системами у дії. Контролер

здійснює регулювання систем, реєстрацію даних, отриманих від приладів, захист всієї системи від аварійної ситуації і блокування приладів у випадках, коли це необхідно. Обслуговувати контролер Реміконт може фахівець, навіть не знайомий з мовами програмування, оскільки параметри задаються за допомогою вибору модулів і блоків для кожного вхідного сигналу і витікаючого управління. Контролери, що є на підприємстві, можуть бути об'єднані в локальну мережу, а управління ними здійснюватиметься з комп'ютера. Вся інформація, що поступає, реєструється і зберігається в пам'яті пристрою. Вона може зберігатися там без підключення живлення до 10 років. Окрім цього, контролер Реміконт оснащений всіма необхідними системами самодіагностики і безпеки.

Опис мікроконтролера Реміконт Р-130

Таким чином, в якості керуючого пристрою припливної камери був вибраний мікроконтролер Реміконт Р-130. Його зовнішній вигляд зображений на рис. 3.3.

Вхідні-вихідні сигнали.

Всі аналогові і дискретні ланцюги (ланцюги ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом), які підключаються до контролера, діляться на дві групи: А і Б. Ланцюги групи А підключаються до середнього роз'єму «Гр.А», ланцюги групи Б – до нижнього роз'єму «Гр.Б». Обидва роз'єми ПЗО мають тип РП15-23 на 23 контакти.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд мікроконтролера Реміконт Р-130

На шасі контролера установлюють два модулі ПЗО, які взаємодіють з ланцюгами, підключеними до роз'ємів відповідно групи А і Б. Склад модулів ПЗО залежить від модифікації контролера.

В залежності від числа входів-виходів можуть бути залучені як обидві групи А і Б, так і тільки одна група. Останній випадок припускає модифікацію контролера з одним модулем ПЗО (друге посадкове місце залишається вільним).

Схема зовнішніх з'єднань для групи А і Б визначається типом модуля ПЗО, зв'язаного з роз'ємом відповідної групи. Всього є 7 типів модулів ПЗО. Ці модулі визначають 7 типів входів-виходів, які відрізняються номенклатурою сигналів і поєднанням входів та виходів. На рис. 3.4 представлено роз'єми для підключення контролера.

Вхідні сигнали:

- сигнали від термопар ТХК, ТХА, ТПР, ТВР, ТПП;
- сигнали від термометрів опорів ТСМ, ТСП;
- уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-10 В;
- дискретні сигнали:
 - логічна «1» напругою від 19 до 32 В;
 - логічний «0» напругою від 0 до 7 В.

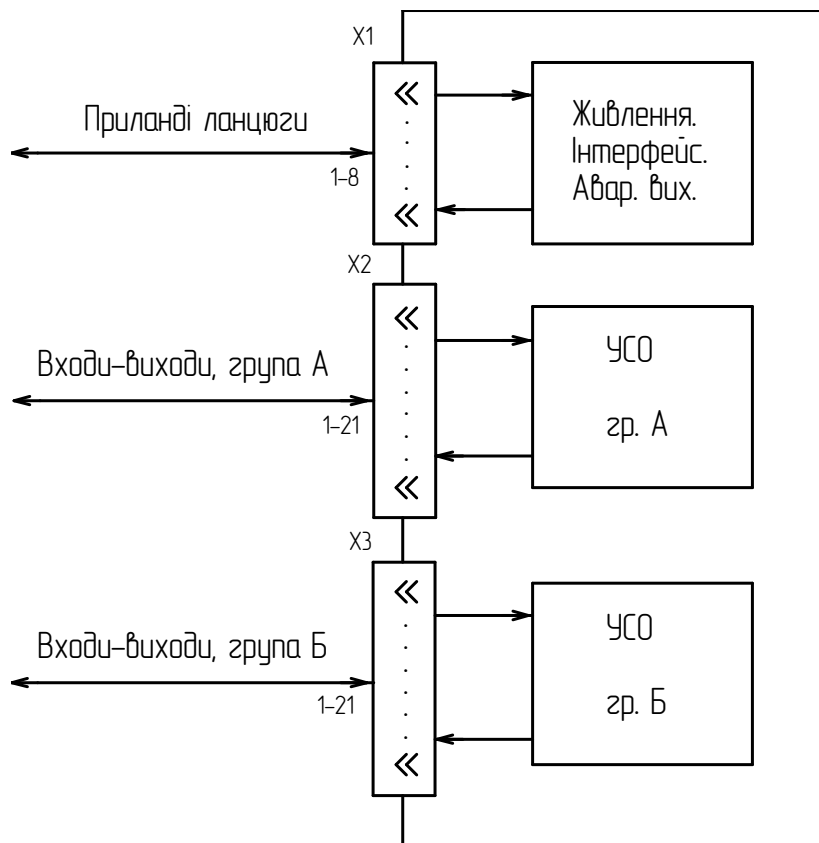


Рисунок 3.4 – Роз’єми підключення контролера (задня стінка шасі)

Таблиця 3.5 – Модулі ПЗО

Найменування та код модуля ПЗО		Кількість вхідних-вихідних сигналів			
		аналогових		дискретних	
Найменування модуля	Код	вхід	вихід	вхід	вихід
МАС (аналогових сигналів)	1	8	2	—	—
МДА (дискретно-аналогових)	2	8	—	—	4
МСД 0/16 (дискретних сигналів)	3	—	—	—	16
МСД 4/12 (дискретних сигналів)	4	—	—	4	12
МСД 8/8 (дискретних сигналів)	5	—	—	8	8
МСД 12/4 (дискретних сигналів)	6	—	—	12	4
МСД 16/0 (дискретних сигналів)	7	—	—	16	

Вихідні сигнали:

- уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА;
- дискретні сигнали:
 - транзисторного виходу – максимальна напруга комутації до 40 В, максимальний струм навантаження до 0,3 А;

– сильнотривого реленого виходу – напруга комутації 220 В, максимальний струм навантаження до 2 А.

Технічні характеристики.

Об'єм пам'яті: ПЗУ – 32 кбайт, ОЗУ – 8 кбайт, ППЗУ – 8 кбайт.

Поточний час (таймери, програмні задатчики і т.д.), постійні часу, інтервали від 0 до 819 с, від 0 до 819 хв, від 0 до 819 год.

Час циклу – від 0,2 до 2 с.

Кількість алгоблоків – 99.

Кількість алгоритмів в бібліотеці – 76.

Похибки перетворення: +0,4% для АЦП; +0,5% для ЦАП.

Час збереження інформації при відключенні живлення – до 10 років.

Канали інтерфейсного зв'язку – ИРПС або RS232C.

Швидкість обміну – 1,2; 2,4; 4,8; 9,6 кбіт/с.

Потужність, яку споживає контролер – до 15 ВА.

Електричне живлення – 220 В або 240 В частотою 50 Гц, 24 В постійного струму (при відсутності блоку живлення БП-1).

Умови експлуатації: температура від 1 до 45⁰С, вологість до 80% при температурі до 35⁰С.

Склад контролера Реміконт представлено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Склад контролера

Найменування	Габаритні розміри, мм	Вага, кг
Блок контролера БК-1	160x80x365	3,0
Блок живлення БП-1	133x100x137	1,8
Блок підсилення сигналів від термометрів опорів БУС-10	146x120x40	0,6
Блок підсилення потужності БУМ-10	146x133x40	0,7
Блок переключення резерву БПР-10	130x133x40	0,6
Блок шлюза БШ-1	160x80x365	3,0
Пульт настройки ПН-1	81x168x36	0,35

3.3.2 Розробка схеми випрямляча та стабілізатора напруги з послідовним регулюючим елементом

Для збільшення точності і стабільності роботи АЦП менше 1% запропоновано підняти за абсолютним значенням напругу на 2-3 В і збільшити стабільність. Для нашого випадку номінальна напруга живлення мережі $U_c = 220\text{ В}$; частота живлячої мережі $f_c = 50\text{ Гц}$; межа зміни напруги мережі живлення $a_c = 0,1$ та $b_c = 0,15$; Номінальна вихідна напруга $U_n = 27\text{ В}$; межі регулювання вихідної напруги $U_{n\text{ max}} = 30\text{ В}$ та $U_{n\text{ min}} = 24\text{ В}$; межі зміни струму навантаження $I_{n\text{ max}} = 0,6\text{ А}$ та $I_{n\text{ min}} = 0$; максимальна навколишня температура $t_{\text{окр max}} = +50^\circ\text{C}$ та мінімальна $t_{\text{окр min}} = -10^\circ\text{C}$; коефіцієнт стабілізації $k_{\text{ст}} \geq 400$; внутрішній опір $r_n \leq 0,1\text{ Ом}$; амплітуда пульсації на виході стабілізатора $U_{n\sim} \leq 2\text{ мВ}$; температурний коефіцієнт напруги $\gamma_n \leq \pm 3\text{ мВ}/^\circ\text{C}$.

Вибираємо схему стабілізатора з колекторним навантаженням підсилювача $T_y TД_2$. В регулюючому елементі T_p використаний кремнієвий транзистор.

В якості джерела опорного живлення $Д_1$ приймаємо стабілітрон типу Д818А, ТКН якого додатній і з всіх стабілітронів, які є, найбільш близький до абсолютного значення ТКН γ_y підсилюючого транзистора T_y . Визначимо та зрівняємо його з заданим в вихідних даних:

$$\gamma_{n1} = (\gamma_{Д1\text{ min}} + \gamma_{y\text{ max}}) / k_{Д\text{ min}} = (+1,8 - 2,5) / 0,3 = -2,33\text{ мВ}/^\circ\text{C}; \quad (3.2)$$

$$\gamma_{n2} = (\gamma_{Д1\text{ max}} + \gamma_{y\text{ min}}) / k_{Д\text{ max}} = (+2,2 - 1,9) / 0,47 = +0,64\text{ мВ}/^\circ\text{C}. \quad (3.3)$$

$$\gamma_{n1} \text{ відповідає } \gamma_{n\text{ max}} = -2,33\text{ мВ}/^\circ\text{C} < \pm 3\text{ мВ}/^\circ\text{C}, \text{ де}$$

$$k_{Д\text{ max}} = U_{Д1\text{ max}} / U_{n\text{ min}} = 11,25 / 24 = 0,47; \quad (3.4)$$

$$k_{Д\text{ min}} = U_{Д1\text{ min}} / U_{n\text{ max}} = 9 / 30 = 0,3. \quad (3.5)$$

В якості $Д_3$ використаємо два послідовно включених кремнієвих діода Д223, динамічний опір кожного з них при струмі 10 мА складає 4 Ом. Відносно велика напруга U_0 і малий динамічний опір $Д_3$ дозволяють відмовитися від використання $ТД_1(T_1, R_4)$ і використовувати резистор R_3 в якості опору, який обмежує струм діода $Д_3$. При максимальному значенні струму навантаження 0,6 А і можливому скиді

його до нуля, напрузі $U_H = 27\text{ В}$ та коефіцієнті пульсації $k_{n0} \approx 3 \div 5\%$ U_H доцільно використання однофазної мостової схеми, яка працює на ємнісному навантаженні.

На основі вище сказаного для розрахунку приймаємо схему на рис. 3.5.

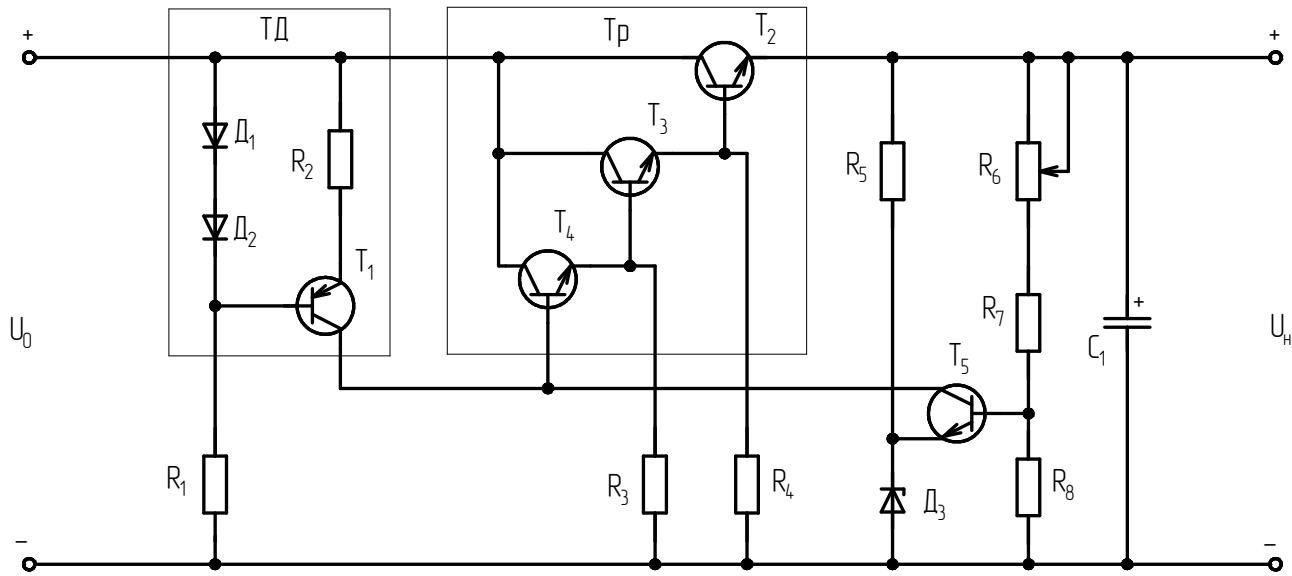


Рисунок 3.5 – Схема транзисторного стабілізатора напруги 27 В, 0,6 А

Коли в якості колекторного навантаження підсилювача T_5 використовується струмостабілізуючий двополіусний $ТД$, то навіть при двох послідовно включених діодах D_1 , D_2 мінімальна напруга на T_2 при трьох кремнієвих складених транзисторах T_2 , T_3 , T_4 буде не менше 4 В. Приймаємо мінімальну колекторну напругу транзистора T_2 $U_{KЭ2 \min} = 5\text{ В}$. Задаємо амплітуду пульсації на вході стабілізатора $U_{0\sim} = 3\%$ $U_{H \max} = 0,03 \cdot 30 = 0,9\text{ В}$.

Приймаємо $U_{0\sim} = 1\text{ В}$. Визначаємо мінімальну напругу на вході стабілізатора:

$$U_{0 \min} = U_{H \max} + U_{KЭ2 \min} + U_{0\sim} = 30 + 5 + 1 = 36\text{ В}. \quad (3.6)$$

Мінімальне споживання струму стабілізатором $I_{0 \min}$ при $U_{0 \min}$, $U_{H \min}$ та $I_{H \min}$ складається зі струмів, котрими ми задаємося, через вихідний дільник R_6 , R_7 , R_8 – 15 мА, резистор R_5 – 10 мА, резистор R_1 – 12 мА, резистор R_2 – 2 мА, резистори R_3 та R_4 орієнтовано по 5 мА. Вважаємо, що транзистори T_2 та T_3 кремнієві, для яких $I_{KB0 \max} = 5\text{ мА}$:

$$I_{0 \min} = I_{R1 \min} + I_{R2} + I_{R3 \min} + I_{R4 \min} + I_{R5 \min} + I_D = \quad (3.7)$$

$$= 12 + 2 + 5 + 5 + 10 + 15 = 49 \text{ мА}.$$

Приймаємо $I_{0 \min} = 50 \text{ мА}$.

Максимальне споживання струму від випрямляча $I'_{0 \max}$ при $U_{c \min}$, $I_{H \max}$ і

$U_{H \min}$ визначимо за формулою

$$I'_{0 \max} = I_{H \max} + I_{0 \min} = 0,6 + 0,05 = 0,65 \text{ А}. \quad (3.8)$$

$I_{0 \max}$ при $U_{c \max}$, $I_{H \max}$ і $U_{H \max}$ буде не суттєво відрізнятися від $I'_{0 \max}$. Його

точне значення ми зможемо отримати в кінці розрахунку.

Робимо вибір схеми і розрахунок випрямляча 36 В/0,65 А для транзисторних стабілізаторів напруги 27 В/0,6 А по наступним даним: мінімальна випрямлена напруга $U_{0 \min} = 36 \text{ В}$; максимальний струм навантаження випрямляча $I_{0 \max} = 0,65 \text{ А}$; мінімальний струм навантаження випрямляча $I_{0 \min} = 0,05 \text{ А}$; амплітуду пульсації $U_{0\sim} \leq 1 \text{ В}$ ($k_{no} \cong 3\%$); напруга мережі $U_c = 220 \text{ В}^{+10\%}_{-15\%}$ ($a_c = 0,1$ та $b_c = 0,15$); частота живлячої мережі $f_c = 50 \text{ Гц}$.

Вибираємо схему випрямлення – однофазний міст (рис. 3.6), в якості вентилів вибираємо кремнієві діоди типу Д299В ($U_{обр \max} = 100 \text{ В}$, $I_{ен.ср \max} = 0,4 \text{ А}$, $U_{np0} \approx 1 \text{ В}$, $r_{диф} \approx 0$).

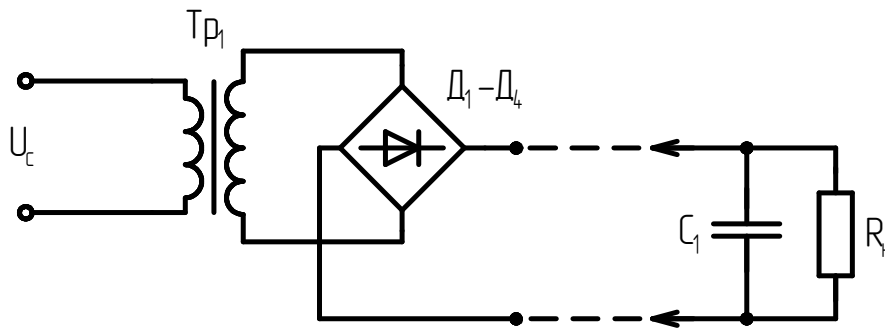


Рисунок 3.6 – Схема однофазного мостового випрямляча

Розрахункове значення мінімальної випрямленої напруги визначається за формулою:

$$U'_0 = n_e U_{np0} + U_0, \quad (3.9)$$

де U_0 – середнє значення випрямленої напруги на навантаженні; n_g – кількість послідовних включень вентилів.

$$U'_{0\min} = 2 \cdot 1 + 36 = 38 \text{ В.}$$

Активний опір трансформатора по формулі:

$$r_{Tp} = k_{rc} \frac{U_0 \cdot 10^{-3}}{I_0 f_c B_m} \sqrt[4]{\frac{S f_c B_m}{U_0 I_0}}, \quad (3.10)$$

де B_m – магнітна індукція в магнітопроводі для трансформаторів до 1000 В·А, приймається 1,2-1,6 Тл для мережі 50 Гц та 1,0-1,3 для мережі 400 Гц або по кривій $B_m = f(P_{mun})$ [3]; S – число стержнів магнітопроводу трансформатора, які мають обмотку ($S=1$ для магнітопроводів типу ШЛ і ОЛ, $S=2$ для магнітопроводів типу ПЛ з обмоткою на обох стержнях, $S=3$ для трьохфазних трансформаторів); f_c – частота живлячої мережі; k_{rc} – коефіцієнт, який залежить від схеми випрямлення ($k_{rc}=3,5 \cdot 10^3$ – для мостової схеми).

$$r_{Tp} = 3,5 \cdot 10^3 \frac{38 \cdot 10^{-3}}{0,65 \cdot 50 \cdot 1,2} \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 50 \cdot 1,2}{38 \cdot 0,65}} \cong 4 \text{ Ом.}$$

Розраховуємо параметри А по формулі:

$$A = \frac{I_0 \pi r}{p U_0} \quad (3.11)$$

де p – число імпульсів випрямленої напруги ($p=2$ для мостової і двополуперіодної схеми); r – опір фази випрямляча.

$$A = \frac{0,65 \cdot 3,14 \cdot 4}{2 \cdot 38} \cong 0,11.$$

З кривих (рис. 3-8–3-10 [4]) визначаємо коефіцієнти B , D , F , H : $B=0,9$; $D=2,4$; $F=7,5$; $H=180$.

Визначаємо параметри трансформатора (табл. 3-3 [4]):

1) діюча напруга вторинної обмотки

при $U_{c\min} = 190 \text{ В}$

$$U_{2\min} = B U'_{0\min} = 0,9 \cdot 38 = 34 \text{ В;} \quad (3.12)$$

при $U_c = 220 \text{ В}$

$$U_{2\text{ ном}} = \frac{BU'_{0\text{ min}}}{1-b_c} = \frac{0,9 \cdot 38}{0,85} = 40 \text{ В}; \quad (3.13)$$

при $U_{c\text{ max}} = 240 \text{ В}$

$$U_{2\text{ max}} = \frac{BU'_{0\text{ min}} (1+a_c)}{1-b_c} = \frac{0,9 \cdot 38 \cdot 1,1}{0,85} = 44 \text{ В}; \quad (3.14)$$

2) коефіцієнт трансформації $k_m = U_1 / U_2 = 220 / 40 = 5,5$;

3) струм вторинної обмотки $I_2 = 0,707 \cdot 2,4 \cdot 0,65 = 1,1 \text{ А}$;

4) струм первинної обмотки $I_1 = 0,707 \cdot 2,4 \cdot 0,65 / 5,5 = 0,2 \text{ А}$;

5) типова потужність

$$P_{\text{тип}} \cong U_{2\text{ ном}} I_2 = 40 \cdot 1,1 = 44 \text{ В} \cdot \text{А}. \quad (3.15)$$

За типовою потужністю та параметром вторинної обмотки вибирають або розраховують трансформатор [3].

Визначаємо параметри вентилів:

зворотна напруга

$$U_{\text{обр}} = \sqrt{2} U_{2\text{ max}} = 1,41 \cdot 44 = 62 \text{ В} < 100 \text{ В}; \quad (3.16)$$

середній струм одного вентиля

$$I_{\text{вн.ср}} = 0,5 I_{0\text{ max}} = 0,5 \cdot 0,65 = 0,33 \text{ А} < 0,4 \text{ А}. \quad (3.17)$$

Вентилі Д229В вибрані правильно.

Визначаємо значення ємкості фільтру по формулі:

$$C_\phi = \frac{100H}{rk_n}, \quad (3.18)$$

де C_ϕ – вимірюється в мікрофарадах, k_n – у відсотках, r – в омах.

$$C_\phi = \frac{100 \cdot 180}{4 \cdot 3} = 1500 \text{ мкФ}.$$

Максимальна напруга холостого ходу випрямляча

$$E_{0\text{ max}} \cong \sqrt{2} U_{2\text{ max}} = \sqrt{2} \cdot 44 = 62 \text{ В}. \quad (3.19)$$

Вибираємо конденсатори типу К50-3Б-100 В=200мкФ±10%, 9 шт., включення – в паралель.

Максимально допустима змінна складова (пульсація) частоти 100 Гц для даного типу конденсатора рівна $4,3 \text{ В} > U_{0\sim} = 1 \text{ В}$.

Усереднена величина внутрішнього опору випрямляча визначається за формулою:

$$r_0 = \frac{E_0 - U_0}{I_0}, \quad (3.20)$$

$$r_0 \cong \frac{\sqrt{2}U_{2\min} - U'_{0\min}}{I_{0\max} - I_{0\min}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 34 - 28}{0,65 - 0,05} = 17 \text{ Ом}. \quad (3.21)$$

Отже ми отримали дані:

$$U_0 = 44 \text{ В}; \quad U_{0\max} = 50 \text{ В}; \quad E_{0\max} = 58 \text{ В},$$

де $E_{0\max}$ – напруга на виході випрямляча при $U_{c\max}$ і $I_{0\min}$.

Потужність, що розсіюється на T_2 при $U_{0\max}$ і $U_{H\min}$, $I_{\Sigma 2} \approx I_{K2}$ і

$$I_{K2} \approx I_{H\max} + I_D + I_{R5\min} = 0,6 + 0,015 + 0,01 = 0,625 \text{ А}, \quad (3.22)$$

$$P_{K2} = (U_{0\max} - U_{H\min})I_{K2} = U_{K\Sigma 2}I_{K2} = (50 - 24)0,625 = 16,2 \text{ Вт}. \quad (3.23)$$

Виходячи зі значення P_{K2} , I_{K2} , $E_{K\Sigma 2} = I_{0\max} - U_{H\min} = 58 - 24 = 34 \text{ В}$, вибираємо в якості T_2 транзистор типу КТ803А.

При регулюванні вихідної напруги U_H за допомогою змінного резистора R_6 , включеного по схемі на рис. 3.6, струм I_D не змінюється. В якості джерела опорної напруги нами вибраний стабілітрон Д818А ($U_{ДЗ} = 9 \dots 11,25 \text{ В}$).

Опір резистора

$$R_5 = (U_{H\min} - U_{ДЗ\max}) / I_{R5\min} = (24 - 11,25) / 0,01 = 1,275 \text{ кОм}. \quad (3.24)$$

Вибираємо по ДСТУ $R_5 = 1,5 \text{ кОм}$.

Максимальний струм через резистор R_5

$$I_{R5\max} = (30 - 9) / 1,3 = 16 \text{ мА}. \quad (3.25)$$

Максимальна потужність, яка розсіюється на R_5

$$P_{R5\max} = I_{R5\max}^2 R_5 = 16^2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3 \cdot 10^3 = 0,33 \text{ Вт}. \quad (3.26)$$

Беремо резистор R_5 типу МЛТ-1 = 1,3 кОм. (Резистори постійні непроволочні слід застосовувати не менше ніж з подвійним запасом по потужності)

Максимальна напруга на транзисторі $T_2 E_{K\Sigma 2} = 34 \text{ В}$ не повинна перевищувати $K_{3U} E'_{K\Sigma 2}$, де K_{3U} – коефіцієнт запасу по напрузі, який приймають рівним 0,7-0,8. Для

транзистора КТ803А при температурі p - n переходу t_{nep} більше 100°C на кожні наступні 10°C потрібно знижувати на 10% $U_{KЭ2\max} = 60\text{ В}$.

Задамо температуру p - n переходу T_2 , $t_{nep}=120^{\circ}\text{C}$, тоді

$$E'_{KЭ2} = U_{KЭ2\max} (1 - 0,2) = 60 \cdot 0,8 = 48\text{ В}, \quad (3.27)$$

де $E'_{KЭ2}$ – гранично допустима напруга емітер-колектор T_2 при $t_{nep}=120^{\circ}\text{C}$;

$$E_{KЭ2} = 34\text{ В} < k_{3U} E'_{KЭ2} = 0,8 \cdot 48 = 38\text{ В}. \quad (3.28)$$

Таким чином, при температурі p - n переходу транзистора T_2 , 120°C якою ми задалися, забезпечується необхідний запас по напрузі k_{3U} , прийнятий нами рівним 0,8.

По таблиці (додаток ПЗ-2 [3]) для потужності 16,2 Вт при $t_{окр}=50^{\circ}\text{C}$ знаходимо площу радіатора 655 см^2 . Так як $I_{H\min} = 0$, то струм через резистор R_4 при

$U_{H\min}$ приймемо рівним $I_{R4\min} = I_{KB0\max} = 5\text{ мА}$:

$$R_4 = U_{H\min} / I_{R4\min} = (24 \cdot 10^3) / 5 = 4,8\text{ кОм}. \quad (3.29)$$

Вибираємо за ДСТУ $R_4=4,8\text{ кОм}$, тоді

$$I_{R4\max} = U_{R4\max} / R_4 = (U_{H\max} - U_{ЭБ2}) / R_4 = (30 - 0,7) / 4,7 = 6,3\text{ мА}. \quad (3.30)$$

Максимальна потужність, яка розсіюється на резисторі R_4 ,

$$P_{R4\max} = U_{R4\max}^2 / R_4 = 29,3^2 / 4700 = 0,19\text{ Вт}. \quad (3.31)$$

Беремо резистор $R_4=4,7\text{ кОм}$, 0,5 Вт, типу ОМЛТ. Визначаємо максимальне значення струму в ланцюгу емітера, приблизно рівне струму в ланцюзі колектора транзистора T_3 ,

при $U_{H\max}$

$$I_{K3} = I_{K2} / h_{21Э2\min} + I_{R4\max} = 625 / 10 + 6,3 = 69\text{ мА}, \quad (3.32)$$

при $U_{H\min}$

$$I'_{K3} = I_{K2} / h_{21Э2\min} + I_{R4\min} = 625 / 10 + 5 = 67,5\text{ мА}. \quad (3.33)$$

Потужність, яка розсіяна на транзисторі T_3 при $U_{c\max}$ і $U_{H\min}$,

$$P_{K3} = U_{KЭ3} I'_{K3} = 25,3 \cdot 0,0675 \approx 1,70\text{ Вт}, \quad (3.34)$$

де

$$U_{KЭ3} = U_{KЭ2} - U_{ЭБ2} = 26 - 0,7 = 25,3\text{ В}. \quad (3.35)$$

В якості T_3 вибираємо транзистор КТ803А.

Максимальна потужність, яка ним розсіюється без радіатора, визначається формулою

$$P_{K \max} = \frac{t_{nep} - t_{окр}}{R_{nep-окр}}, \quad (3.36)$$

де t_{nep} – температура $p-n$ переходу; $R_{nep-окр}$ – тепловий опір перехід-середовище, рівний $20^0\text{C}/\text{Вт}$.

Формула ця справедлива при $t_{окр} \geq 50^0$. При $t_{окр} < 50^0\text{C}$ $P_{K \max} = 5 \text{ Вт}$. Визначимо яку потужність може розсіяти транзистор КТ803А без радіатора з тим, щоб при $t_{окр} = 50^0$ температура його $p-n$ переходу була 120^0C :

$$P'_{K3} = (120 - 50) / 20 = 3,5 \text{ Вт};$$

$$P_{K3} = 1,70 \text{ Вт} < P'_{K3} = 3,5 \text{ Вт}.$$

Струм $I_{R3 \min}$ через резистор R_3 повинен бути не менше $I_{KB0 \max}$. Приймаємо

$$I_{R3 \min} = I_{R4 \min} = 5 \text{ мА}, \text{ тоді } R_3 = R_4 = 4,7 \text{ кОм}, \quad I_{R4 \max} = I_{R3 \max} = 6,3 \text{ мА}.$$

Визначаємо максимальний струм, який протікає в ланцюзі емітера транзистора T_4 :

$$I_{Э4} \approx I_{K4} = I_{K3} / h_{21Э3 \min} + I_{R3 \max} = 69/10 + 6,3 = 13,2 \text{ мА}. \quad (3.37)$$

Максимальна потужність, яка розсіюється на транзисторі T_4 ,

$$P_{K4} = U'_{KЭ4} I'_{K4} = 24,6 \cdot 12 = 295 \text{ мВт}, \quad (3.38)$$

де $U'_{KЭ4} = U_{KЭ2} - U_{ЭБ2} - U_{ЭБ3} = 26 - 0,7 - 0,7 = 24,6 \text{ В}$; $I'_{K4} = I'_{K3} / h_{21Э3 \min} + I_{R3 \min} = 67,5/10 + 5 = 12 \text{ мА}$ (при $U_{н \min}$).

Вибираємо транзистор T_4 типу КТ602Б, для якого $I_{K \max} = 75 \text{ мА}$; $t_{nep \max} = 120^0\text{C}$; $R_{nep-окр} = 0,15^0\text{C} / \text{мВт}$; $U_{KЭ \max}$ при $t_{nep} = 70^0\text{C}$ рівна 100 В і лінійно зменшується до 50 В при $t_{nep} = 120^0\text{C}$ (тобто зменшується на 10 В на кожні 10^0C збільшення температури $p-n$ переходу); $h_{21Э \min} = 50$.

Щоб мати необхідний запас не тільки по напрузі $U_{KЭ4}$, але також й з коефіцієнтом 0,8 по температурі $p-n$ переходу транзистора, прийmemo $t_{nep} = 100^0\text{C}$, тоді

$$P_{K4\max} = \frac{t_{\text{пер}} - t_{\text{окр}}}{R_{\text{пер-окр}}} = \frac{100 - 50}{0,15} = 330 \text{ мВт}. \quad (3.39)$$

Таким чином, $P_{K4\max} = 330 \text{ мВт}$ більше $P_{K4} = 295 \text{ мВт}$.

Визначаємо максимальне значення струму в ланцюзі бази транзистора T_4 :

$$I_{B4\max} = \frac{I_{K4}}{h_{21\Omega\min}} = \frac{13,2}{50} = 0,266 \text{ мА}. \quad (3.40)$$

Так як $I_{B4\max} < 0,5 \text{ мА}$, то кількість транзисторів РЭ приймаємо рівним трьом ($T_2 - T_4$).

Визначаємо струм колектора транзистора T_5 :

$$I_{K5} = (5 \div 6) I_{B4\max} = 5,50 \cdot 0,266 = 1,46 \text{ мА}, \quad (3.41)$$

приймаємо $I_{K5} = 1,5 \text{ мА}$.

Максимальна напруга на транзисторі T_5

$$U_{K\Omega5} = U_{\text{н max}} - U_{\text{ДЗ min}} + U_{\text{ЭБр}} = 30 - 9 + 2 = 23 \text{ В}, \quad (3.42)$$

де $U_{\text{ЭБр}}$ – напруга база-емітер складеного транзистора T_5 .

Максимальна потужність, яка розсіюється на транзисторі T_5 ,

$$P_{K5} = U_{K\Omega5} I_{K5} = 23 \cdot 1,5 = 35 \text{ мВт}. \quad (3.43)$$

Вибираємо в якості T_5 транзистор КТ312Б, у якого $U_{K\Omega\max} = 35 \text{ В}$,

$P_{K\max} = 225 \text{ мВт}$ при $t_{\text{кор}} \leq 60^\circ \text{ C}$, $t_{\text{пер max}} = 115^\circ \text{ C}$, $R_{\text{пер-окр}} = 0,4^\circ \text{ C / Вт}$, $R_{\text{пер-окр}} = 0,24^\circ \text{ C / Вт}$,

$I_{K\max} = 30 \text{ мА}$, $h_{21\Omega\min} = 25$.

Максимальне значення струму I_{K1} через транзистор T_1 і резистор R_2 рівне

$I_{K5} = 1,5 \text{ мА}$. Напруга на резисторі R_2

$$U_{R2} = U_{\text{Д1}} + U_{\text{Д2}} - U_{\text{ЭБ1}} = 0,7 + 0,7 - 0,7 = 0,7 \text{ В}, \quad (3.44)$$

де $U_{\text{ЭБ1}}$ – напруга база-емітер транзистора T_1 .

В якості T_1 вибираємо кремнієвий транзистор $p-n-p$.

Опір резистора

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_{K1}} = \frac{0,7}{1,5} \cdot 10^3 = 470 \text{ Ом}. \quad (3.45)$$

Потужність, яка розсіюється на R_2 ,

$$P_{R2\max} = \frac{U_{R2}^2}{R_2} = \frac{0,49}{470} = 0,001 \text{ Вт}. \quad (3.46)$$

Приймаємо R_2 типу МЛТ-0,25=470 Ом.

Максимальна напруга на транзисторі T_1

$$U_{KЭ1} = U_{KЭ2} - U_{ЭБp} - U_{R2} = 34 - 2 - 0,7 = 31,3 \text{ В}. \quad (3.47)$$

Максимальна потужність, яка розсіюється на T_1 ,

$$P_{K1} = U_{KЭ1} I_{K1} = 31,3 \cdot 1,5 = 47 \text{ мВт}. \quad (3.48)$$

Вибираємо транзистор T_1 кремнієвий типу МП114, для якого $I_{K\max} = 10 \text{ мА}$,

$$P_{K\max} = 150 \text{ мВт} \text{ і } U_{KЭ\max} = 60 \text{ В}.$$

Мінімальна напруга на транзисторі T_1

$$U_{KЭ1\min} = U_{KЭ2\min} - U_{R2} - U_{ЭБp} = 5 - 0,7 - 2 = 2,3 \text{ В}. \quad (3.49)$$

Опір резистора R_1 знайдемо із умови, щоб мінімальний струм через нього

$$I_{R1\min} = 10 \text{ мА},$$

$$R_1 = \frac{U_{0\min} - U_{Д1} - U_{Д2}}{I_{R1\min}} = \frac{36 - 1,4}{0,01} = 3460 \text{ Ом}. \quad (3.50)$$

Прийmemo за ДСТУ $R_1 = 3300 \text{ Ом}$.

Максимальний струм через резистор R_1

$$I_{R1\max} = \frac{E_{0\max} - U_{Д1} - U_{Д2}}{R_1} = \frac{58 - 1,4}{3,3} = 17 \text{ мА}. \quad (3.51)$$

Максимальна потужність, яка розсіюється на R_1 ,

$$P_{R1\max} = I_{R1\max}^2 R_1 = 17^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3300 = 0,95 \text{ Вт}. \quad (3.52)$$

Вибираємо резистор типу ОМЛТ-2=3,3 кОм.

На початку розрахунків ми задалися струмом I_D через дільник R_6 , R_7 , R_8 рівним 15 мА. Для початку визначимо загальний опір вихідного дільника

$$R_D = U_{н\max} / I_D = 30 / 15 = 2 \text{ кОм}. \quad (3.53)$$

Мінімальний і максимальний коефіцієнти передачі дільника були знайдені вище

$$k_{D\min} = 0,3; \quad k_{D\max} = 0,47.$$

Опір резистора R_8 рівний:

$$R_8 = k_{\mathcal{L} \min} R_{\mathcal{L}} = 0,3 \cdot 2000 = 600 \text{ Ом.} \quad (3.54)$$

Беремо за ДСТУ $R_8 = 620 \text{ Ом.}$

Опір резистора R_7 рівний:

$$R_7 = R_8 \frac{1 - k_{\mathcal{L} \max}}{k_{\mathcal{L} \max}} = 620 \frac{1 - 0,47}{0,47} = 700 \text{ Ом.} \quad (3.55)$$

Беремо за ДСТУ $R_7 = 680 \text{ Ом.}$

Опір змінного резистора R_6 рівний:

$$R_6 = R_{\mathcal{L}} - R_7 - R_8 = 2000 - 680 - 620 = 700 \text{ Ом.} \quad (3.56)$$

Беремо за ДСТУ $R_6 = 750 \text{ Ом.}$

Уточнюємо струм дільника $I_{\mathcal{L}}$ при $R_{\mathcal{L}} = R_6 + R_7 + R_8 = 750 + 680 + 620 = 2050 \text{ Ом.}$

$$I_{\mathcal{L}} = \frac{U_{\mathcal{H} \max}}{R_{\mathcal{L}}} = \frac{30}{2,05} = 14,6 \text{ мА.} \quad (3.57)$$

Потужності, які розсіюються на резисторах $R_6 - R_8$, визначаємо за формулою

$$P_R = I_{\mathcal{L}}^2 R; \quad (3.58)$$

$$P_{R6} = 215 \cdot 750 \cdot 10^{-6} = 0,16 \text{ Вт};$$

$$P_{R7} = 215 \cdot 680 \cdot 10^{-6} = 0,145 \text{ Вт};$$

$$P_{R8} = 215 \cdot 620 \cdot 10^{-6} = 0,135 \text{ Вт.}$$

Вибираємо проволочний резистор R_7 і R_8 типу ПТМН-0,5 та R_6 типу СП5-1.

Ємність C на виході стабілізатора вибираємо з умови забезпечення стійкості – відсутність генерації. Розрахунок ємності C тут не приводиться. Значення її звичайно лежать в межах від декількох десятків до сотень мікрофарад.

Опір резистора R_5 рівний:

$$R_5 = \frac{U_{\mathcal{H} \min} - U_{\mathcal{L}3 \max}}{I_{R5 \min}} = \frac{24 - 11,25}{0,01} = 1275 \text{ Ом.} \quad (3.59)$$

Беремо за ДСТУ $R_5 = 1,3 \text{ кОм.}$

Максимальний струм через резистор R_5

$$I_{R5 \max} = \frac{U_{\mathcal{H} \max} - U_{\mathcal{L}3 \min}}{R_5} = \frac{30 - 9}{1,3} = 16 \text{ мА.} \quad (3.60)$$

Максимальна потужність, яка розсіюється на R_5 ,

$$P_{R5\max} = I_{R5\max}^2 R_5 = 16^2 \cdot 10^{-6} \cdot 1300 = 0,33 \text{ Вт}. \quad (3.61)$$

Вибираємо резистор R_5 типу МЛТ-1=1,3 кОм.

Визначаємо коефіцієнт стабілізації:

$$k_{cm} = \frac{\mu_p k_y k'_D U}{1 + \mu_p \delta_2 U_0}, \quad (3.62)$$

де $k'_D = U_{D3\min} / U_H = 9/27 = 0,33$; $U_H = 27 \text{ В}$, $U_0 = 44 \text{ В}$;

$$\mu_p = \frac{\mu_2 \mu_3 \mu_4}{\mu_2 \mu_3 + \mu_2 \mu_4 + \mu_3 \mu_4} = \frac{800 \cdot 900 \cdot 1200}{800 \cdot 900 + 800 \cdot 1200 + 900 \cdot 1200} = 300. \quad (3.63)$$

Значення μ_2, μ_3, μ_4 і h_{119} транзисторів беремо з табл. 5-9 [3] або знаходимо по вхідним і вихідним характеристикам відповідних транзисторів:

$$k_y = \frac{h_{2195\min} R_K}{h_{1195} + R'_D + h_{2195\min} r_{cmD3}} = \frac{25 \cdot 4,9}{1 + 0,43 + 25 \cdot 0,025} = 60; \quad (3.64)$$

$$R_K = \frac{h_{119p} r_{TD}}{h_{119p} + r_{TD}} = \frac{5 \cdot 195}{200} = 4,9 \text{ кОм}; \quad (3.65)$$

$$h_{119p} = h_{1194} + h_{2194\min} h_{1193} + h_{2193\min} h_{2194\min} h_{1192} = 1500 + 50 \cdot 20 + 10 \cdot 50 \cdot 5 = 5 \text{ кОм}; \quad (3.66)$$

$$r_{TD} = \frac{R_1 R_2}{r_{\text{дифД1}} + r_{\text{дифД2}}} = \frac{3300 \cdot 470}{8} = 195 \text{ кОм}; \quad (3.67)$$

$$\delta_2 = \frac{R_{i5} \parallel h_{119p}}{r_{TD} + R_{i5} \parallel h_{119p}} = \frac{4,5}{195,5} = 0,0225; \quad (3.68)$$

$$R_{i5} = \frac{\mu_5 h_{1195}}{h_{2195\min}} = \frac{1200}{25} \cdot 1,0 = 48 \text{ кОм}; \quad (3.69)$$

$$R'_D = \frac{R_8 (R_6 + R_7)}{R_D} = \frac{620(750 + 680)}{2050} = 0,43 \text{ кОм}; \quad (3.70)$$

$$k_{cm} = \frac{300 \cdot 60 \cdot 0,33}{1 + 300 \cdot 0,0225} \cdot \frac{27}{44} = 480. \quad (3.71)$$

Слід мати на увазі, що в процесі розрахунку ми підставляли в формули мінімальні значення статичного коефіцієнта підсилювача за струмом h_{219} . В практично виконаному стабілізаторі k_{cm} може бути в декілька разів більше розрахункового.

Знаходимо внутрішній опір стабілізатора

$$r_n = \frac{R_{ip} + r_0(1 + \mu_p \delta_2)}{\mu_p k_y k'_d} = \frac{300 + 17(1 + 300 \cdot 0,025)}{300 \cdot 60 \cdot 0,33} = 0,072 \text{ Ом.} \quad (3.72)$$

Внутрішній опір випрямляча $r_0 = 17 \text{ Ом}$ (було визначено при розрахунку випрямляча)

$$R_{ip} = \frac{\mu_p h_{11\Omega p}}{h_{21\Omega p}} = \frac{300}{10 \cdot 10 \cdot 50} \cdot 5 \cdot 10^3 = 300 \text{ Ом.} \quad (3.73)$$

Приймаючи $q_{cm} = k_{cm}$, знайдемо $k_{n,n}$ за формулою

$$k_{n,n} = k_{n,o} / q_{cm} = 2,3 \cdot 10^{-2} / 480 = 4,8 \cdot 10^{-5}, \quad (3.74)$$

де $k_{n,o} = U_{0\sim} / U_0 = 1/44 = 2,3 \cdot 10^{-2}$.

Так як $k_{n,n} = U_{n\sim} / U_n$, то амплітуда пульсацій на виході стабілізатора

$$U_{n\sim} = k_{n,n} U_n = 4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 27 \cdot 10^3 = 1,3 \text{ мВ.} \quad (3.75)$$

Уточнимо максимальне значення струму $I_{0\max}$:

$$\begin{aligned} I_{0\max} &= I_{n\max} + I_d + I_{R5\max} + I_{R3\max} + I_{R4\max} + I_{R2} + I_{R1\max} = \\ &= 600 + 14,6 + 16 + 6,3 + 6,3 + 1,5 + 17 = 0,662 \text{ А.} \end{aligned} \quad (3.76)$$

Для розрахунку випрямляча було прийнято значення струму $I_0 = 0,65 \text{ А}$. Так як розбіжності незначні, проводити перерахунок випрямляча немає необхідності.

Визначимо ККД стабілізатора при $U_c = 220 \text{ В}$, $U_n = 30 \text{ В}$, $I_n = 0,6 \text{ А}$:

$$\eta_{cm} = \frac{U_n I_n}{U_0 I_0} = \frac{30 \cdot 0,6}{44 \cdot 0,65} = 0,63. \quad (3.77)$$

3.3.3. Розробка та обґрунтування привода вентилятора

Розробимо схему привода вентилятора. На рис. 3.7 зображена принципова схема привода вентилятора. Вона складається з електричного двигуна, який ми вже вибрали в п.3.1, підключеного до мережі живлення 380 В. Керування приводом може здійснюватися як в ручному, так і в автоматичному режимі за допомогою мікроконтролерного пристрою Реміконт Р-130. Перемикання режимів керування здійснюється за допомогою перемикача SA1. І в ручному, і в автоматичному режимі запуск двигуна відбувається за допомогою пускача А1. В схемі

передбачений захист: теплові реле і автоматичний вимикач з максимальнотривимим захистом.

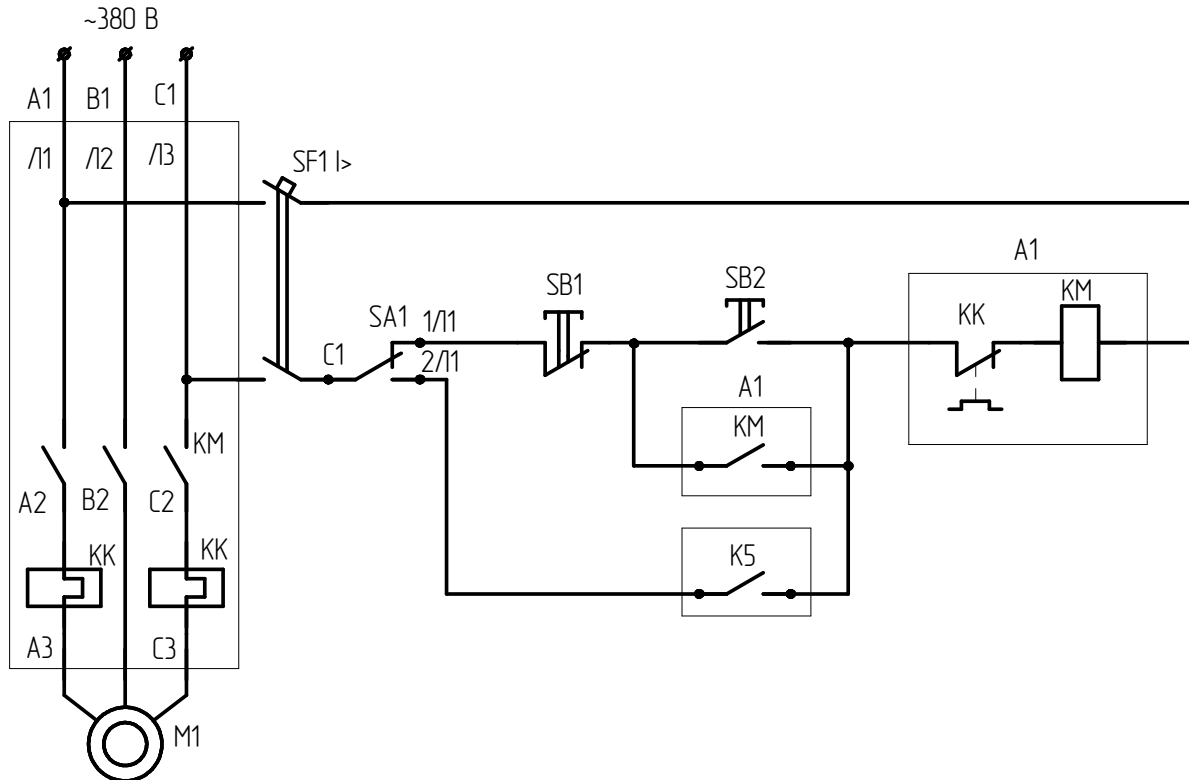


Рисунок 3.7 – Принципова схема привода вентилятора

3.3.4. Вибір магнітного пускача

Для приведення в рух різних механізмів широко використовуються електродвигуни змінного струму. Відомо, що в переважній більшості як електропривод застосовуються асинхронні електродвигуни потужністю 0,6-100 кВт. Для керування асинхронним електродвигуном (пуском, зупинкою, зміною напрямку обертання), а також для захисту його від ненормальних режимів (перевантаження, двофазного живлення, аварійного зростання струму при заклинюванні ротора і т. д.) слугує магнітний пускач, що є таким же невід'ємним елементом автоматизованого електроприводу змінного струму, як і сам асинхронний електродвигун. Від технічних характеристик магнітного пускача і його стану значною мірою залежить безвідмовна робота всього електроприводу.

По потужності двигуна і номінальній напрузі з урахуванням схеми управління вибираємо тип магнітного пускача з додатку 2 [7] за умовою

$$P_{\text{доп.мп}} > P_{\text{ном}} \quad \text{при } U_{\text{ном}} = U_c; \quad (3.78)$$

$$17 \text{ кВт} > 11 \text{ кВт} \quad \text{при } 380 \text{ В} = 380 \text{ В};$$

де $P_{\text{доп.мп}}$ – максимально допустима потужність двигуна для типу магнітного пускача; U_c – напруга мережі.

Вибраний реверсивний магнітний пускач ПАЕ–300.

Таблиця 3.7 – Характеристики реверсивного магнітного пускача

Серія	Тип	Максимальна потужність управляючого електродвигуна, кВт при 380 В	Номинальний струм, А	Виконання	Температура оточуючого середовища, °С	Вологість, %
ПАЕ	ПАЕ-300	17	36	Відкрите, захищене, пилогазозахищене.	Від -40 до +40	98 при +20°С

Захист від мінімальної напруги пускача виконує котушка яка розрахована на напругу спрацьовування

$$U_{\text{сп}} > 0,75 \cdot U_{\text{ном}}; \quad (3.79)$$

$$300 \text{ В} > 285 \text{ В}.$$

Дана умова виконується, отже магнітний пускач вибраний вірно.

3.3.5. Вибір теплового реле

Теплові реле захисту двигунів призначені для захисту електродвигунів. Мають функцію захисту від асиметрії фаз. Повторний взвод здійснюється у ручну або автоматично.

З урахуванням вибраного пускача виберемо тип та номінальний струм теплового реле з таблиці П.2-5 [7]

$$I_{\text{тр}} > I_{\text{нер}}; \quad (3.80)$$

$$I_{\text{нер}} = 1,07 \cdot 30,5 = 32,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{тр}} > 32,6 \text{ А};$$

$$40 \text{ А} > 32,6 \text{ А} \Rightarrow \text{вибираємо теплове реле ТРН-40.}$$

Двополюсні теплові струмові реле серії ТРН з температурною компенсацією, з номінальними струмами теплових елементів від 0,32 до 40 А призначені головним чином для захисту від неприпустимих перевантажень трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором, що працюють від мережі з номінальною напругою до 500 В при частоті 50 Гц. Реле можуть застосовуватися в мережах постійного струму з номінальною напругою до 440 В. Від коротких замикань реле не захищають і самі потребують такого захисту.

Реле використовуються в комплектних пристроях (відкритих і закритих) станцій керування електроприводами. Конструкція і розміри реле забезпечують їх комплектне вбудовування в пускачі серії ПМЕ і ПАЕ-300.

3.3.6. Вибір автоматичного вимикача

Автоматичні вимикачі призначені для захисту від струмів короткого замикання, перевантаження електричних ліній і приймачів енергії, для включень і відключень ліній і приймачів енергії. Автоматичний вимикач складається з наступних частин:

- контактна система;
- механізм вільного розчеплення;
- розчеплювачі (електромагнітний і тепловий);
- дугогасна камера.

Контактна система призначена безпосередньо для комутації електричних ланцюгів. Механізм вільного розчеплення дозволяє проводити перемикання автоматично або вручну. Розчеплювачі забезпечують відключення автоматичного вимикача при перевантаженнях і коротких замикань (тепловій і електромагнітній відповідно). Час спрацювання вимикача не більше 0,02 сек.

Вибираються автоматичні вимикачі по номінальному струму, напрузі і за умовами експлуатації (виходячи з типу виконання). Якщо необхідно вибрати автомат для підключення відомих навантажень необхідно розрахувати струм.

Вибирається автоматичний вимикач виходячи з наступної умови

$$I_{н.р.} \geq I_{м} \quad (3.81)$$

де $I_{н.р.}$ – номінальний струм розчеплювача;

$I_{м}$ – максимальний струм навантаження електроприймача.

Розрахуємо номінальний струм розчеплювача

$$I_{н.р.} = \frac{P_{н.}}{U_{н.}} = \frac{11000}{380} = 29 \text{ А.} \quad (3.82)$$

В нашому випадку $I_{н.р.} = 29 \text{ А}$, таким чином $I_{м} = 2,2 \cdot I_{н.р.} = 63,8 \text{ А}$, вибираємо автоматичний вимикач А63-МГ, дані якого наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Характеристики автоматичного вимикача

Тип	Кількість полюсів	Ном. напруга, В	$I_{н.р.}, \text{ А}$	Перевищення струмів розчеплення $I_{уст}/I_{н.р.}$	Зносостійкість, циклів	
					загальна	комутаційна
А63-МГ	3	380	65	1,3	16000	8000

3.3.7. Вибір та обґрунтування термодатчика

Розрізняють металеві та напівпровідникові термометри опору.

Металеві термоопори виготовляють з чистих металів, переважно з міді або платини, рідше – з нікелю, вольфраму або заліза. Температурний коефіцієнт електричного опору (ТКС) для чистих металів складає приблизно $(4-6,5) \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, тобто при зміні температури на $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ опір металевого терморезистора зміниться на 0,4-0,65 %. Деякі характеристики чистих металів, які використовуються в термоопорах, приведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Характеристика чистих металів, які використовуються в термоопорах

Матеріал	ТКС, в діапазоні $0-100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	Питомий опір при $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
Платина	$3,94 \cdot 10^{-3}$	0,105

Мідь	$4,27 \cdot 10^{-3}$	0,017
Нікель	$6,50 \cdot 10^{-3}$	0,080
Вольфрам	$4,80 \cdot 10^{-3}$	0,055

Застосування в термоопорах головним чином міді або платини пов'язане з такими властивостями нікелю і вольфраму, як тугоплавкість, підвищена окислюваність, розкид параметрів від зразка до зразка.

Конструктивно чутливі елементи термоопорів з платини або міді (рис. 3.8), виконані у формі спіралі (4), поміщають в керамічні трубки (2), заповнені керамічним порошком (3). До обмотки чутливих елементів кріпляться виводи (1). Чутливий елемент поміщають в корпус захисної арматури, конструкція якого залежить від умов вимірювання і, як правило, виконана з нержавіючої сталі.

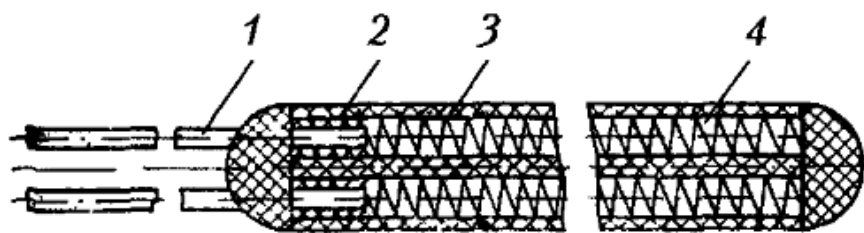


Рисунок 3.8 – Чутливий елемент термометра опоры:

1 – виводи; 2 – керамічна трубка; 3 – керамічний порошок; 4 – платинова спіраль

На рис. 3.9 показана конструкція каналного термоперетворювача опоры. Чутливий елемент (3) поміщений в корпус (4), виводи термоопору проходять через керамічні наміста (5) і під'єднуються до затисків (1) головки перетворювача. До лінії зв'язку перетворювач під'єднується через сальниковий ущільнювач (6). На технологічних трубо- і повітроводах перетворювач вставляють в гніздо і укріплюють штуцером (2). Монтажна довжина (L) і діаметр захисного корпусу можуть бути відповідно від 10 до 1350 мм і від 10 до 30 мм.

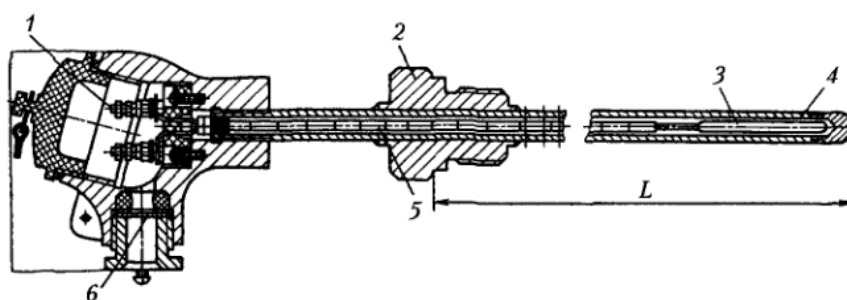


Рисунок 3.9 – Конструкція каналного термоперетворювача опоры:

1 – зажими головки перетворювача; 2 – штуцер; 3 – чутливий елемент; 4 – корпус;
5 – керамічне намисто; 6 – сальниковий ущільнювач

Серійно випускаються мідні (ТСМ) і платинові (ТСП) термоперетворювачі.

Порівняльні характеристики ТСМ і ТСП перетворювачів приведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики термоперетворювачів опору ТСМ і ТСП

Тип перетворювача	Діапазон вимірів, °C	НСХ	Клас допуску	Показник теплової інерції, с	Ступінь захисту
ТСП	200...600	50П	А, В	20, 40	IP20, IP55
		100П			IP55
ТСМ	50...180	50М	В, С	8, 20, 30, 40	IP20, IP55
		100М		8,30	IP55

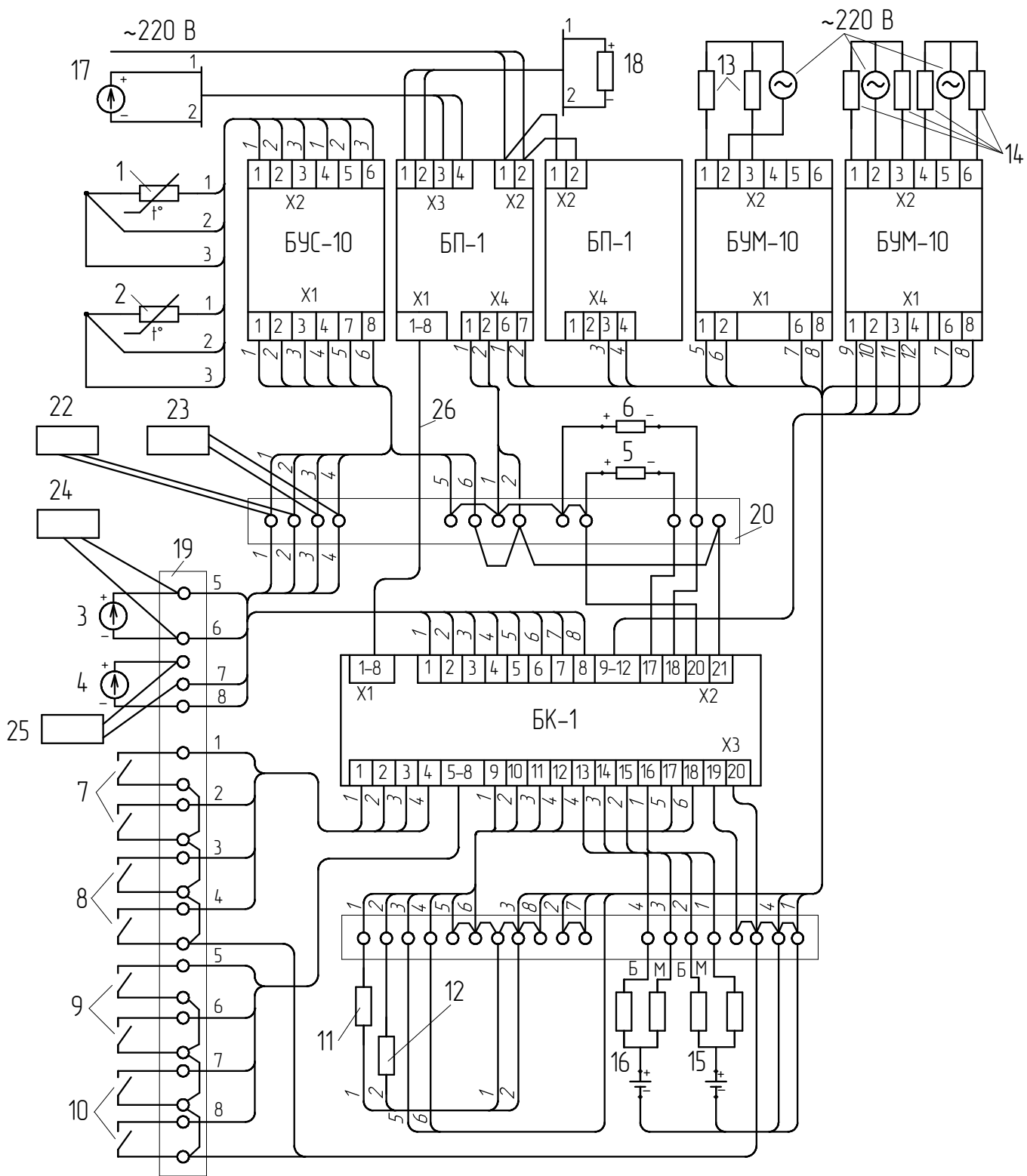
Для нашої системи вибираємо термоперетворювач опору ТСП-100П.

3.4 Розробка принципової схеми керування припливною камерою

3.4.1 Розробка та обґрунтування принципової схеми мікроконтролера Реміконт Р-130

На рис. 3.10 зображена принципова схема мікроконтролера Реміконт Р-130, в склад якого окрім контролера БК-1 входять також один підсилювач сигналу БУС-10, два підсилювачі потужності БУМ-10 та два блоки живлення.

Контролер має модифікацію 15, це означає що контролер має 8 аналогових входів і 2 аналогових виходи, а також 8 дискретних входів і 8 дискретних виходів.



Р

исунок 3.11 – Принципова схема мікроконтролера Реміконт Р-130

В схемі є:

- 1) 4 аналогових вхідних сигнали, з них два з термоопорів (1, 2), один струмовий сигнал 4-20 мА (3) та один сигнал по напрузі 0-10 В (4).
- 2) 2 аналогових виходи 0-5 мА (5, 6) (не задіяні).
- 3) 8 дискретних вхідних сигнали у вигляді сухих контактів (7-10).

4) 2 дискретних виходи 24 В (11, 12) (не задіяні).

5) 3 пари дискретних виходів 220 В (13, 14).

6) 2 імпульсних вихода, навантаження яких мають вбудоване джерело живлення (15, 16) (не задіяні).

Для підсилення сигналів термоопорів використовується підсилювач БУС-10, для формування дискретного виходу 220 В використовується підсилювач БУМ-10.

Контролер зв'язаний інтерфейсом з передавачем (17) та приймачем (18) абонента.

Живиться контролер від мережі змінного струму 220 В частотою 50 Гц.

Для підключення зовнішніх ланцюгів і міжблочної комутації використовується три проклемника 19-21.

Термоопори 1 і 2 підключені безпосередньо до клемної колодки Х2 підсилювача БУС-10. Входи підсилювача поступають на аналогові входи контролера. Так як виходи БУС-10 сигнали мають діапазон 0-5 мА, паралельно кожному з виходів на проклемнику встановлений нормуючий резистор РН-1/05 (22, 23), який перетворює сигнал 0-5 мА в сигнал 0-2 В. Паралельно джерелу струму 4-20 мА на проклемнику встановлений нормуючий резистор РН-1/20 (24). Послідовно з джерелом напруги 0-10 В на проклемнику встановлений нормуючий резистор РН-1/20 (25).

8 дискретних вхідних сигнали у вигляді сухих контактів 7-10 через проклемник 19 підключається до дискретних входів контролера. Живляться дискретні входи напругою 24 В, яка сформована правим по схемі блоком живлення БП-1.

Живлення блоків відбувається наступним чином. Контролер БК-1 через міжблочний з'єднувач 26 живиться від лівого на схемі блоку живлення БП-1. Напруга 24 В правого на схемі блоку БП-1 живить дискретні входи-виходи контролера БК-1.

3.4.2. Опис роботи модуля процесора ПРЦ-10

При подачі напруги живлення ПРЦ на вході RESIN мікропроцесора (МП) – низька напруга, так як конденсатор C29 розряджений. Починає працювати тактовий генератор МП, внутрішні схеми МП і через вхід RESOULT D10 та D15 встановлюються в вихідне положення.

МП утримується в стані «скидання» до тих пір, доки конденсатор C29 через резистори R1 та R3 не зарядиться до напруги високого логічного рівня. МП починає працювати з машинного циклу «читання коду операції». В першому такті МП виставляє нульовий код на шинах адреси A8...A15 и на шині A/D. По сигналу ALE код адреси A0...A7 фіксується в регістрі D12. По сигналу стану IC/M (низький рівень) спрацьовує D16 та вибирає D23. В другому такті по сигналу $\overline{RD}$ D13 переводиться в стан передачі даних в МП і код операції з ПЗУ D23 поступає на шину A/D. МП аналізує стан входу READY. На цьому вході при запиті МП до ПЗП та ОЗП завжди напруга високого рівня (входи D4.3 в стані низького рівня). МП зчитує код операції без такту очікування. Як правило в нульовій комірці ПЗП знаходиться код операції безумовного переходу й МП зчитує ще два байти адреси переходу й переходить на програму роботи P-130.

На початку цієї програми відбувається програмування режимів роботи таймера D28 та ІРПС D10.

Режим читання ОЗП не відрізняється від режиму читання ПЗП.

Вибір мікросхеми ОЗП відбувається D17.

В режимі звертання до периферії вводяться такти очікування. По сигналам $\overline{RD}$ чи $\overline{WR}$ вихід D14.2 встановлюється в стан високого рівня й на вході READY МП – низький рівень.

D14.2 спільно з C31 й D32 утворюють одновібратор. C31 заряджається вхідним струмом D3.2, вихід D3.2 переходить в стан низького рівня, тригер D14.2 встановлюється в вихідне положення і на вході READY МП – високий рівень.

При операції запису в ОЗП в другому такті машинного циклу МП виставляє на шину A/D дані запису і сигнал $\overline{WR}$. $\overline{WR}$ затримується на половину такту і

поступає на дешифратор D17, котрий видає сигнал $\overline{CS}$ на одну з мікросхем D24...D27.

Для запису в ПЗУ Введений формувач сигналу.

Запис ПЗП, який складається з D8.1, D8.2,D7, D2.3, D2.4, D3.5, D9.4, D15.1. В формуванні сигналу довжини приймає участь таймер D28. При цьому на вході READY МП встановлюється низький рівень. Діаграма запису ПЗП приведена на рис.3.11.

На рис. 3.12 зображена принципова схема модуля процесора ПРЦ-10.

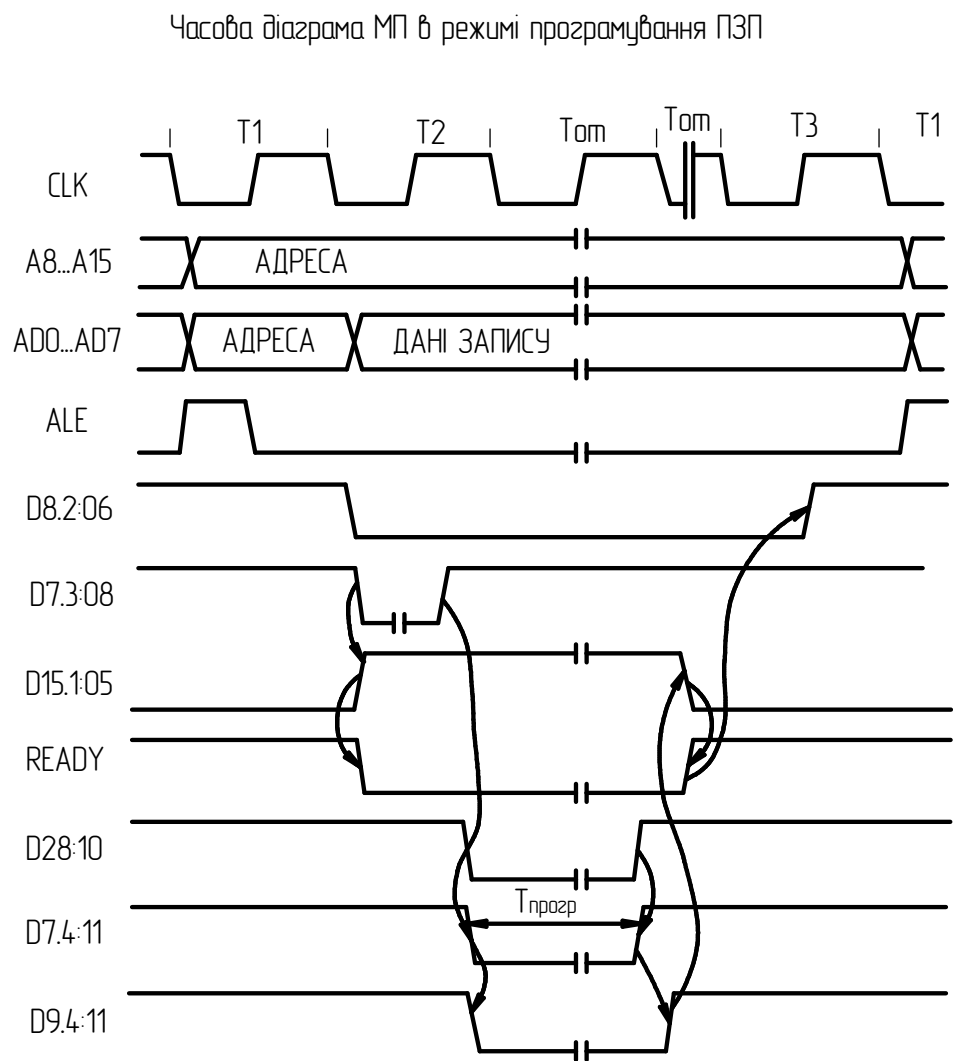


Рисунок 3.11 – Часова діаграма МП в режимі програмування ПЗП

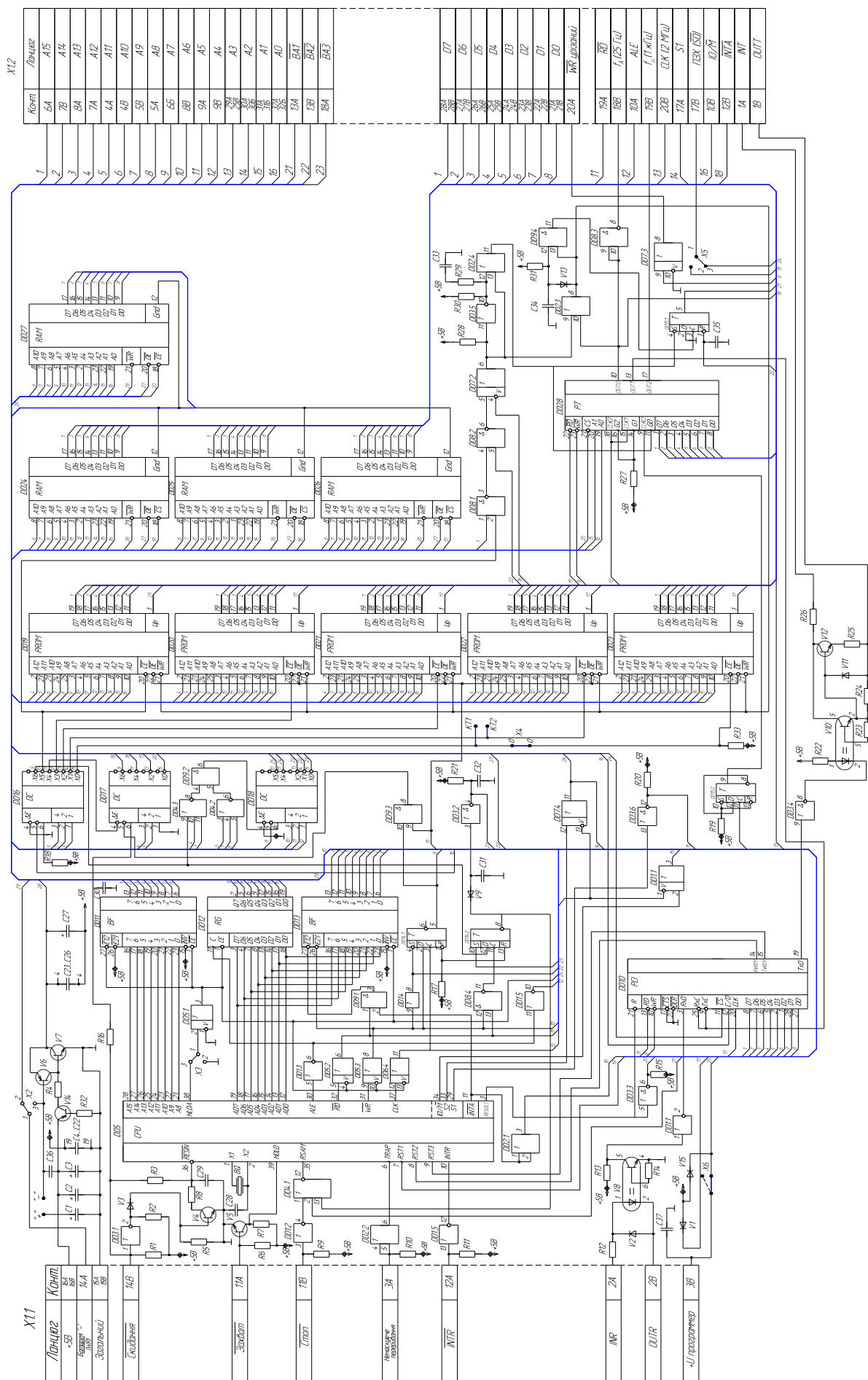


Рисунок 3.12 – Принципова схема модуля процесора ПРЦ-10

4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи

4.1 Розробка структурної схеми

4.1.1. Опис та обґрунтування структурної схеми

Структурна схема електропривода приточної камери для підтримання температури в повітропроводі подана на рис. 4.1.

Ця схема включає в себе наступні основні вузли. Датчик температури з результируючим коефіцієнтом передачі 1 подано прямим проводом. Цей елемент реалізований реальним датчиком ТСП з вхідним підсилювачем БУС-10 для приведення сигналу до стандартного рівня 0-10В. Подальше підсилення сигналу у вигляді коду проводиться процесорним елементом блока контролера БК-1, який доводиться до величини значення реальної температури.

Далі структурна схема включає в себе трипозиційний регулятор. Позиційні регулятори реалізують пропорційний закон регулювання при $k_D \rightarrow \infty$. На відміну від аналогових регуляторів позиційні регулятори формують вихідний сигнал U_p , який має певну кількість постійних значень, наприклад два або три, які відповідають дво- або трипозиційним регуляторам.

В трипозиційному регуляторі, крім кратних значень регулюючого значення U_p , є середнє значення U_{p0} , яке характеризує стан – «норма».

Характеристика трипозиційного регулятора описується виразом:

$$U_p = \begin{cases} U_{p\max} & \text{при } \varepsilon(t) > \varepsilon; \\ U_{p0} & \text{при } \varepsilon(t) < |\Delta\varepsilon|; \\ U_{p\min} & \text{при } \varepsilon(t) < -\varepsilon, \end{cases} \quad (4.1)$$

де $\Delta\varepsilon$ – зона нечутливості (параметр настройки позиційних регуляторів).



Схематичний та графічні алгоритми трипозиційного регулятора показані на рис. 4.2.

Ця схема включає в себе наступні основні вузли. Датчик температури з результирующим коефіцієнтом передачі 1 подано прямим проводом. Цей елемент реалізований реальним датчиком ТСП з вхідним підсилювачем БУС-10 для приведення сигналу до стандартного рівня 0-10В. Подальше підсилення сигналу у вигляді коду проводиться процесорним елементом блока контролера БК-1, який доводиться до величини значення реальної температури.

Введення зони нечутливості особливо при реалізації двох протилежно напрямлених управляючих дій, наприклад, нагрів та охолодження. При відсутності зони нечутливості процес регулювання буде мати ярко виражений автоколивальний характер. Вираз (4.1) представляє характеристики ідеального позиційного регулятора.

В реальних регуляторах із наявністю нестабільності зміни параметра, використовується регулятор із гістерезисом. За допомогою регуляторів $Reg -$ та $Reg +$ виконується керування реле розташованими в БУМ-10 К1 і К2. Далі сигнали подаються на кінцеві вимикачі механізму МЭО SQ^1 і $SQ1$. Двигун подано інерційною ланкою $Dvig$. Замість двох обмоток двигуна МЭО використана одна обмотка в структурній схемі, а їх фазність забезпечується двома полярностями напруги живлення. Редуктор на перехід від частоти до кута подано структурними елементами Red , $Integrator$, Fi . На виході цього редуктора кут повороту його валу змінюється від -45^0 до $+45^0$.

Кран на структурній схемі виконано за 3-ма елементами dFi , суматор, $Normaliz$. Ці елементи дають можливість отримати значення зміни відносної площі перетину крана від 0 до 1 при зміні кута на вході крана від -45^0 до $+45^0$.

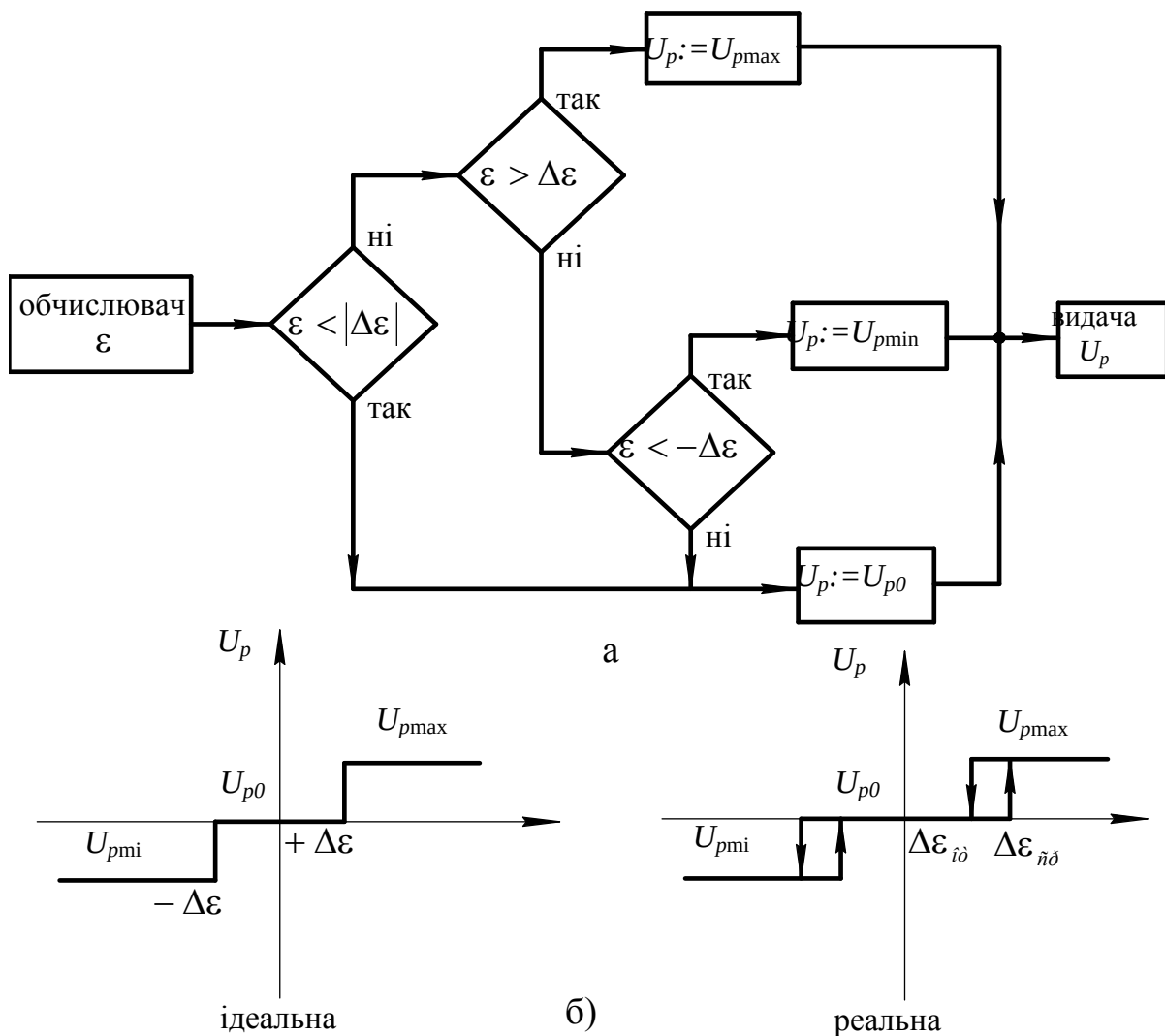


Рисунок 4.2 – Алгоритм дії трипозиційного регулятора:

а) – схематична форма; б) – графічна форма.

Теплообмінник припливної камери при постійній температурі теплоносія та фіксованій подачі повітря подано інерційною ланкою T_{ploop} . Коефіцієнти K_{tepl} та T_{tepl} являють собою значення усталеної температури та постійної часу відповідно. Збурююча ланка зміни температури за рахунок зовнішнього середовища подана двома ланками $Ramp$ і $Ramp1$ із суматорами.

Повітропровід відображений двома ланками $Vozduhovod$ і $Transprt Delay$.

Для швидкостей, характерних для нашого випадку на рис. 4.3 приведена типова розгінна характеристика зміни температури і передаточна функція повітроводу.

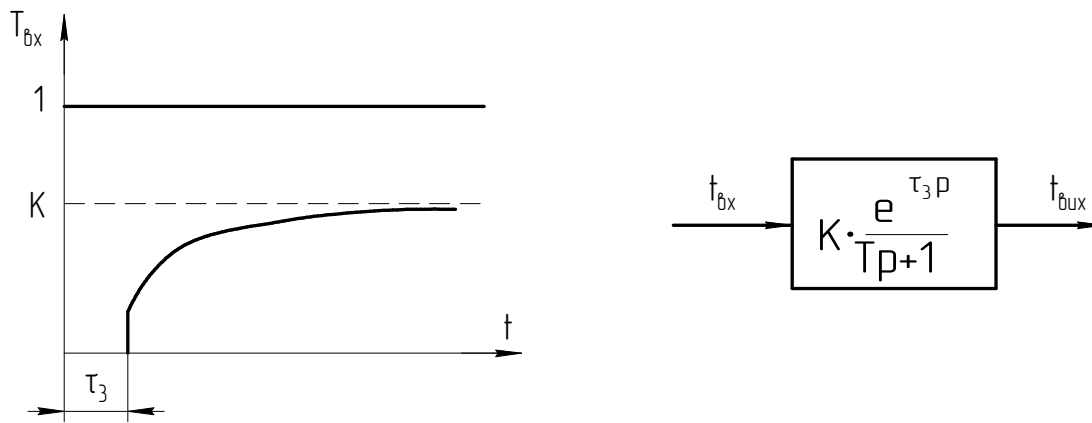


Рисунок 4.3 – Типова розгінна характеристика зміни температури і передаточна функція повітроводу

При стрибковій зміні $t_{вх}$ спочатку на виході температура протягом часу τ_3 не змінюється, а потім плавно наближається до усталеного значення. Для практичного використання побудовані залежності коефіцієнта K від довжини l , діаметра d і швидкості повітря v . При великих довжинах їх впливом на температуру повітря знехтувати не можна. Для ізольованих трубопроводів інерційність процесу теплопередачі враховується постійною часу T .

$$T = 0,04 \cdot \tau_3 \cdot \sqrt[3]{d^2}, \quad (4.2)$$

де d – діаметр повітроводу, м.

Для аналізу роботи системи також враховується транспортне запізнення і має бути проаналізоване для трьох значень $\tau_3 = 0; 0,6; 3$ секунди.

Для діаметра труби 30 см відповідно постійна теплопередачі має значення 0; 0,0108; 0,0538 с. Коефіцієнт передачі K складає 0,8.

4.2 Аналіз перехідних процесів

Аналіз перехідних процесів на основі розробленої структурної схеми виконувався за допомогою середовища MATLAB та його додатку Simulink. Аналіз роботи системи проведено для трьох варіантів затримки в повітропроводі $\tau_3 = 0; 0,6; 3$ с., що відповідає різним довжинам трубопроводів. На рис. 4.4 та рис. 4.5 приведені діаграми залежностей вихідних сигналів регуляторів $U_{рег1}$ та $U_{рег2}$, які

відповідають алгоритму роботи цих регуляторів за їх вхідними температурними сигналами. Сигнали $U_{\kappa 1}$ та $U_{\kappa 2}$ на вході комутуючих реле розташованих в БУС-10 відтворені на рис. 4.6 і рис. 4.7.

Напруга на вході двигуна показана на рис. 4.8. Додатне значення напруги означає подачу на першу обмотку двигуна, а від’ємне – на другу обмотку двигуна.

Всі попередні діаграми подані лише для нульового варіанту часу затримки в повітроводі. На рис. 4.9, рис. 4.10, рис. 4.11 подані діаграми температур відповідно при термінах затримки 0 с, 0,6 с, 3 с.

На останньому рис. 4.12 відображено діаграму збурюючої дії у вигляді температурного впливу зовнішнього середовища. Із побудованих попередніх процесів видно, що період коливань температури в припливній камері знаходиться в межах від 20-50 с. Амплітуда коливань при $\tau_3 \leq 0,6 \text{ с}$ не перевищує 1°C , а при $\tau_3 \leq 3 \text{ с}$ не перевищує $1,8^{\circ}\text{C}$. Перерегулювання температури відносно середнього рівня не перевищує $2,7^{\circ}\text{C}$.

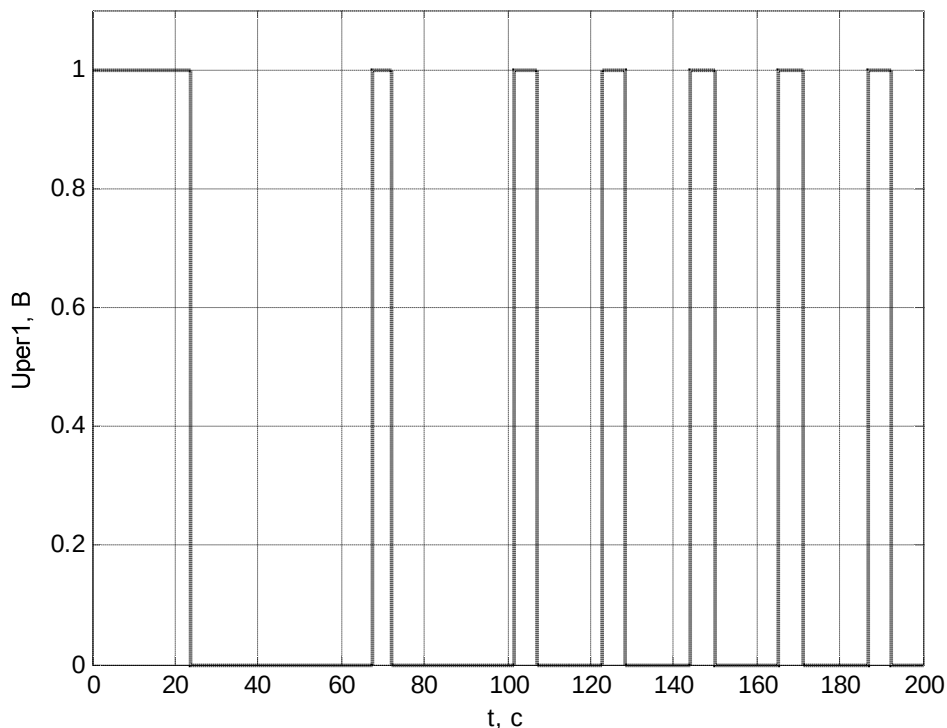


Рисунок 4.4 – Діаграма залежності вихідного сигналу регулятора U_{per1}

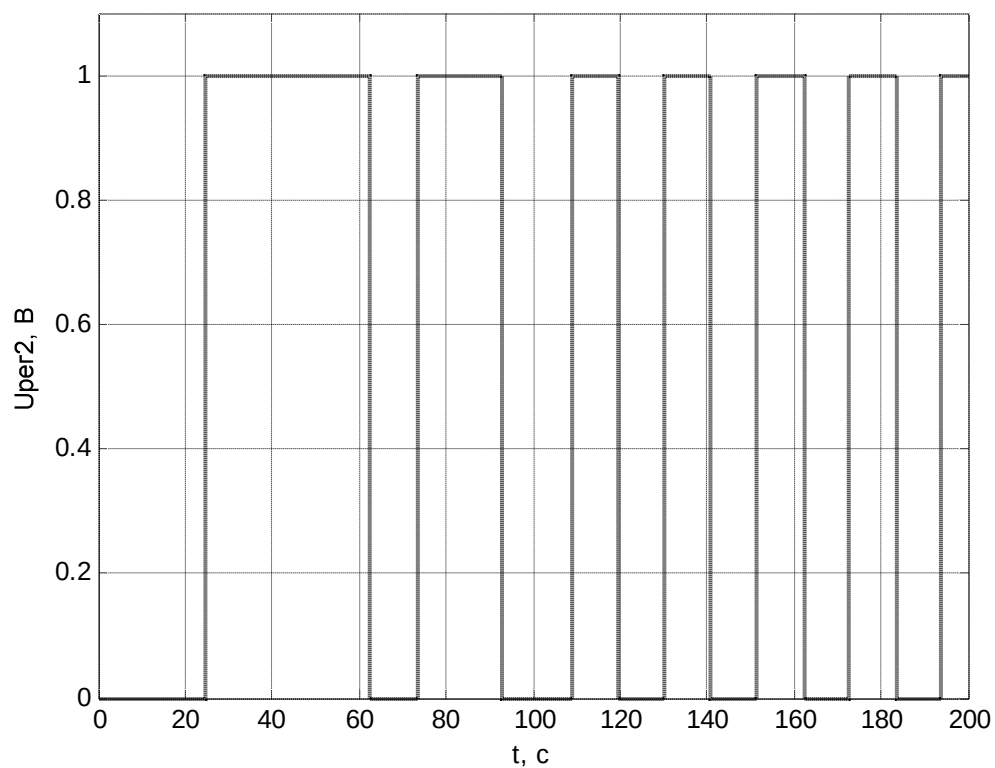


Рисунок 4.5 – Діаграма залежності вихідного сигналу регулятора U_{per2}

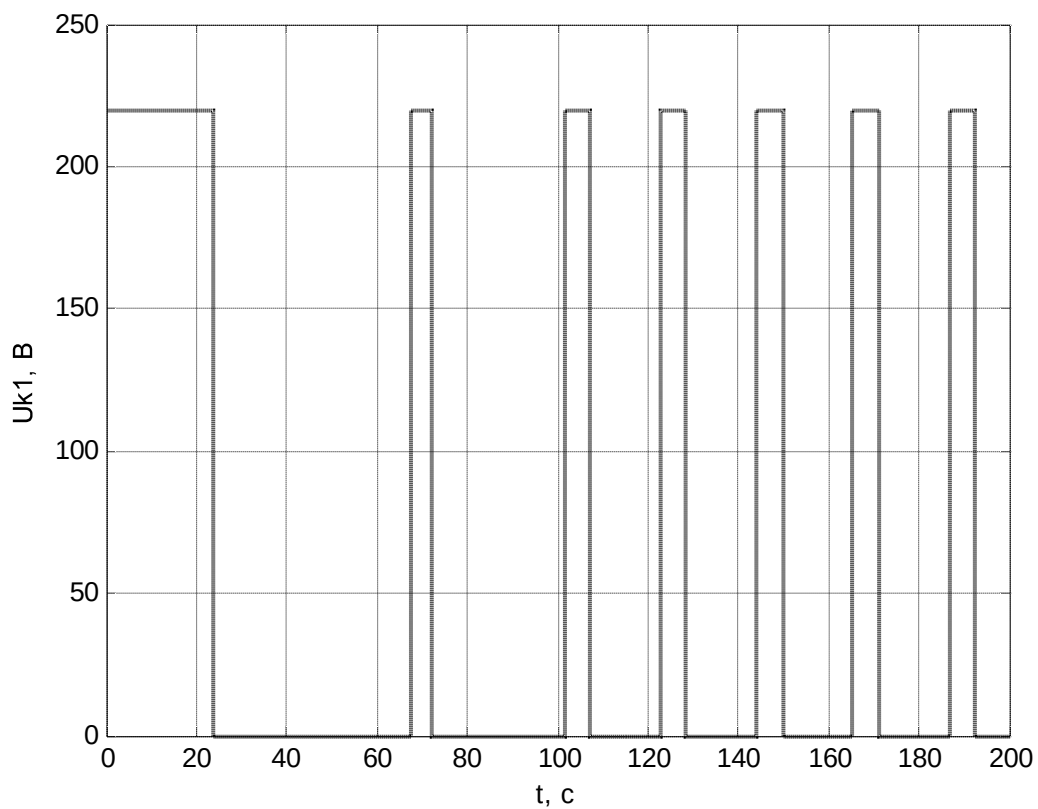


Рисунок 4.6 – Сигнал U_{k1} на вході комутуючих реле розташованих в БУС-10

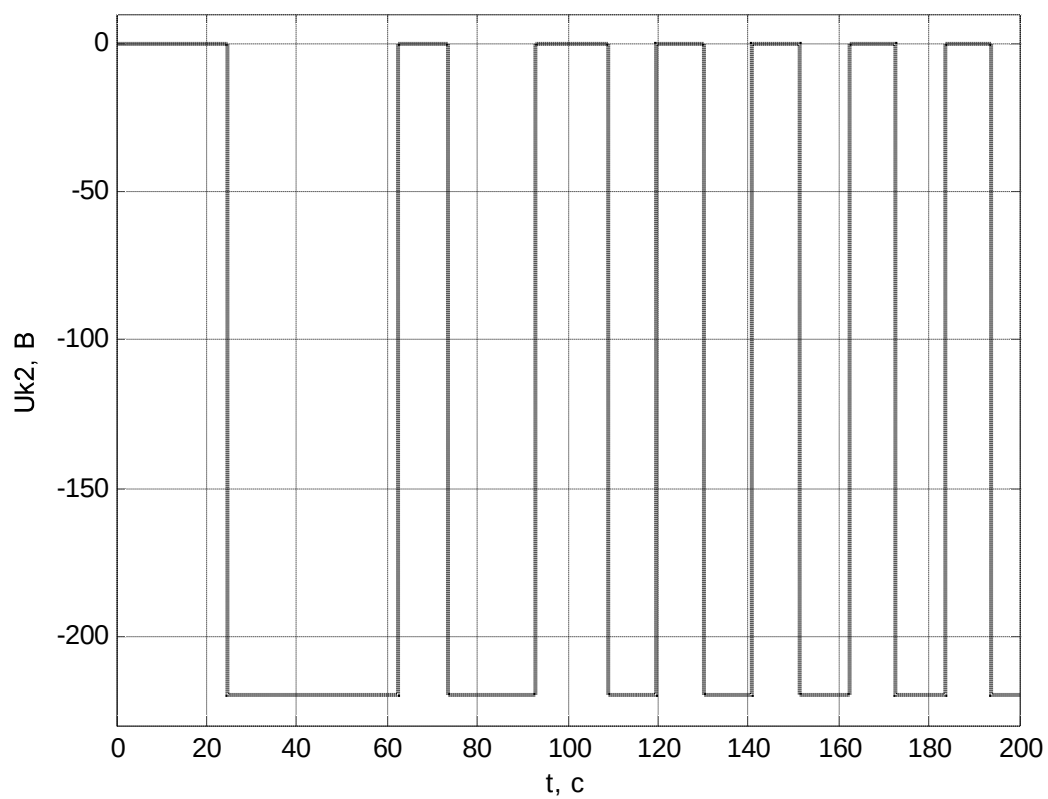


Рисунок 4.7 – Сигнал $U_{\kappa 2}$ на вході комутуючих реле розташованих в БУС-10

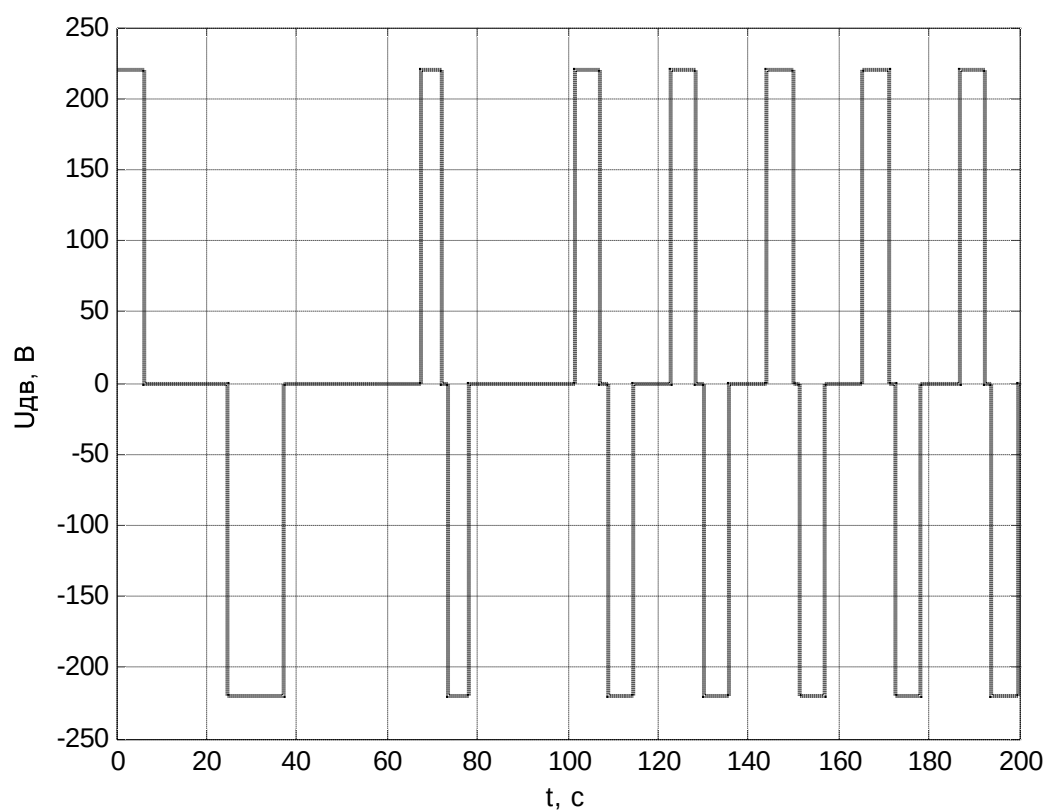


Рисунок 4.8 – Напряга на вході двигуна

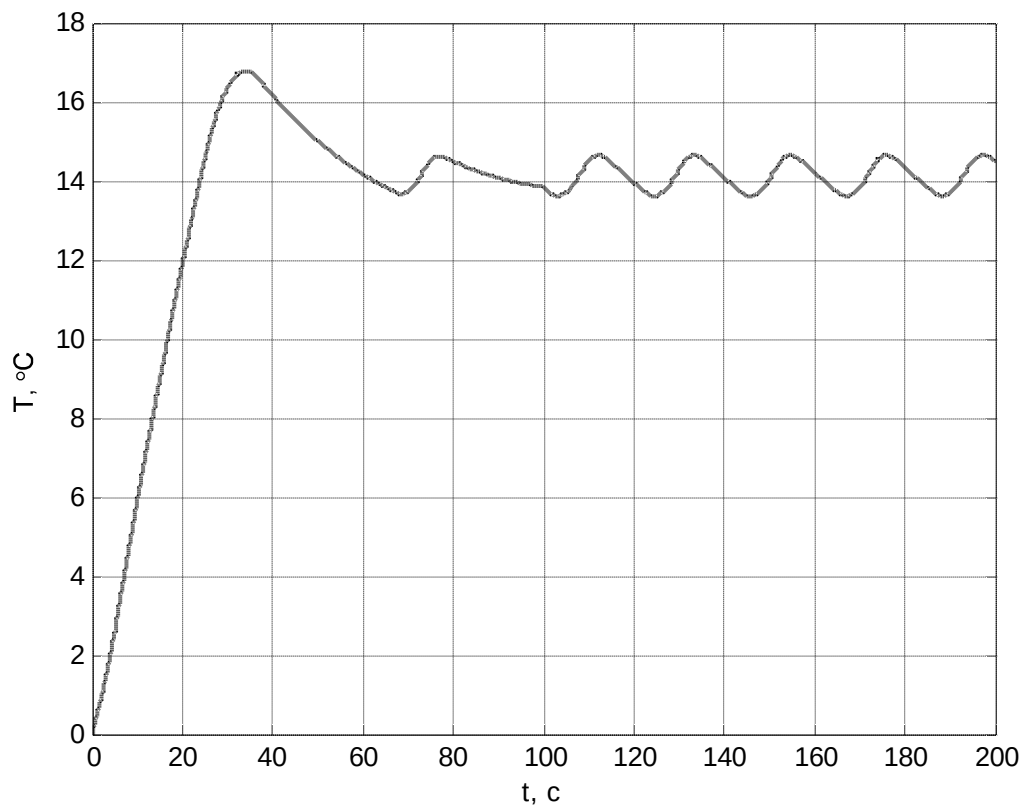


Рисунок 4.9 – Діаграма температури при терміні затримки $\tau_3 = 0 \text{ c}$

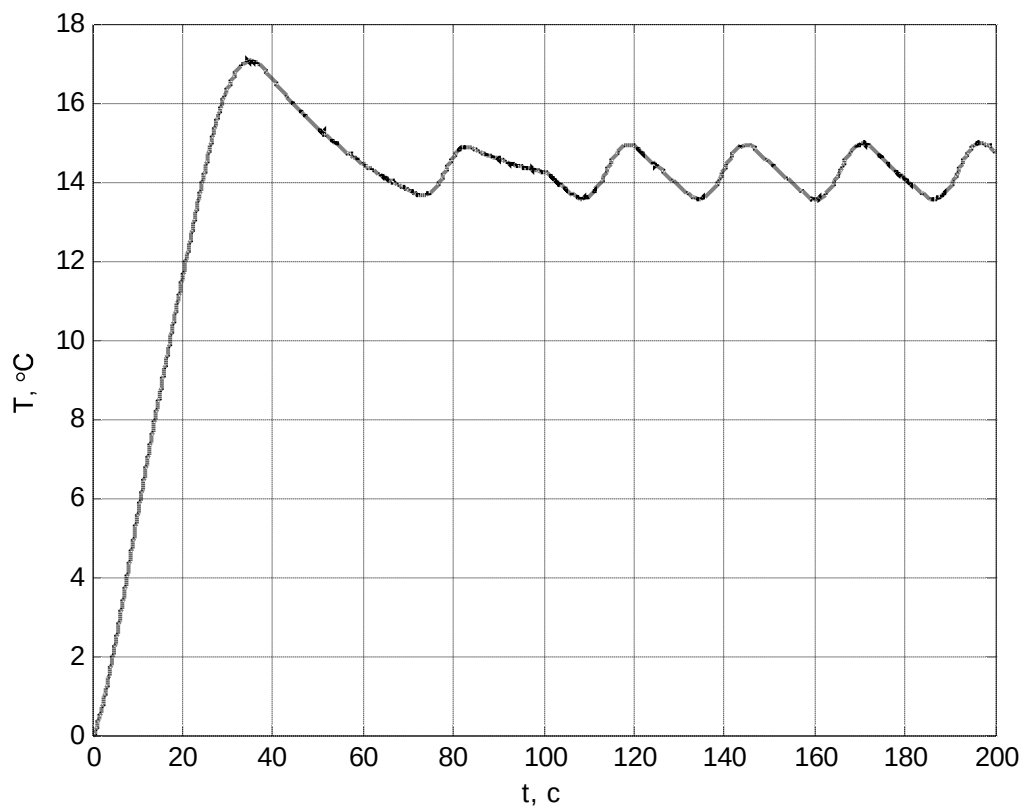


Рисунок 4.10 – Діаграма температури при терміні затримки $\tau_3 = 0,6 \text{ c}$

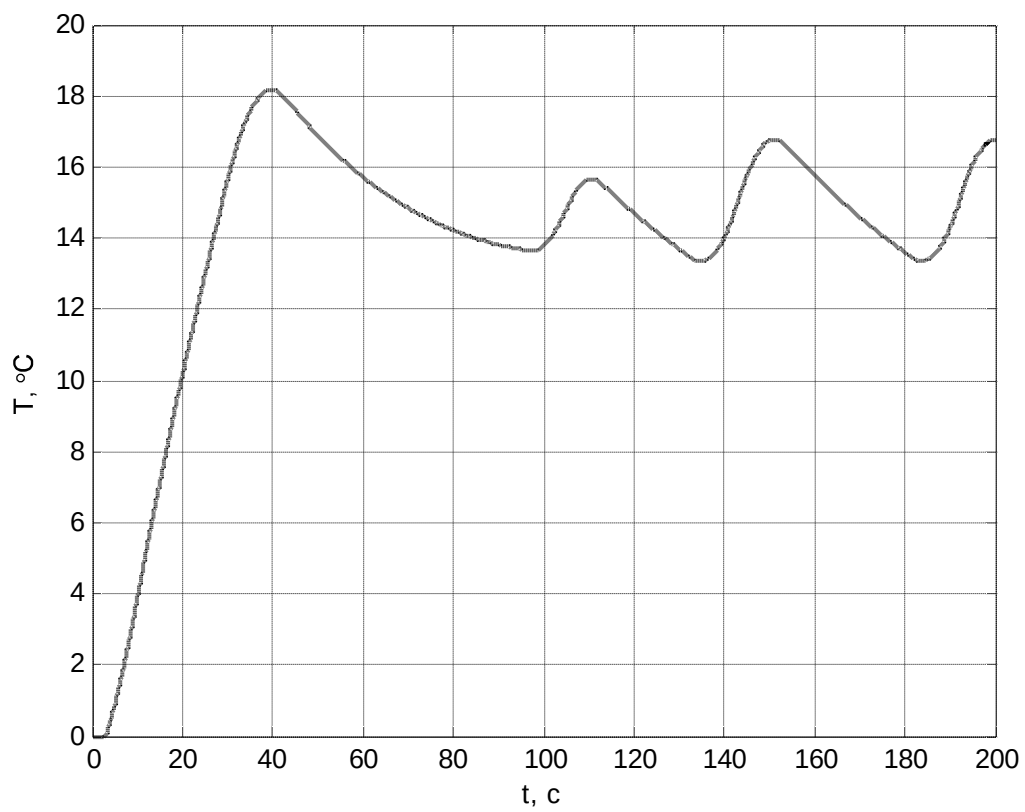


Рисунок 4.11 – Діаграма температури при терміні затримки $\tau_3 = 3 \text{ c}$

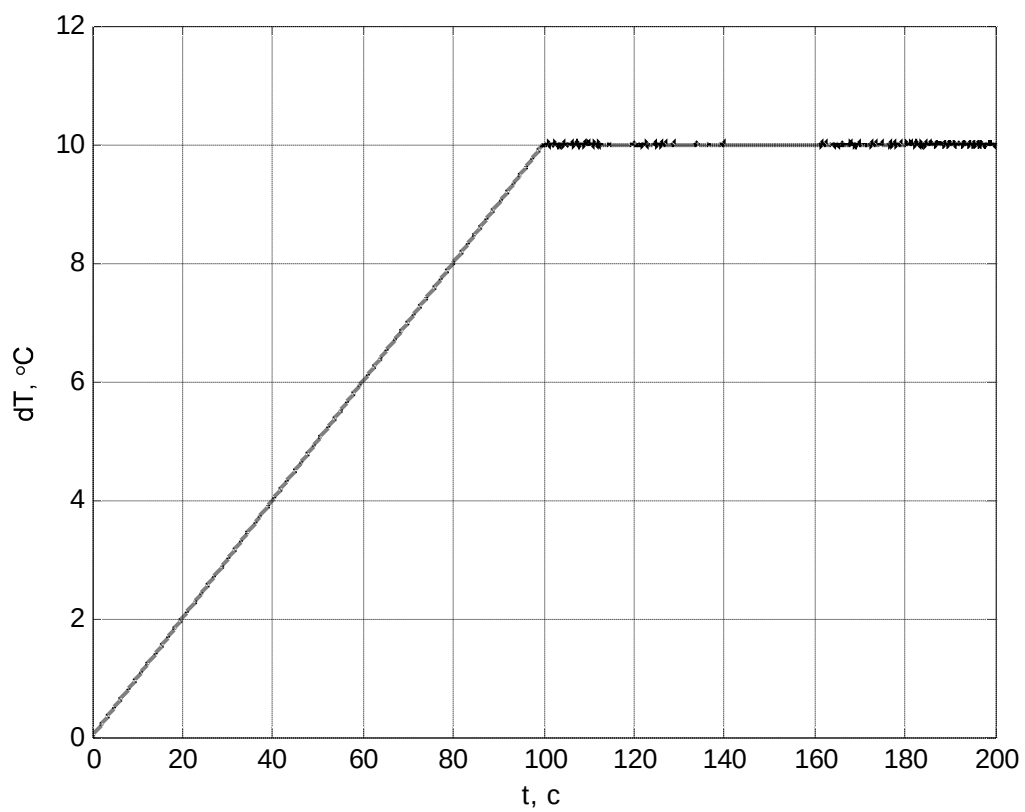


Рисунок 4.12 – Діаграма збурюючого діяння

ВИСНОВОК

В даній кваліфікаційній роботі була проведена модернізація електроприводу припливної камери вентиляції цеху дезодорації соняшникової олії.

Для цього, виходячи з потрібної потужності було вибрано привод вентилятора серії 4А з гарними динамічними та статичними характеристиками. Також було вибрано клапан теплоносія та виконавчі механізми МЭО для даного та повітряного клапанів.

Була також розроблена схема випрямляча та стабілізатора напруги з послідовним регулюючим елементом. Вибрані деякі елементи силової частини припливної камери. Вибраний керуючий мікроконтролер Реміконт Р-130. Для керування припливною камерою була також розроблена принципова схема мікроконтролера та описана робота процесора ПРЦ-10. Розроблена загальна функціональна схема, та схеми вузлів мікроконтролера. Розроблена структурна схема та проаналізовані перехідні процеси.

ЛІТЕРАТУРА

1. Осейко М. І. Технологія рослинних олій. Київ: Варта, 2006. 280 с.
2. Тютюнников Б.Н., Бухштаб З.І., Гладкий Ф.Ф., Демидов І.М. Хімія жирів. Харків: НТУ «ХП», 2002. 452 с.
3. Домарецький В.А., Остапчук М.В., Українець А.І. Технологія харчових продуктів. Київ: НУХТ, 2003.
4. Джеджула В.В. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів. Вінниця: ВНТУ, 2021. 71 с.
5. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря. – Чинний від 01.01.2014. – Київ: Мінрегіонбуд, 2013. – 141 с.
6. Зінич П.Л. Вентиляція громадських будівель і споруд. Київ:КНУБА, 2002. 256 с.
7. Строй А.Ф. Расчет и проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Київ:Феникс, 2013. 344 с.
8. Пырков В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. Київ:ДП «Такі справи», 2010. 304 с.
9. . Джеджула В. В. Особливості налаштування вентиляційних систем на проектну витрату повітря. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2018. № 1. С. 100–105.
10. Боженко, М. Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 380 с.
11. Нимич Г.В., Михайлов В.А., Бондарь Е.С. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. ТОВ «Видавничий будинок Авваност Прим», 2003. 626 с.
12. Пекер Я.Д., Мардер Е.Я. Справочник по выбору оборудования для кондиционирования воздуха. Київ: Будівельник, 1990. 224с.
13. Грабко В.В., Розводюк М.П., Левицький С.М., Казак М.О. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Вінниця: ВНТУ, 2007. 197 с.

14. Электротехника / А.П. Трегуб; Под ред. Э.В. Кузнецова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. 600 с.
15. Грабко В.В., Розводюк М.П., Грабенко І.В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина І. Машини постійного струму. Вінниця: ВНТУ, 2005. 86 с.
16. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: / Попович М.Г. та ін. Київ: Либідь, 2005. 680 с.
17. Півняк Г.Г., Волков О.В. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2006. 470 с.
18. Довгань С.М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. Дніпропетровськ: НГА України, 2001. 137 с.
19. Лозинський А., Мороз В., Паранчук Я. Розв'язування задач електромеханіки в середовищах пакетів MathCAD і MATLAB. Львів: Видавництво НУ"ЛП", 2000. 166 с.
20. Мілих В.І. Електротехніка та електромеханіка. Київ: «Каравела», 2006.– 376 с.
21. Гольстем В.А., Иваненко А.С. Справочник энергетика промышленных предприятий. Київ: Техника. 1977.
22. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания. Харків: Высшая школа, 1989.
23. Бобух А.О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Харків: ХНАМГ, 2006. 185 с.
24. Нубарян С.М. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. Харків: ХНАМГ, 2007. 147 с.